

מערכת הנשימה והנשימה בסיסית ומתקדמת

קורס חובשים בכירים

ית"מ

טבת תשפ"ד

ינואר 2024

איתן שמשוביץ

תפקידי המערכת

• חמצון

- יצירת אנרגיה בתאים בתהליך שריפת הסוכר
- ללא החמצן תהליך אנאירובי – פחות יעיל ומופרשת חומצה
- לתאי המוח אין אפשרות אנאירובית

• אורור

- סילוק פחמן דו חמצני
- הפחמן הדו חמצני רעיל ולכן הגירוי הראשוני לנשימה היא עלייה בכמותו.

אנטומיה של מערכת הנשימה בית החזה

מיקום אנטומי בבית החזה.

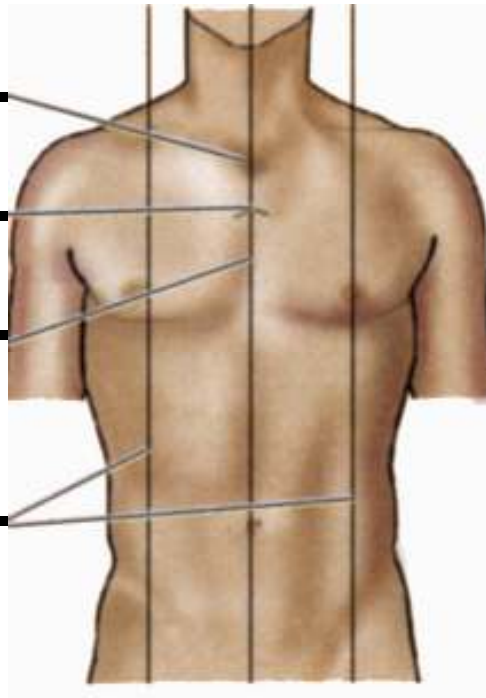
שימוש בגובה הצלע ובקו המתאר מבנים ברורים

Manubrium notch

Sternal angle

Midsternal line

Midclavicular line



אנטומיה של מערכת הנשימה בית החזה

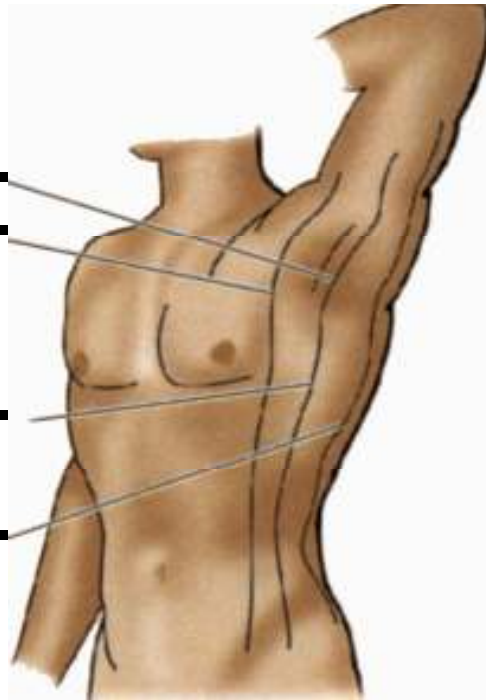
מיקום אנטומי בבית החזה.

שימוש בגובה הצלע ובקו המתאר מבנים ברורים

Midaxillary line
Anterior axilar line

Midaxillary line

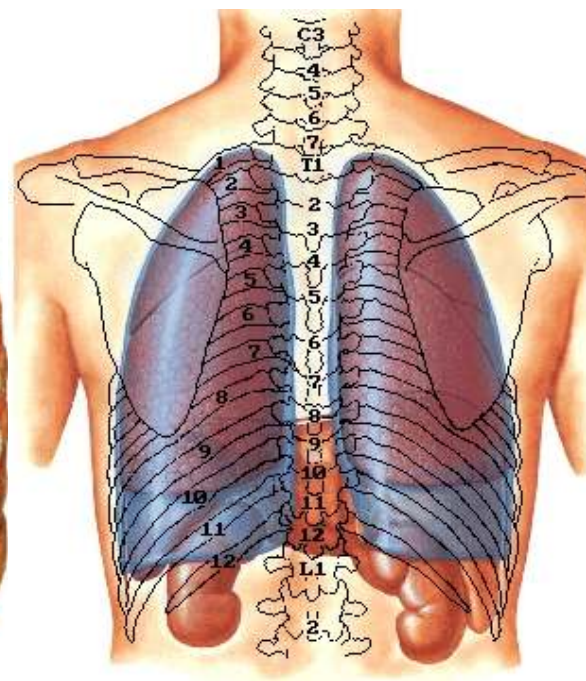
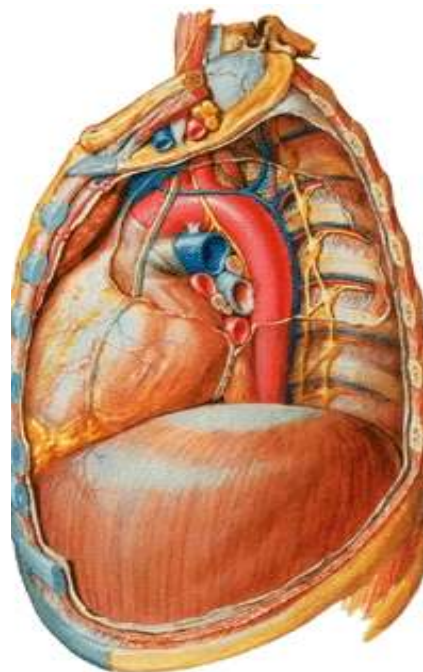
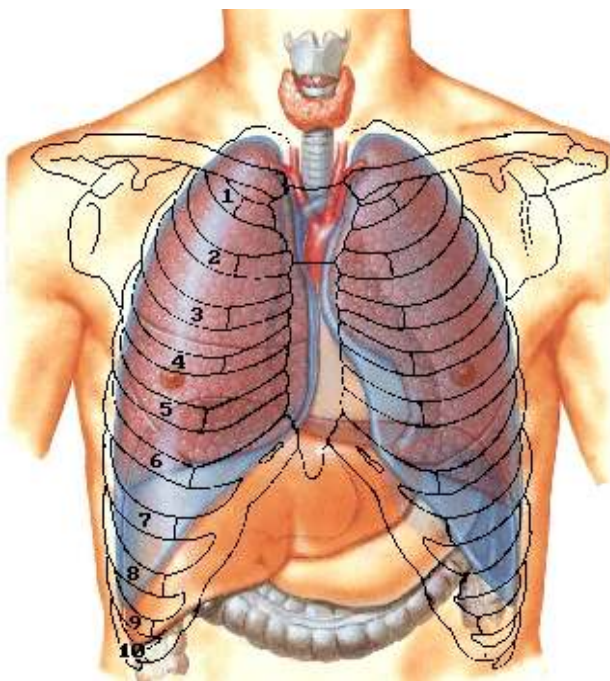
Posterior axilar line



אנטומיה של מערכת הנשימה בית החזה

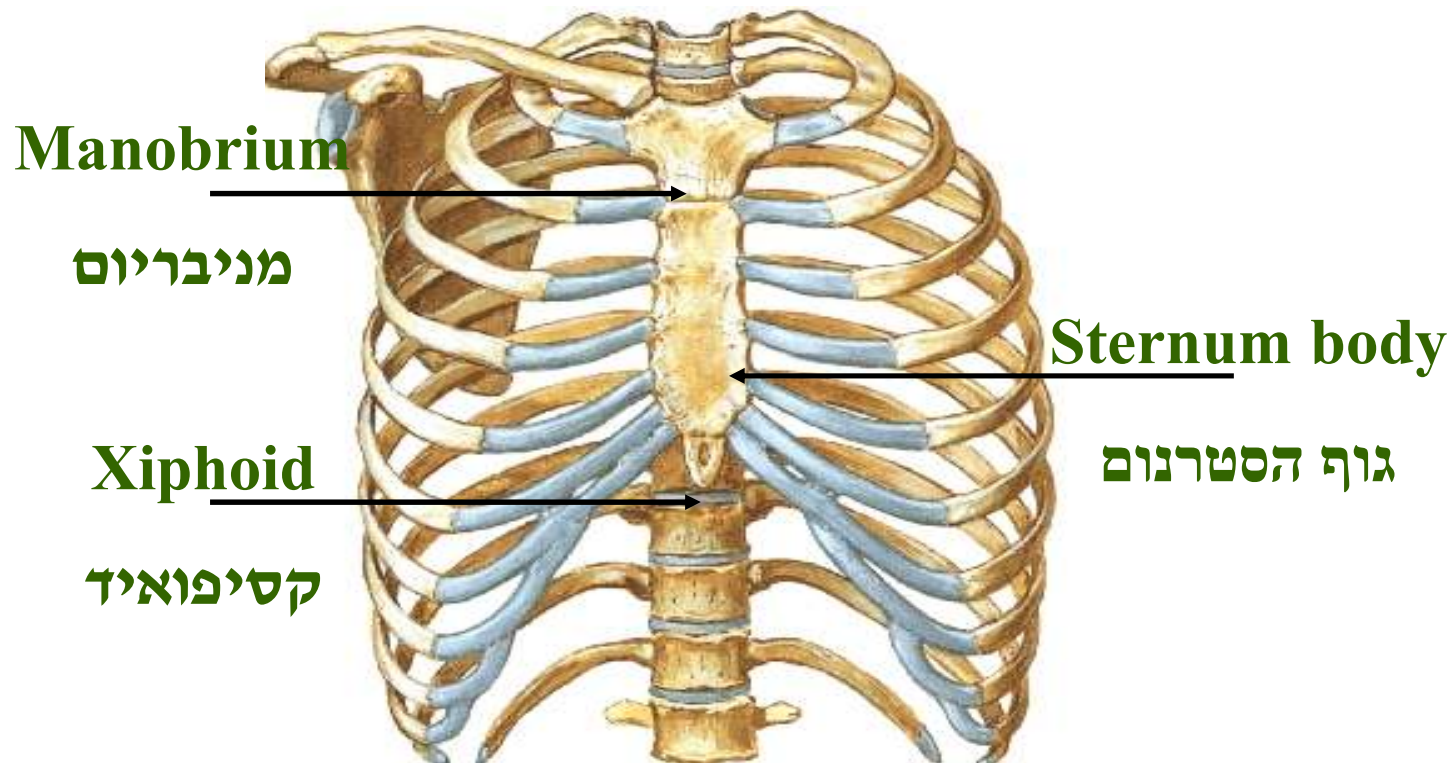
גבולות בית החזה:

בית החזה תחום בצלעות, שכמות, עצמות בריח, סטרנום, עמוד שדרה, וסרעפת



אנטומיה של מערכת הנשימה בית החזה

הסטרנום - Sternum

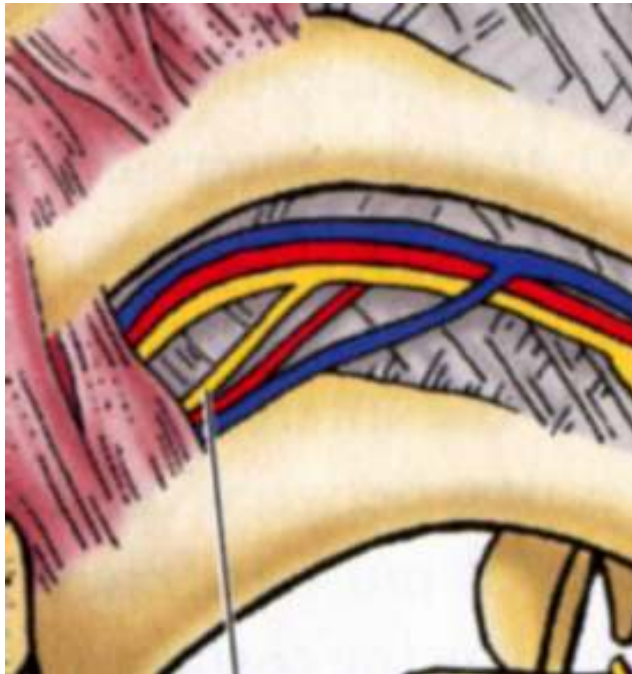


אנטומיה של מערכת הנשימה דופן בית החזה

הצלעות מחוברות לשרירים בין-צלעיים המסייעים בנשימה

VAN – Vein Artery Nerve

מצויים בצמוד לצלעות בניהם.



Vein

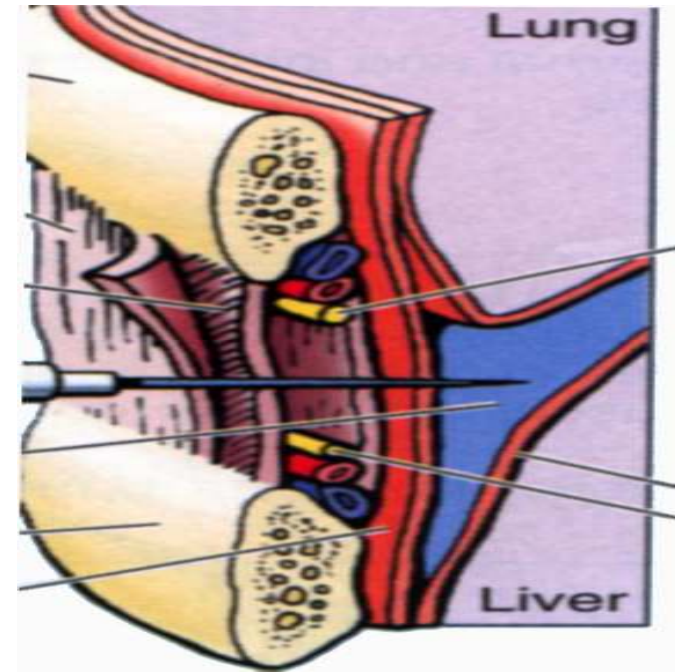
וריד

Artery

עורק

Nerve

עצב



אנטומיה של מערכת הנשימה בית החזה

צלעות Ribs - פעילות:

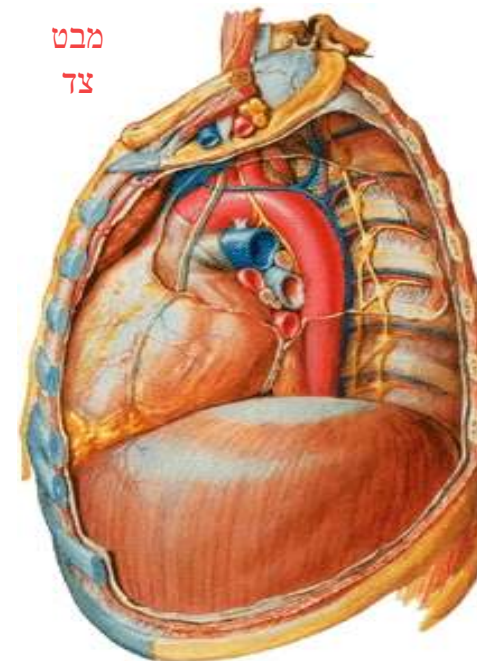
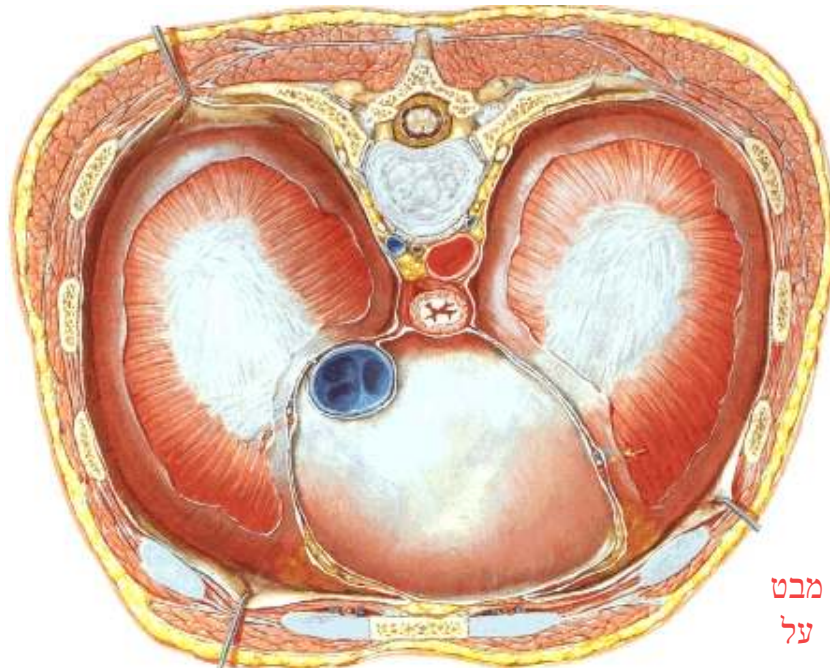
כך יש התרחקות של הצלעות, עליית הסטרנום וכך התרחבות של החלל



אנטומיה של מערכת הנשימה דופן בית החזה

סרעפת - Diaphragm

איבר שרירי המסייע בנשימה ותוחם את בית החזה בחלקו התחתון.



אנטומיה של מערכת הנשימה

ניתן לחלק את דרכי האוויר:

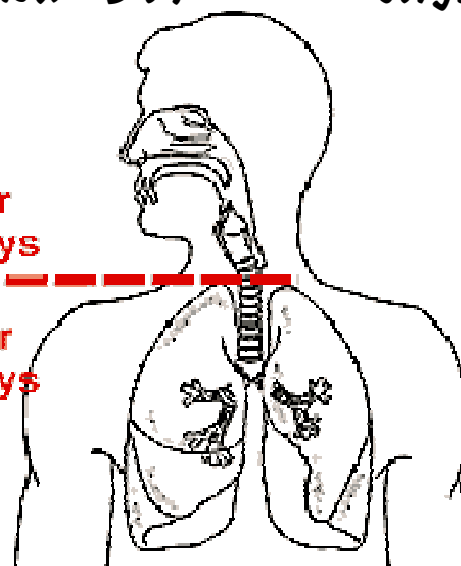
דרכי האוויר התחתונות

דרכי האוויר העליונות



Upper
airways

Lower
airways



חמצון ויצירת אנרגיה

- תא שלא מקבל חמצן נאלץ ליצור אנרגיה בתהליך של שריפה כימית. נשימה זו נקראת נשימה אנארובית.
- נשימה אירובית יעילה יותר ביצירת אנרגיה.
- נשימה אנאירובית יוצרת חומצה לקטית (חומצת חלב).

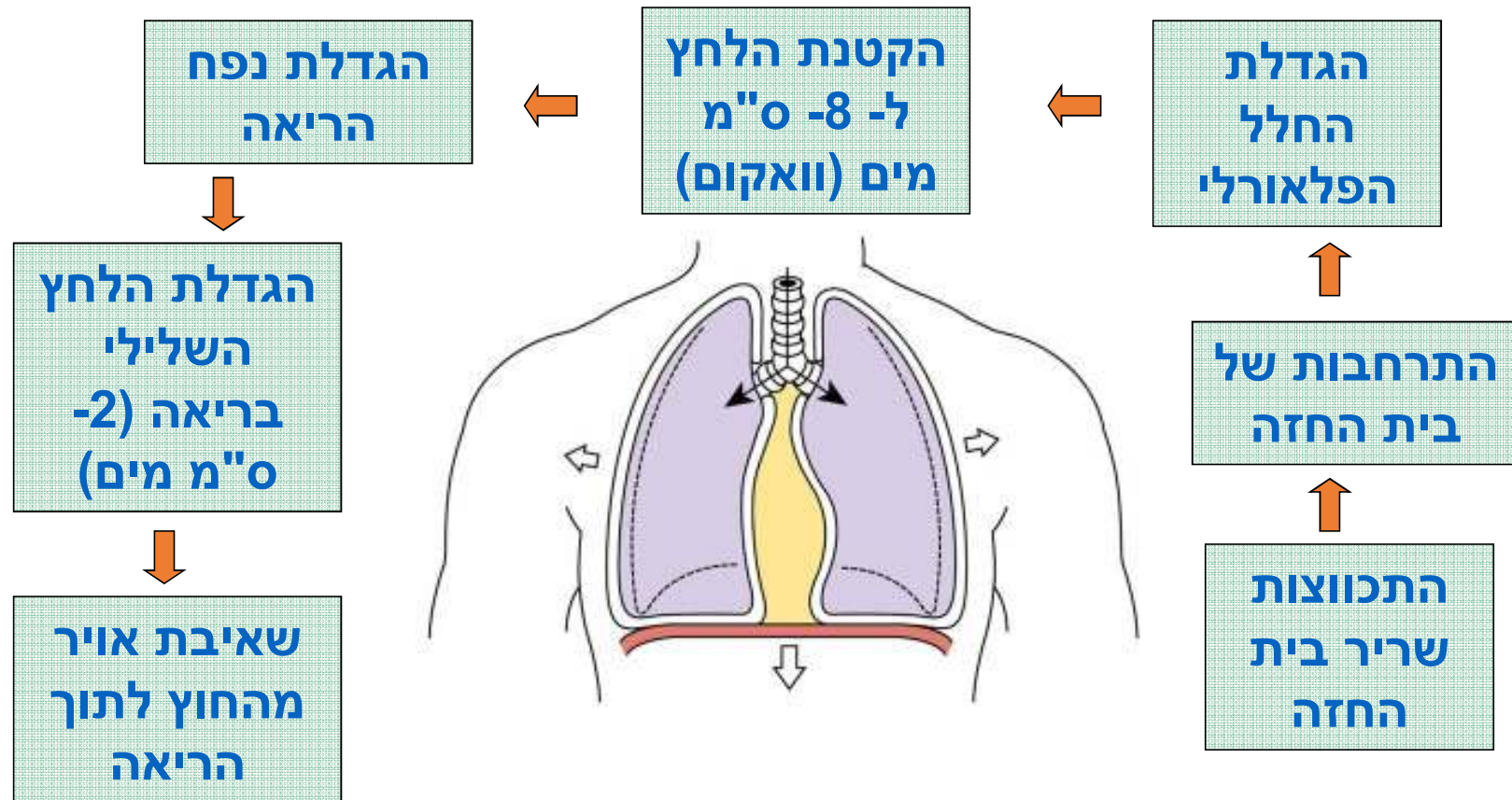
זמן הסבילות	איבר
4-6 דקות	לב, מוח, ריאה
45-90 דקות	כליות, כבד, מערכת עיכול
4-6 שעות	שריר, עצם, עור

פחמן דו חמצני ואוויר

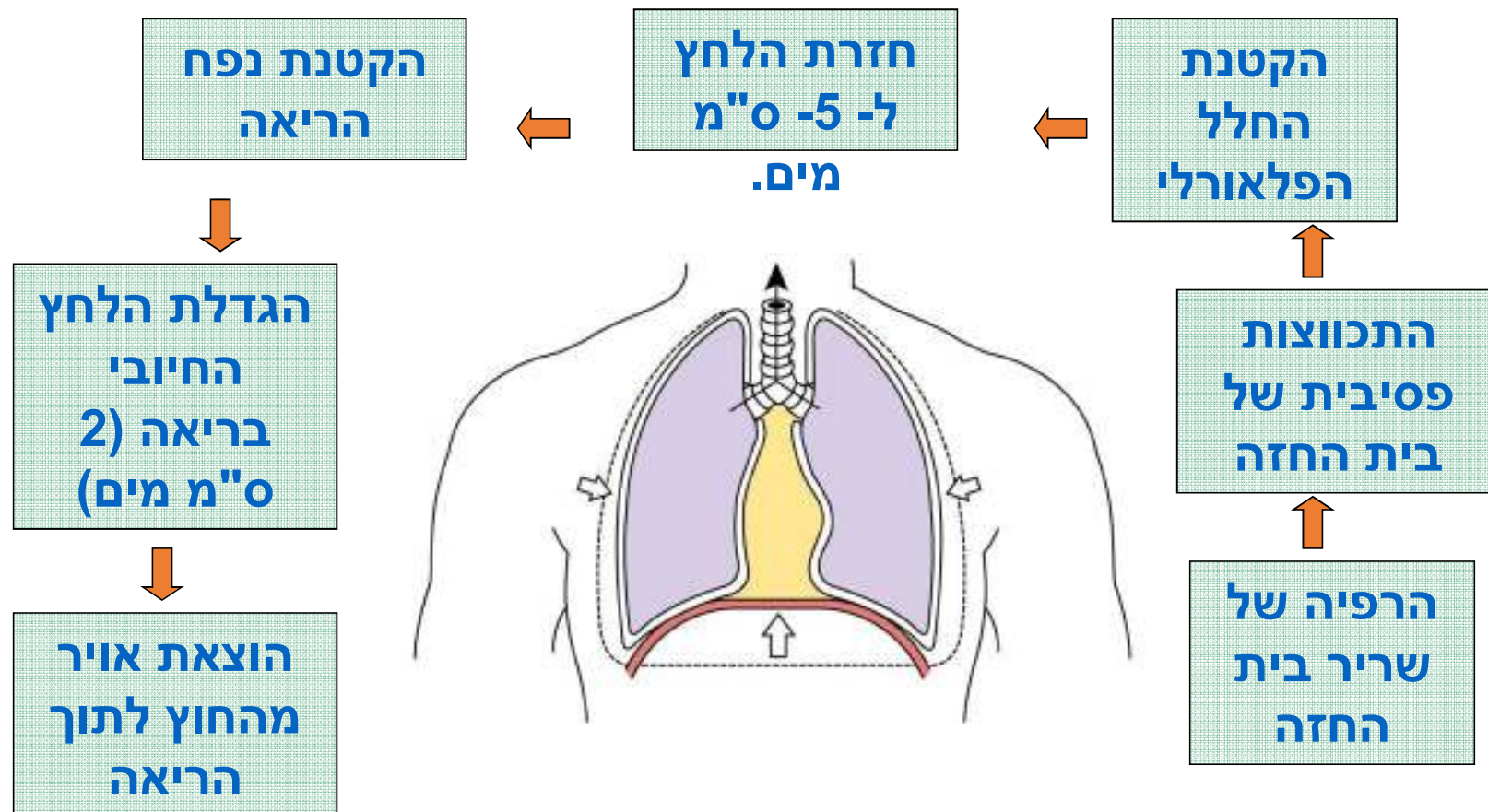
- פחמן דו חמצני (CO_2) – תוצר הלוואי של תהליכים בתאים.
- רמות גבוהות של פחמן דו חמצני רעילות (למה? בהמשך..)
- לכן, הגוף מוטרד יותר דווקא מרמות גבוהות של פחמן דו חמצני מאשר רמות נמוכות של חמצן.

המכניקה של הנשימה

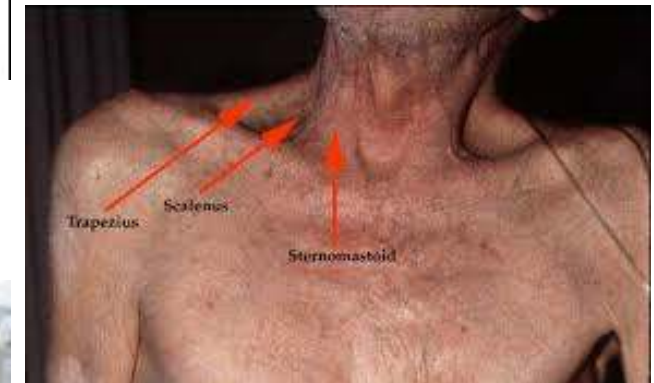
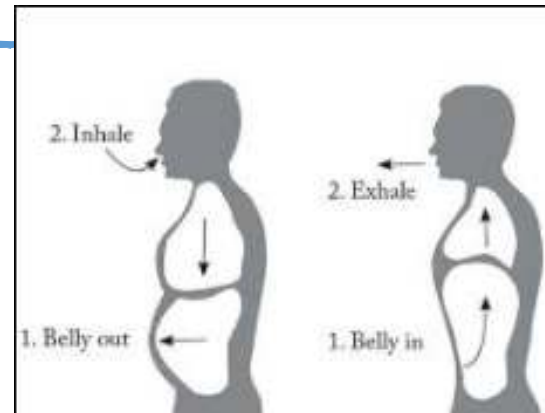
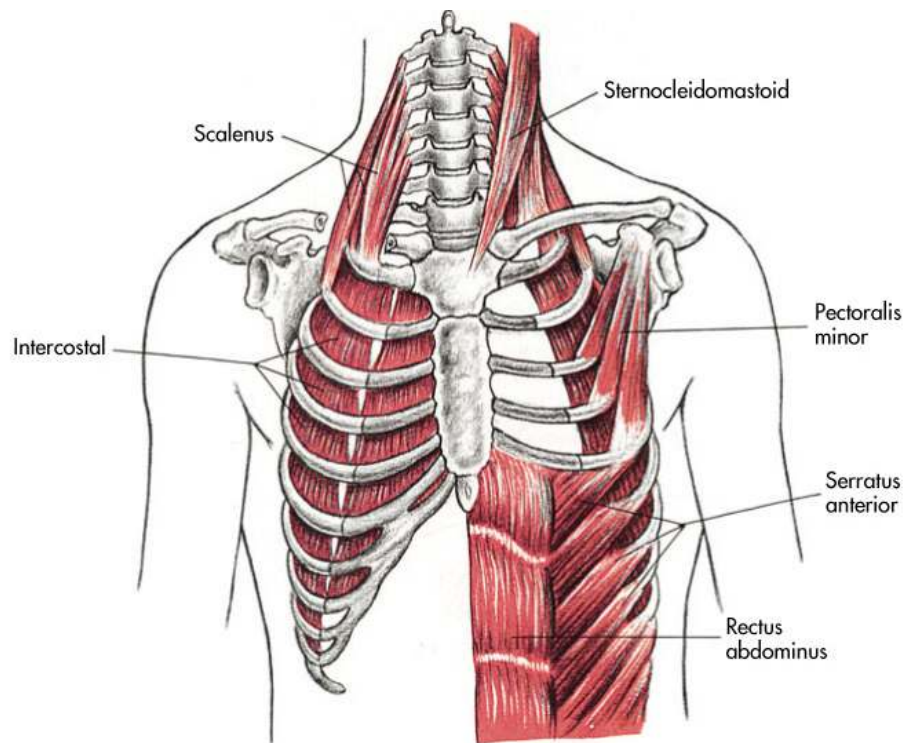
בית החזה בעת שאיפה (אינספיריום)



בית החזה בעת נשיפה (אקספיריום)



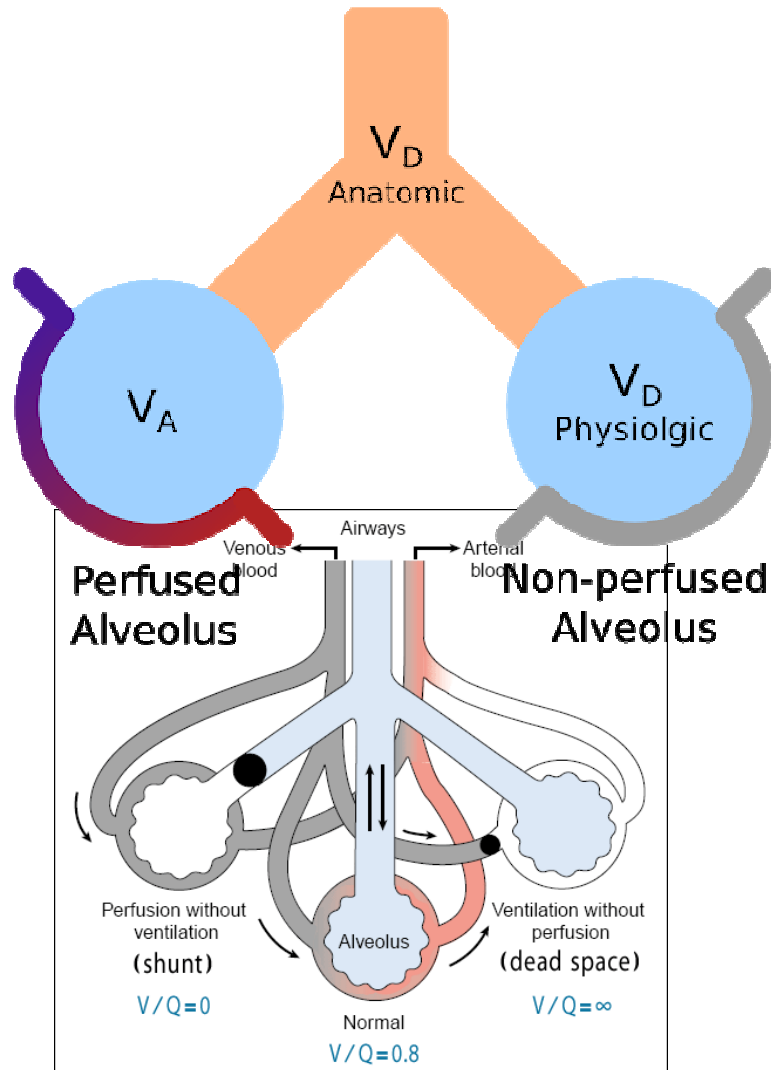
שרירי הנשימה - Muscles of Respiration



נפחי ריאה



נפח מת



חמישית מנפח כל נשימה.
 דרכי אויר עליונות ובברונכוסים הגדולים
 אשר אינם פעילים בחילוף הגזים.
 במבוגר בריא: **150 סמ"ק**
 איזור זה נקרא:

ANATOMICAL DEAD SPACE
 PHYSIOLOGICAL DEAD SPACE

אורור ריאה מול אורור אלוואלרי

- היות ו- TV הוא 500 סמ"ק, וקצב נשימה ממוצע 15 נשימות בדקה, אורור הריאה – ליטר/דקה $15 \times 500 = 7.5$.
- אורור אלוואלרי – כמה גז בפועל בא במגע עם הדם במשך דקה:

$$15 \times (500 - 150) = 5 \text{ ליטר/דקה}$$

• זהו הפסד של 2.5 ליטר כל דקה.

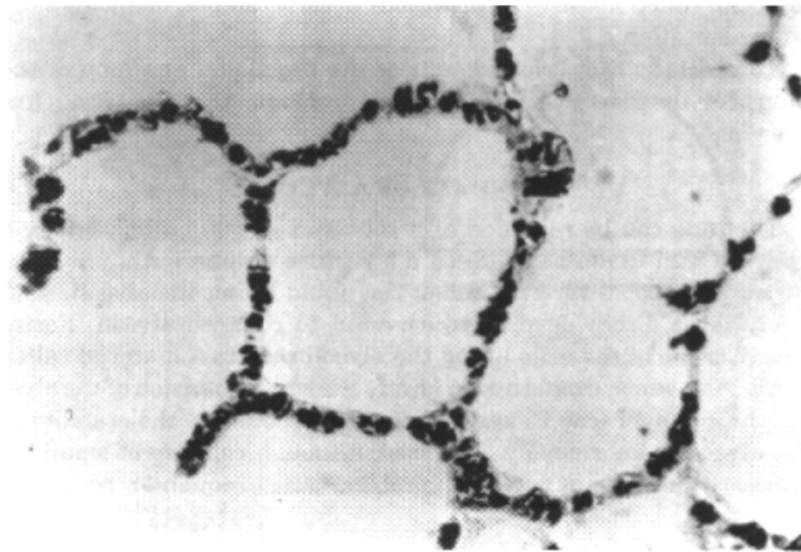
- חולה אסטמה שנושם 32 נשימות שטחיות ה- TV שלו פחות מ- 500 סמ"ק.
- חמור יותר - הנפח המת שלו גדל.

$$32 \times 150 = 4.8 \text{ ליטר/בדקה}$$

דיפוזיה של הגזים דרך מחסום אויר-דם

יחס אלוואולרי קפילארי

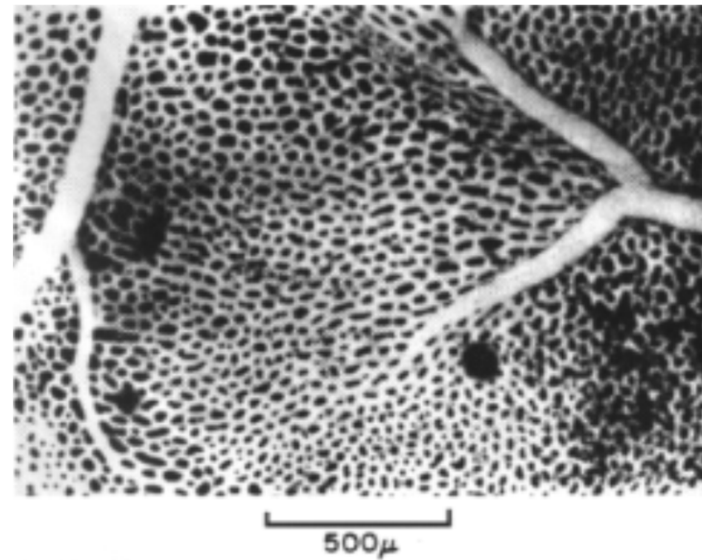
• ממברנה דקה – עובי של 0.5 מיקרון



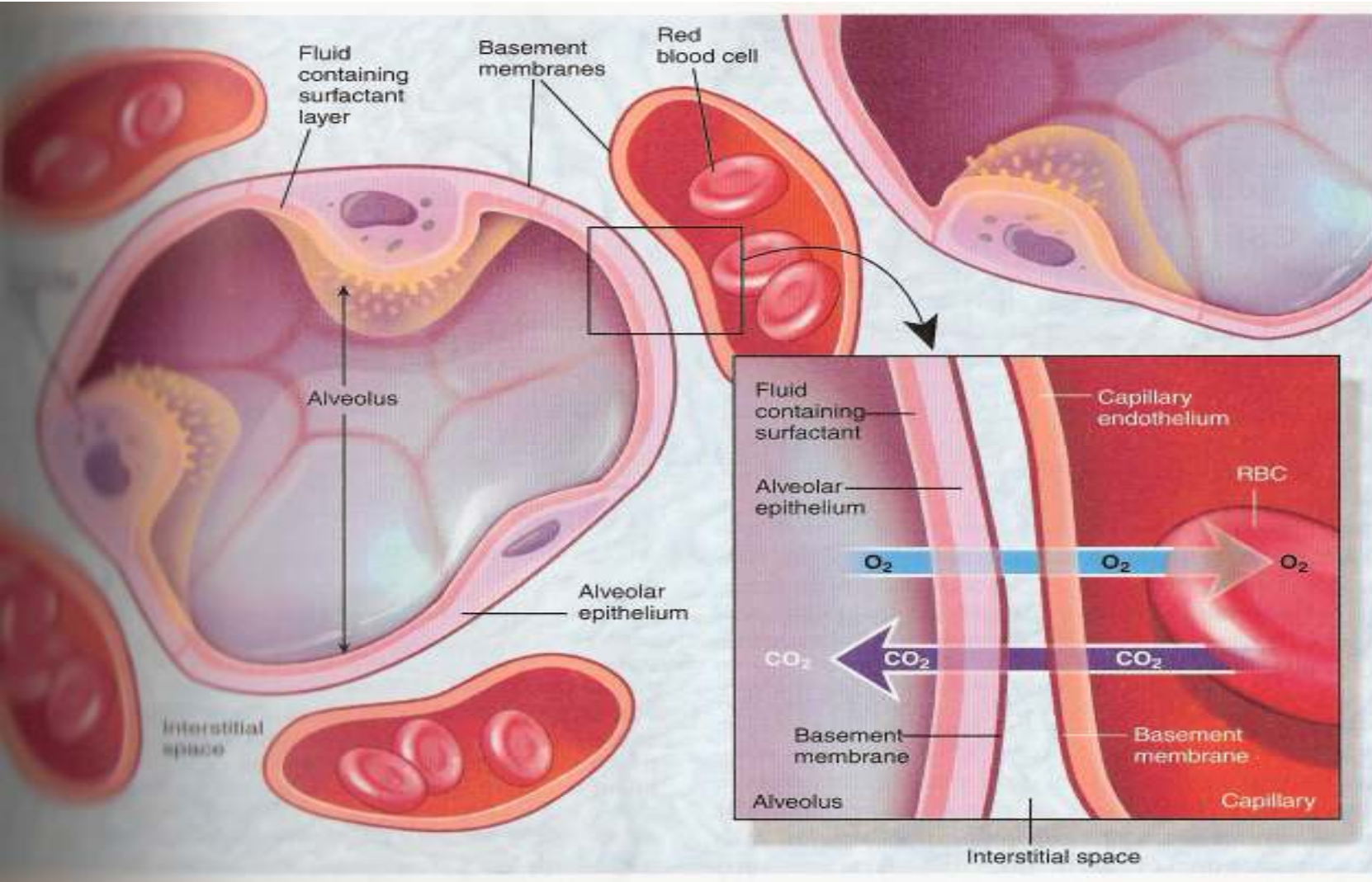
Thickness ~ 0.5um

יחס אלוואולרי קפילארי

- ובעלות שטח אדיר יחסית של 100 מטר רבוע (שטח של דירה קטנה).



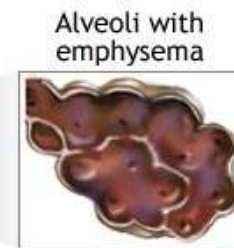
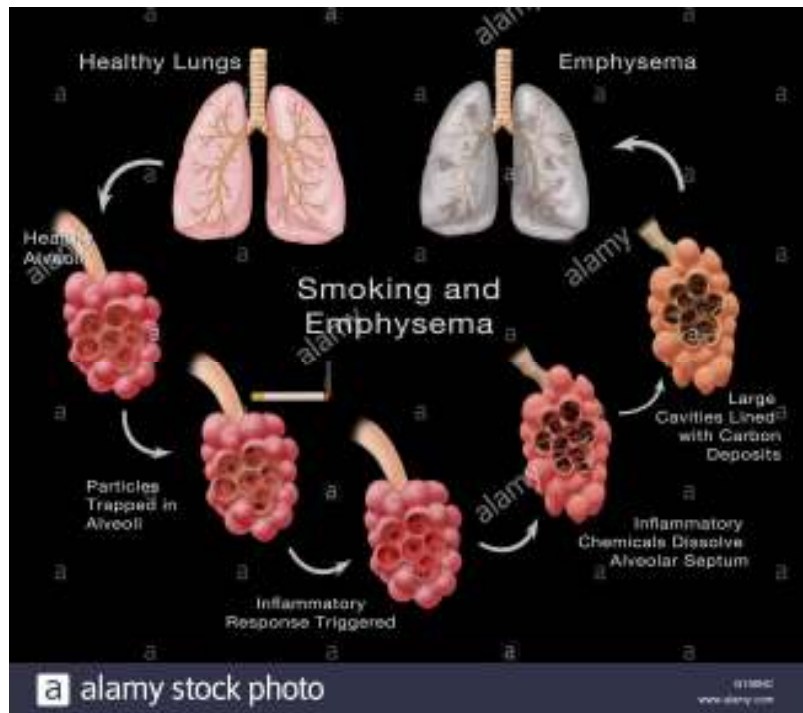
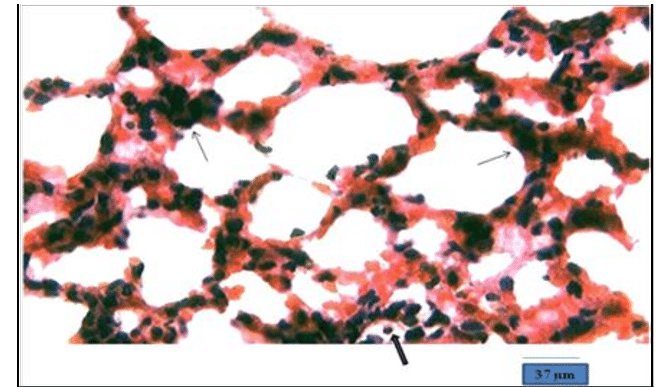
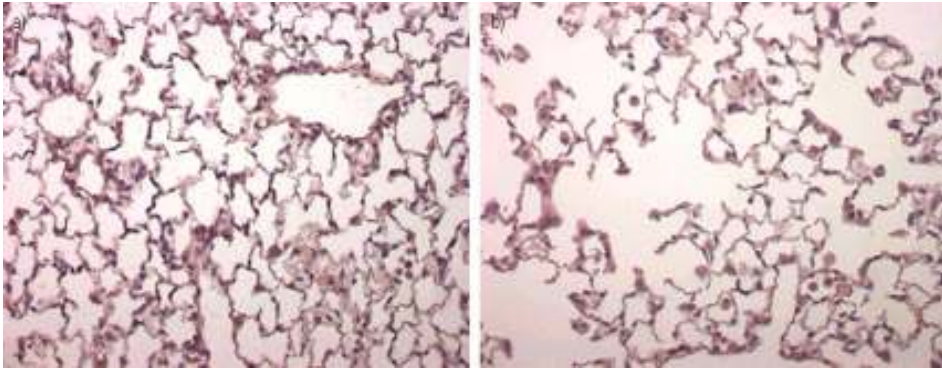
Surface area = 100m²



קצב מעבר גזים מהריאה לדם

- השטח הענק והעובי הדק מאפשרי מעבר גזים מהיר:
- כדורית דם מבלה ליד הריאה במשך $0.5 - 0.75$ שניות.
- כל הגזים עוברים מהדם לריאה תוך 0.5 שניות:
- חמצן עובר תוך 0.25 שניה
- פחמן דו חמצני – מעט פחות מחצי שניה.
- הכל טוב ויפה עד שמתחילים הבעיות אצל חולים:
- הרחבה של עובי דופן הנאדית – נוזלים בריאה, זפת עקב עישון.
- פגיעה בשטח הריאה – אמפיזמה בחולי COPD.

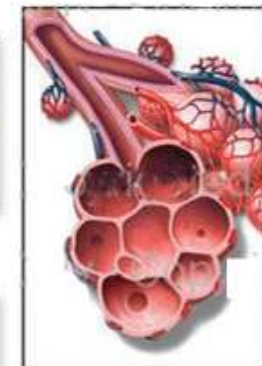
ריאות מעשנים – מה הבעיות?



Alveoli with emphysema



Microscopic view of normal alveoli



Normal



Emphysema

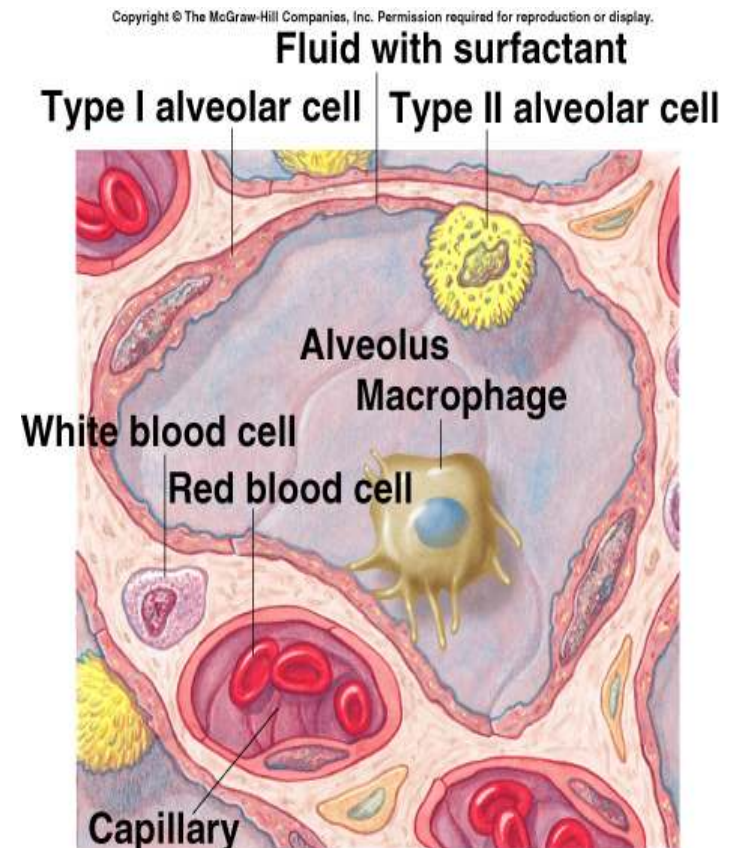
מה מונע את תמט הנאדיות (כיוויץ/ריקון מוחלט) בסוף הנשיפה?

• סורפקטנט

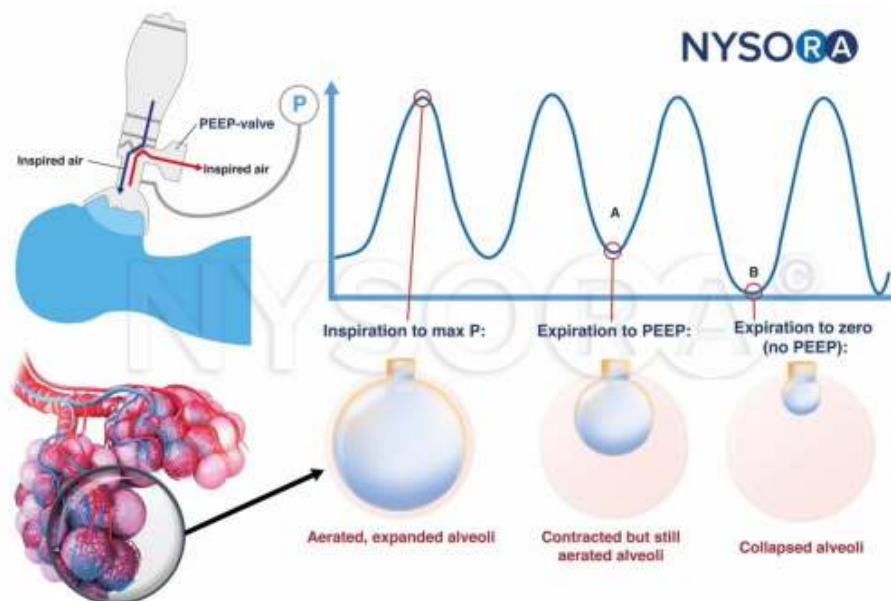
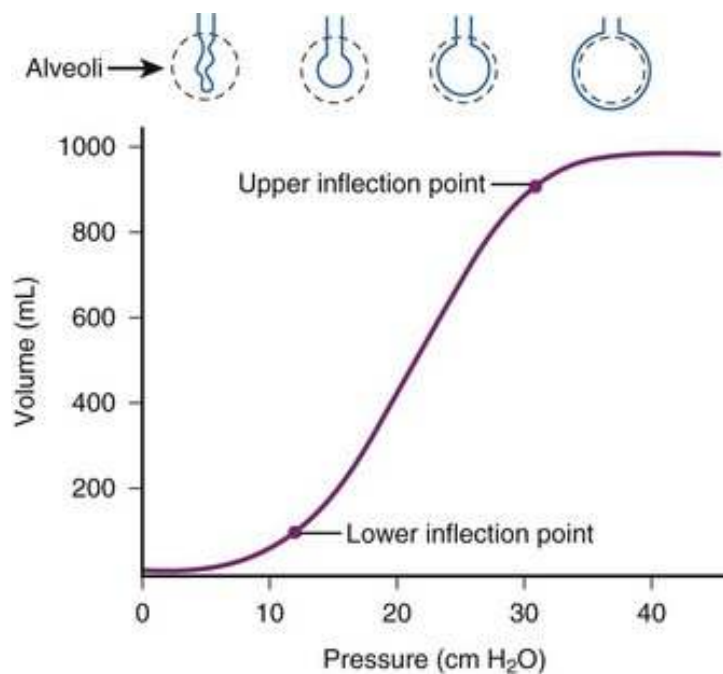
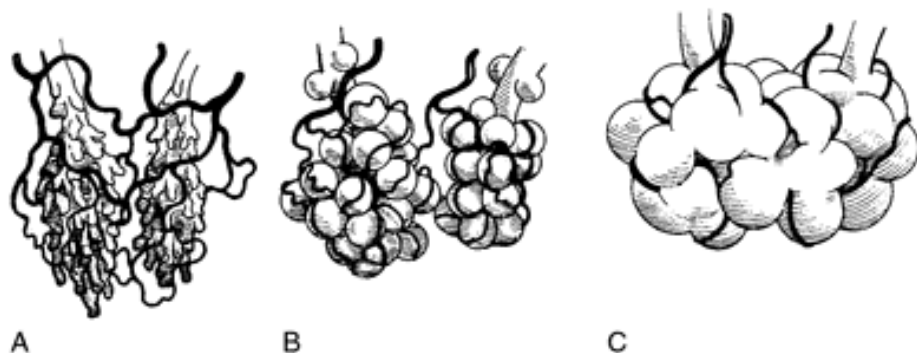
- חומר המיוצר מחדש שביעי לחיי העובר בכל נאדית
- מוריד את מתח הפנים של הנוזל בנאדית.
- בפגיעה בו תעבור הנאדית אטלאקטזיס

• Positive End Expiratory Pressure (PEEP)

- גם בסוף הנשיפה יש לחץ חיובי המונע תמט
- בזכות מיתרי הקול שנאטמים
- ואם שמתו שם צינור??



חילוף גזים בריאות – מה מחזיק את הנאדיות פתוחות?



התכונות הפיזיקליות של האויר

ריכוזי הגזים באוויר

- הרכב האוויר:
- 21% חמצן.
- 78% חנקן.
- 0.003% פחמן דו חמצני (נהוג להחשיבו כ- 0%).
- למרות שהרכב האוויר זהה בכל העולם, כמות הגזים לא זהה:
- כמות החמצן במישור החוף אינה זהה לכמות החמצן בפסגת הרי האלפים.

ריכוזי הגזים באוויר

• Percentage - לחץ חלקי:

• דרך מקובלת להציג את כמות הגז.

• מיוצג באות הלועזית p קטנה.

• מסמל את הלחץ החלקי של הגז מכלל האויר:

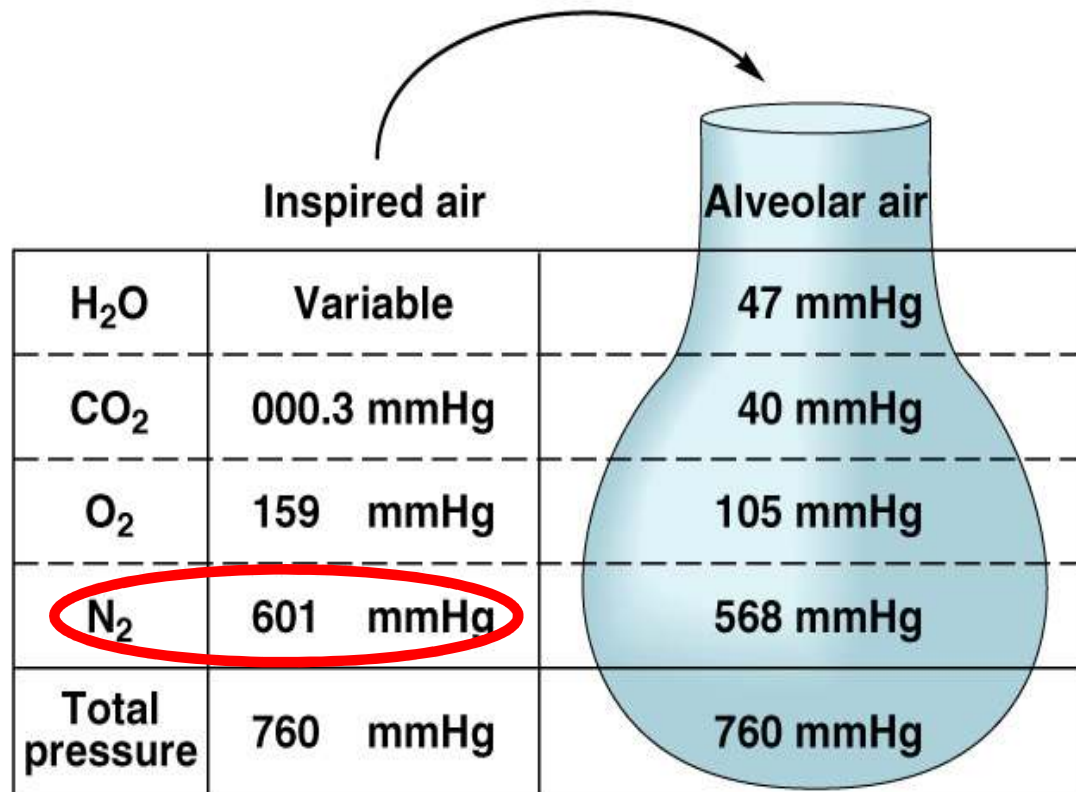
$$p(O_2) = 760 \text{ mmHg} * 0.21 = 160 \text{ mmHg}$$

• כאשר מעניקים 95% חמצן במסיכה הלחץ החלקי משתנה:

$$p(O_2) = 760 \text{ mmHg} * 0.95 = 720 \text{ mmHg}$$

לחץ הגזים בנאדית

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



הובלת הגזים בדם

ריווי החמצן ומדידת הסטורציה

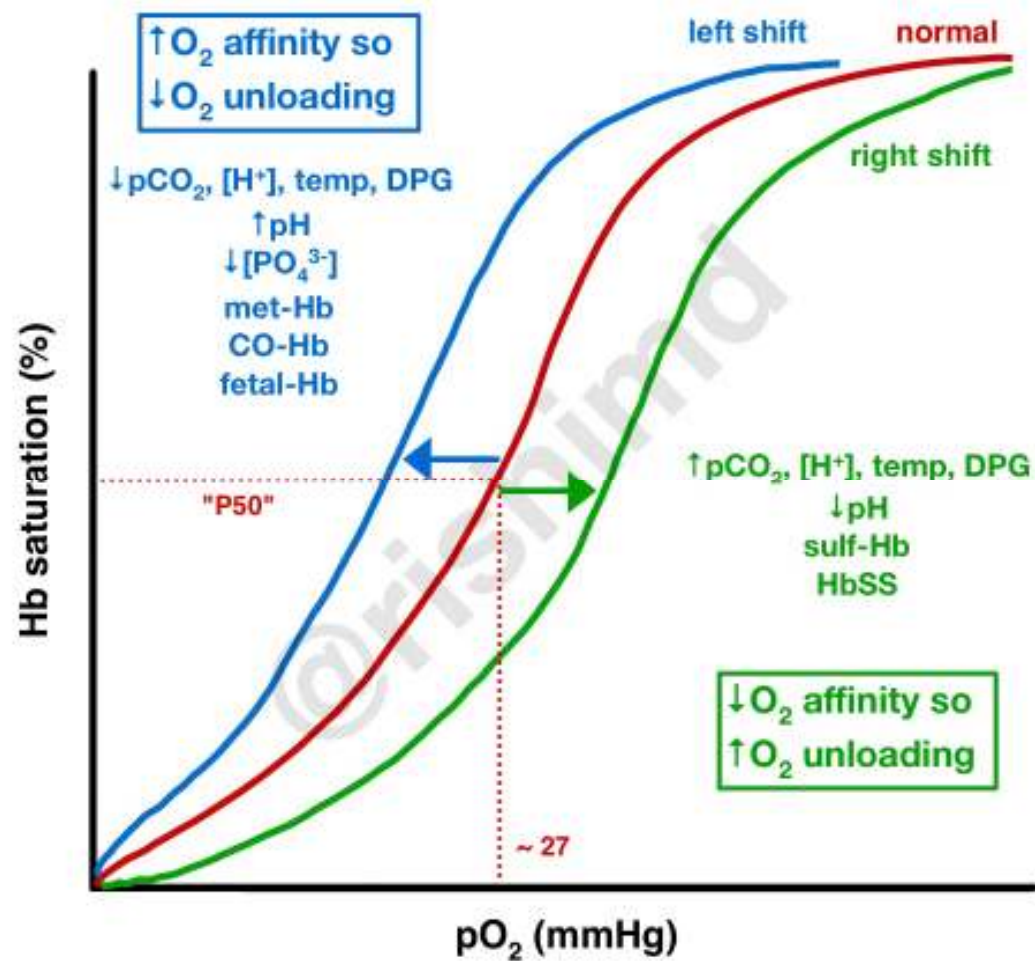
תנועת גזים בדם

- גז יכול לנוע במחזור הדם באחד משני דרכים:
- מומס בדם.
- קשור למולקולת המוגלובין בכדורית דם אדומה
- בגוף האדם לחמצן ולפחמן דו חמצני דרך תנועה מועדף.
- החמצן והפחמן הדו חמצני נעים באמצעי תחבורה שונים ואינם מפריעים אחד לשני

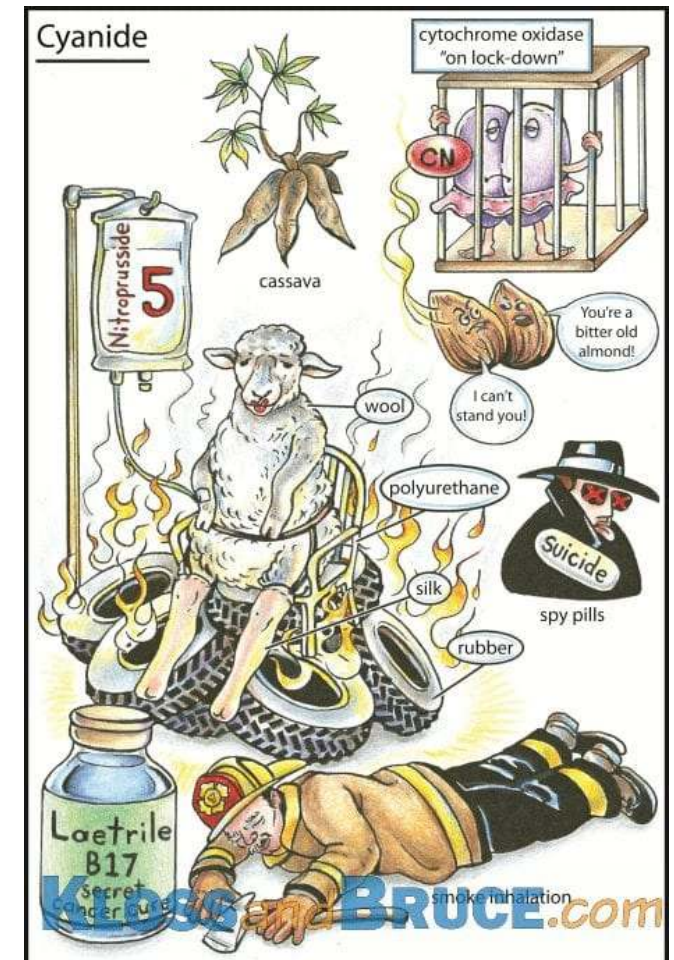
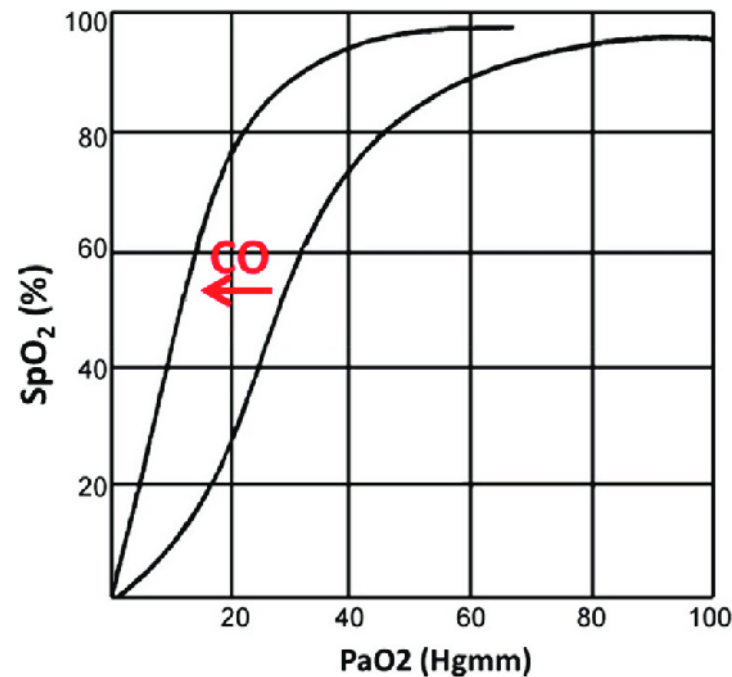
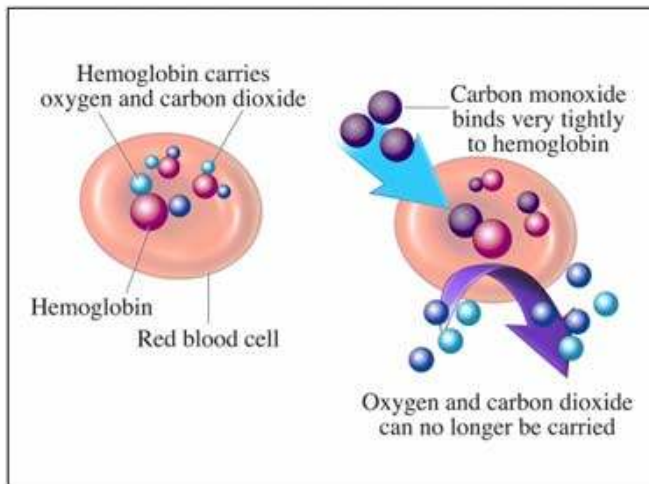
מעבר חמצן במחזור הדם

- צריכת החמצן בגוף:
 - במנוחה – 200 מ"ל לדקה.
 - במאמץ – 3000 מ"ל לדקה.
- חמצן נע ברובו קשור למולקולת ההמוגלובין שבכדורית הדם האדומה.
 - 100 מ"ל דם קושרים 20 מ"ל חמצן. בכל הדם יש 1000 מ"ל של חמצן.
- **פּלַס אוקסימטר** מודד את רווית ההמוגלובין.

הקשר בין החמצן להמוגלובין – עקומת הדיסוציאציה



הקשר בין החמצן להמוגלובין – תחרות



השפעת PO_2 על ריווי ההמוגלובין

• הגורם העיקרי אשר יקבע את אחוז קשירת ההמוגלובין הוא הלחץ החלק של החמצן בעורק!!!

- במצבים בהם PO_2 לפחות 60, לפחות 90% מההמוגלובין יתקשר לחמצן
- במצבים בהם PO_2 יהיה כ 40, הסטורציה תרד ל 75% בממוצע
- במצבים בהם PO_2 יהיה כ 25, הסטורציה תרד ל 50% בממוצע

• במערך הוריד, כאשר P_vO_2 יהיה לפחות 40, כ 75% מההמוגלובין יהיה עדיין רווי בחמצן.

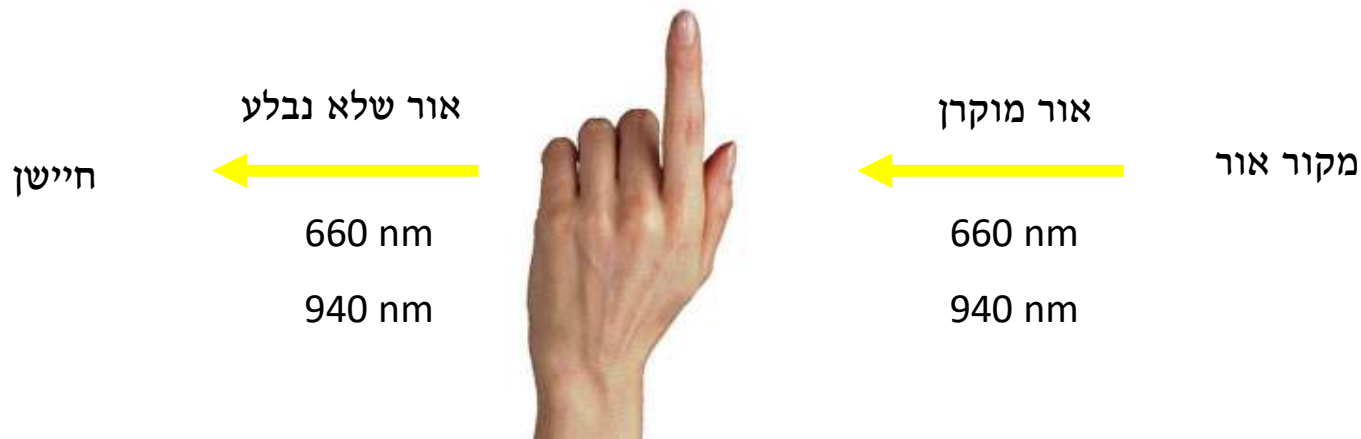
• האפיניות של ההמוגלובין יורדת עם עליית הטמפרטורה, ירידה ב pH ועליה ב PCO_2 .

סיכום

- בתנאים בהם צריך לקלוט יותר חמצן (מחסור בחמצן באוויר וכדומה) – העקומה מוסטת שמאלה ומפאשרת קשירה של חמצן להמוגלובין גם בלחץ נמוך
- בתנאים בהם הרקמות זקוקות יותר לחמצן העקומה מוסטת ימינה, הקשר בין החמצן להמוגלובין יורד וחמצן משתחרר לרקמות

כיצד פועל ה Pulse-oximeter ?

- מד הריווי בנוי מאטב בעל מקור אור וחיישן המחובר ליחידה ממוחשבת.



➤ כמות האור הנבלעת תלויה במידת החמצון של ההמוגלובין.

סוגי ההמוגלובין

- אוקסיהמוגלובין HbO_2
- המוגלובין מחוזר Hb
- מטהמוגלובין metHb
- קרבוקסיהמוגלובין COHb

שימושי מכשיר PulseOxymeter



1. זיהוי היפוקסמיה

2. הערכת מחזור הדם

3. ניטור בזמן העברה

חשוב לדעת

- מגבלות מדידה:
- כיווץ כלי דם – היפותרמיה
- לחץ דם נמוך
- רעד ותנועות
- חשיפה למקור אור חיצוני
- מיקום הגלאי
- סוגי המוגלובין פתולוגיים
- צבע ציפורניים

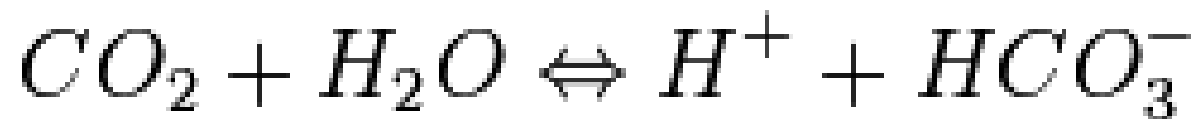
מעבר פחמן דו חמצני בדם

- פחמן דו חמצני נע ברובו כמומס בפלסמה:
- רק 5% מהגזים הקשורים להמוגלובין הם פחמן דו חמצני
- הפחמן הדו חמצני מתקשר עם המים והופך לביקרבונט. 97% מהפחמן הדו חמצני נע כביקרבונט
- נדנדה

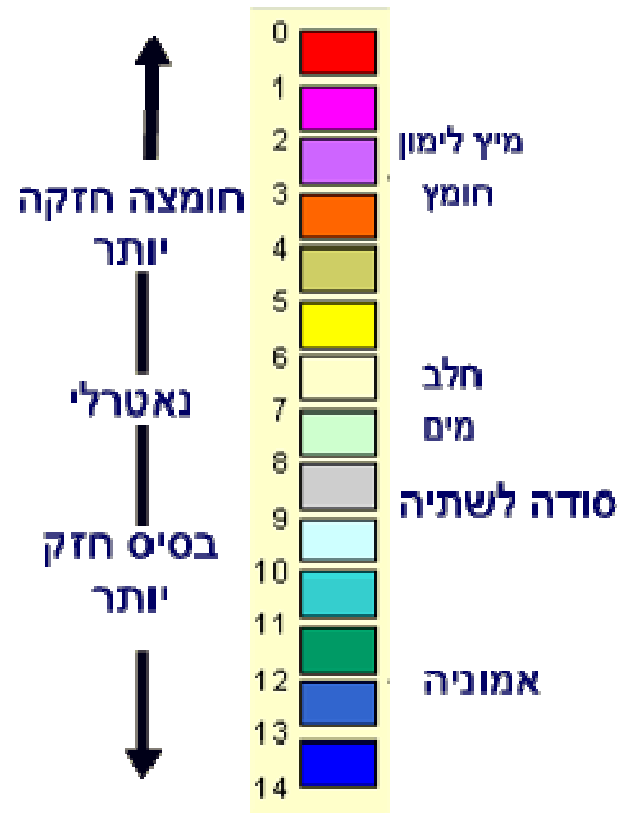


מאזן חומצה – בסיס

- קודם כל – מאיפה מגיעה חומציות לדם?
- בתהליך הנשימה התאית נפלט פד"ח
- כאשר הפד"ח מומס במים:
- מגיב ליצירה של חומצה פחמתית H_2CO_3
- חומצה זו מתפרקת ליון מימן ויון ביקרבונט ולכן:
- הוצאת הפד"ח (אורור) וייצור יוני ביקרבונט בכליה מאזנים את רמת החומציות בדם (7.35-7.45)

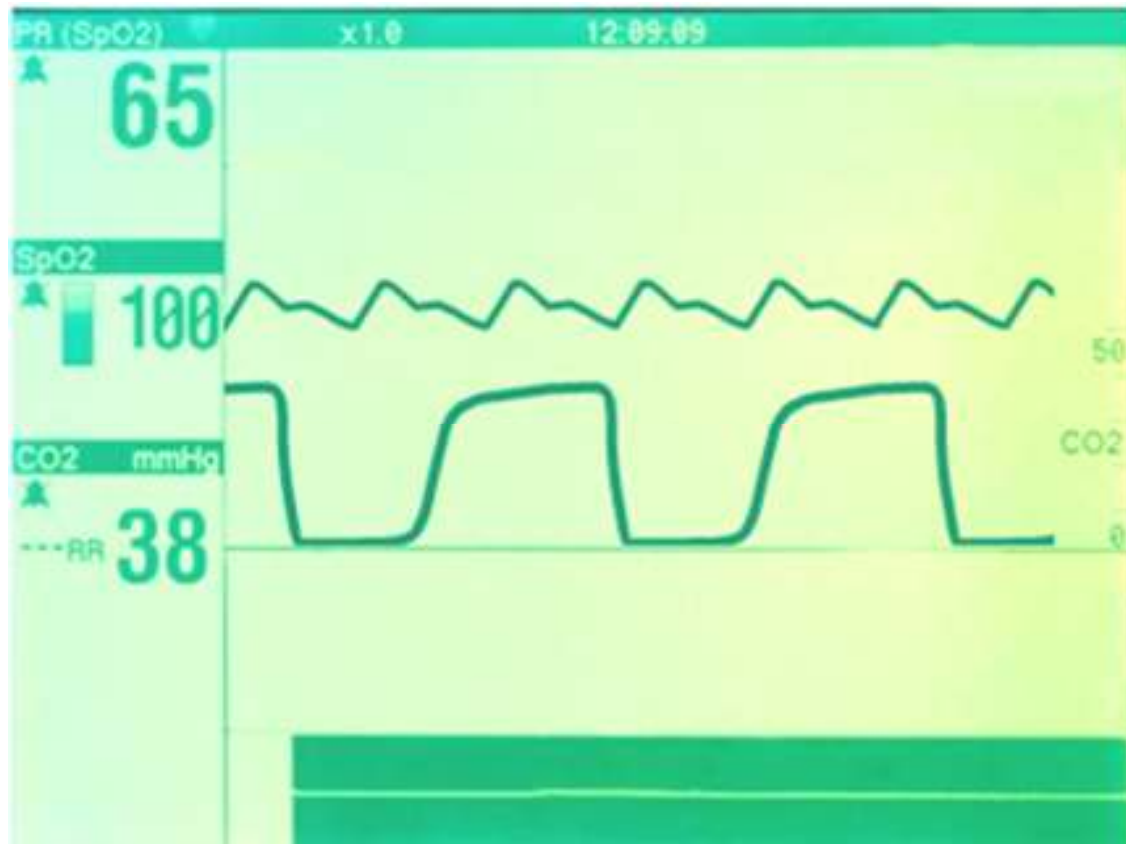


מאזן חומצה – בסיס



- סולם pH.
- ריכוז יוני המימן החופשי בדם
- תקין (בדם) 7.35-7.45 = טווח צר.
- חומצה = יון מימן חופשי.
- בסיס = "מנטרלי מימן" – זרחן, אמוניה, ביקרבונט- תגובה כימית היוצרת עם החומצה מלח ומים ובכך מנטרלת אותה
- בכליה:
 - ייצור ביקרבונט
 - סילוק מימן (נתרן)

Capnography



Respiration—The BIG Picture

1



- **Cellular Metabolism** of food into energy: O_2 consumption and CO_2 Production

2



- **Transport** of O_2 and CO_2 between cells and pulmonary capillaries, & diffusion from/into alveoli.

3



- **Ventilation** between alveoli & atmosphere

רמה נורמלית של גזים בדם

• עורקי

P_{O_2} : 100 mm/Hg •

P_{CO_2} : 40 mm/Hg •

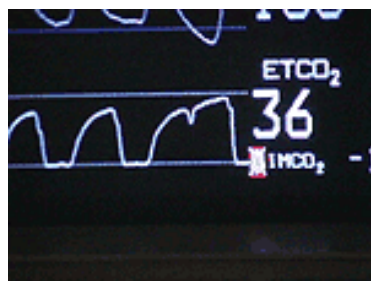
pH: 7.4 •

• ורידי

P_{O_2} : 40 mm/Hg •

P_{CO_2} : 46 mm/Hg •

pH: 7.36 •



ניטור – ETCO_2

- קפנומטר / קפנוגרף
- מדידה רציפה של ריכוז הפד"ח הננשף לאורך כל מחזור הנשימה
- גם מודד את קצב הנשימה (RR)

• CO_2 מהיכן?

- תהליך הנשימה התאית:
- אורגני + חמצן ← אנרגיה + מים + פד"ח
- הפד"ח מועבר לדם ומשם לריאות
- מעיד על תהליך האזור של הריאה

תוצר של:

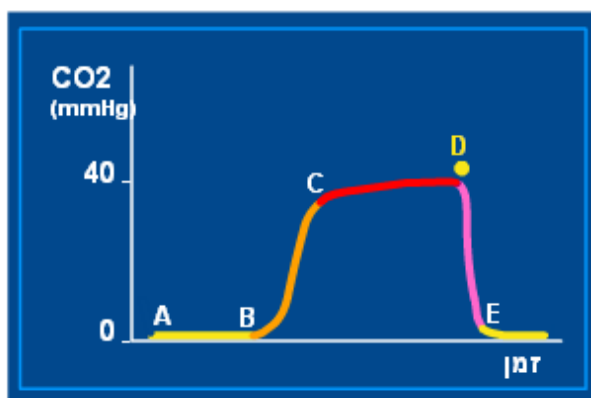
תא

דם

ריאה

מבנה הגל התקין

- A-B נפח מת (Dead Space) מבחינה אנטומית – היעדר CO_2 בנשימה
- B-C עליה מהירה בריכוז ה- CO_2 – החלק הראשון והאמצעי של הנשיפה
- C-D ישרות של הנאדיות- CO_2 בקצב קבוע (plateau)
- D סוף הנשיפה או סוף הנשימה (EtCO_2)
- D-E שאיפה



הטווח הנורמלי עבור EtCO_2 הוא 35 עד 45 מילימטר כספית (mmHg)
 (1 kpa או 7.5 mmHg = 1 %)

באדיבות חברת מיקרוסטרים

שימושים

• זיהוי מהיר של דום נשימה (לסטורציה ייקח יותר זמן לרדת – יש עדיין חמצן בדם)

• וידוא מקום הטובוס

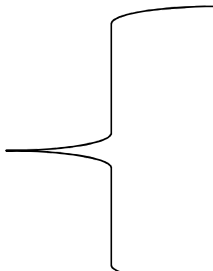
• ניטור תפוקת לב במהלך החייאה

• מעיד על ROSC (מעל 10)

• שמירה על רמת פד"ח נכונה בחשד לעלייה ב- ICP

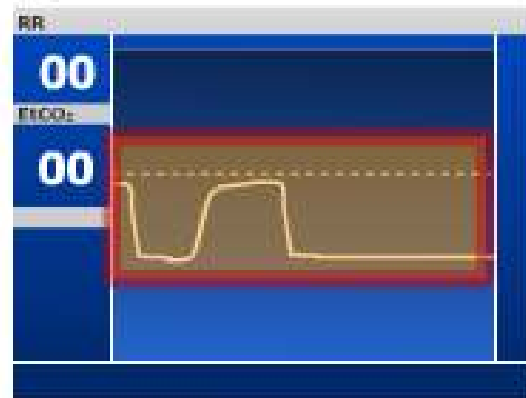
• מעקב אחר מטופל נושם

עלייה במדד
גל תקין

A bracket diagram with a horizontal line on the left and a vertical line on the right, with four inward-pointing hooks connecting it to the four first bullet points. The text 'עלייה במדד גל תקין' is positioned to the left of the bracket.

מיקום הטובוס

הצינור התוך קני נמצא
בוושט **esophagus**



הצינור התוך קני נמצא בתת
לוע **Hypopharynx**



שמירה על רמת פד"ח נכונה בחדש לעלייה ב- ICP

- כאשר יורדת כמות הפד"ח – ירידה בזרימת הדם למוח
- כאשר עולה כמות הפד"ח – עלייה בזרימת הדם למוח
- **במצב של חשש לעלייה ב- ICP:**



- המנע מהיפונטילציה
- השימוש בקפנו' על ידי מדד RR ומדד הפד"ח
- שמירה על רמה גבוהה מ- 50 ממ"כ

מעקב אחר מטופל נושם

- צריך שיהיה מתקן מתאים (קיים בקורפולס)
- גל וערכים תקינים מעידים על:

- נתיב אוויר פתוח
- תהליך נשימה תקין
- פרפוזיה תקינה



- לשים לב לשינויים במהלך הטיפול:

- השפעה חיובית / שלילית
- ביקרבונט ואדרנלין / דופמין

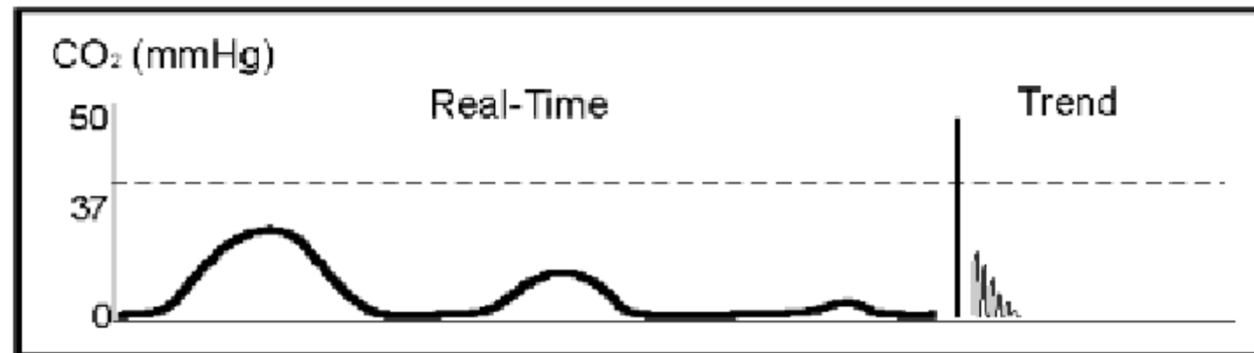
מעקב אחר מטופל נושם

- דום נשימה – ערך צונח לאפס, גל מתיישר
- ברונכוספזם – שינוי מבנה הגל
- אסטמה / COPD:

- יציב – מבנה וערך נורמלי
- התקף קל – ירידה בערך, שינוי המבנה
- התקף בינוני – עלייה לערך נורמלי
- התקף חריף – עלייה בערך, ירידה ב- RR
- מעקב אחר השינוי תוך כדי טיפול

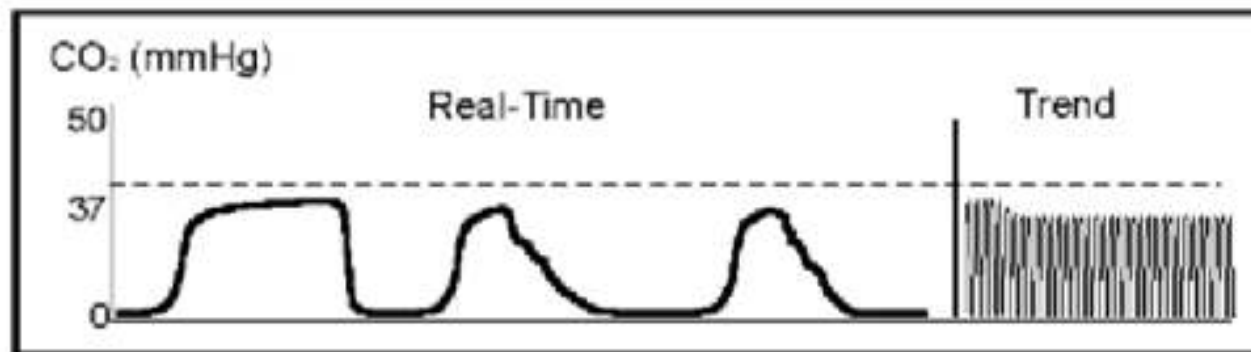


טובוס בקיבה



- קריאה טובה של קפנומטר היא אחת השיטות הטובות לוידוא כי הטובוס במקום
- כאשר הוא בקיבה הקריאה תהיה נמוכה עם גל נמוך, בעל צורה לא תקינה

דליפה מהטובוס

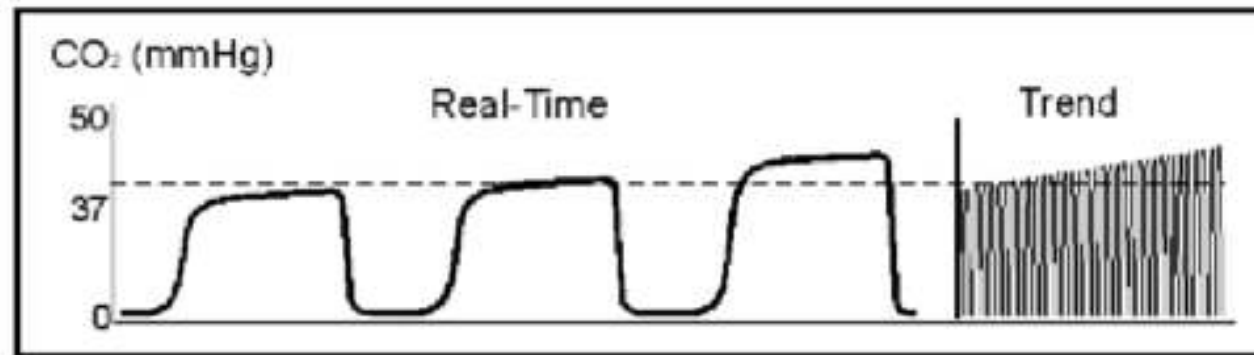


- סיבות אפשריות

- ✓ דליפה מהטובוס או מהבלונית

- ✓ טובוס קטן מדי

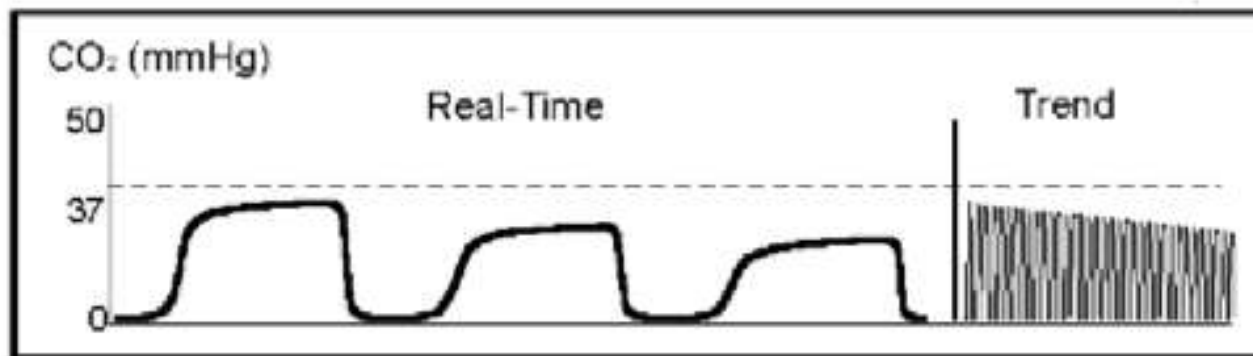
היפוונטילציה (ETCO₂ עולה)



• סיבות

- ✓ ירידה בקצב נשימה
- ✓ ירידה בנפח נשימה
- ✓ עלייה במטבוליזם
- ✓ עלייה מהירה בטמפ'

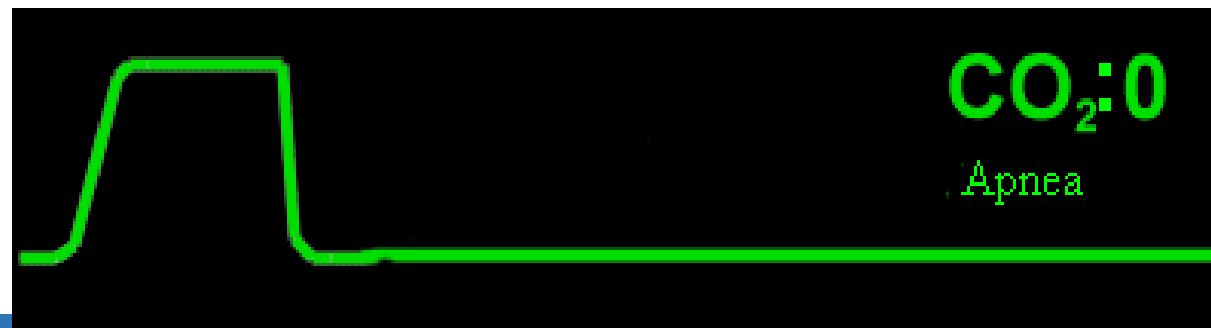
היפרוונטילציה (decrease in ETCO_2)



• סיבות אפשריות

- ✓ עלייה בקצב
- ✓ עלייה בנפח
- ✓ ירידה במטבוליזה
- ✓ צניחת טמפ'

איבוד פתאומי של הגל



Apnea✓

✓חסימה של נתיב אוויר

✓טובוס לא מקובע מטייל לוושט

✓ניתוק בין המנשם לטובוס

✓בעיה בהנשמה

✓דום לב

ניטור – פאלס אוקימטר

• עיקרון פעולה:

- המוגלובין מחומצן קולט קודם תדר אחד של אור (IR) והמוגלובין לא מחומצן קולט קודם תדר אחר (R)
- המכשיר מעביר אור אדום בשני התדרים
- מה שלא נקלט בהמוגלובין נקלט במכשיר והמכשיר מחשב את היחס
- במצב רגיל ואם הסטורציה מעל 70% הדיוק של המכשיר הוא $\pm 3\%$



פאלס אוקימטר – בעיות שיש לשים לב

• תנאים לחמצון הפריפריה:

בהעדר תנאים אלו – סטורציה
טובה אינה מדד מספיק טוב

- נוכחות חמצן אטמוספרי

- מספיק המוגלובין

- תפוקת לב

• הרעלת CO וציאניד – ההמוגלובין הקשור למולקול

אינו "נספר" במכשיר

• משפיעים נוספים – עובי אצבע, צבע עור, טמפרט

פטרייה בציפורן

- במהלך החייאה לא יעיל

- אחרי ROSC מלמד על יעילות החמצון

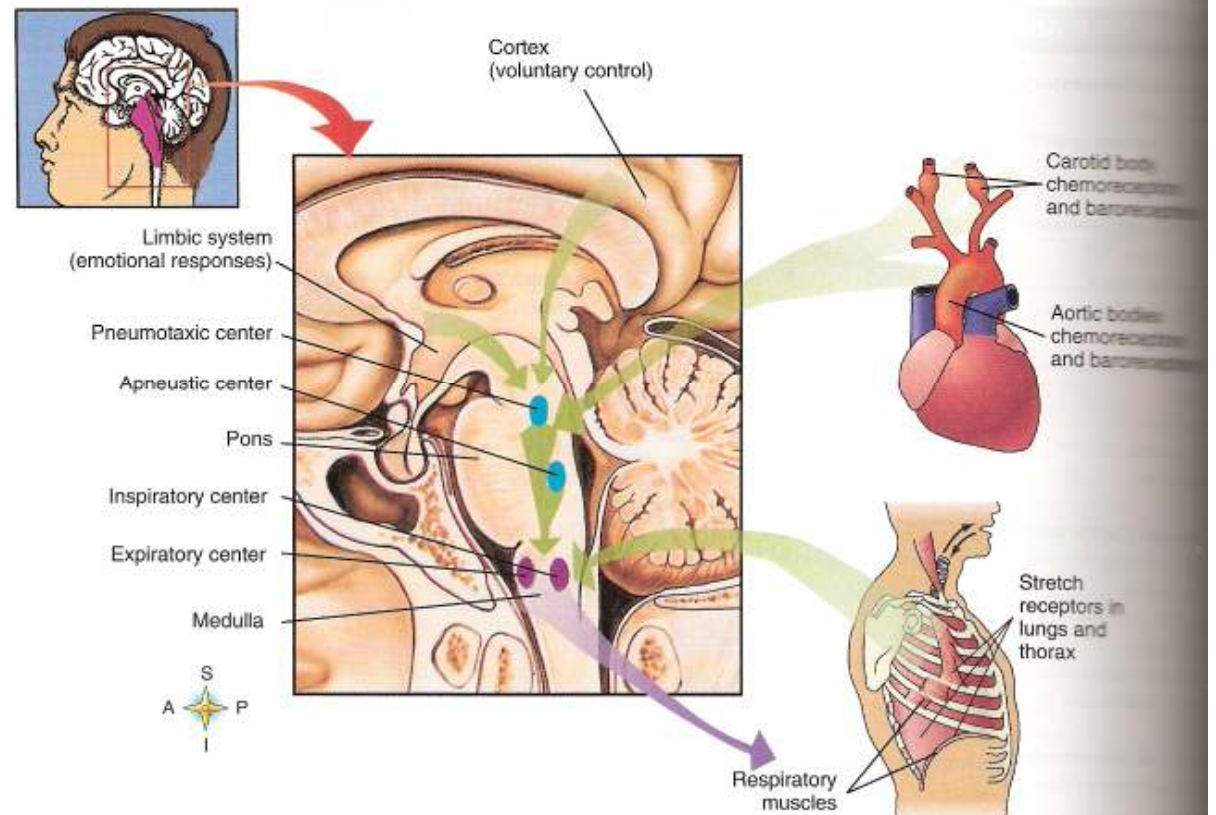
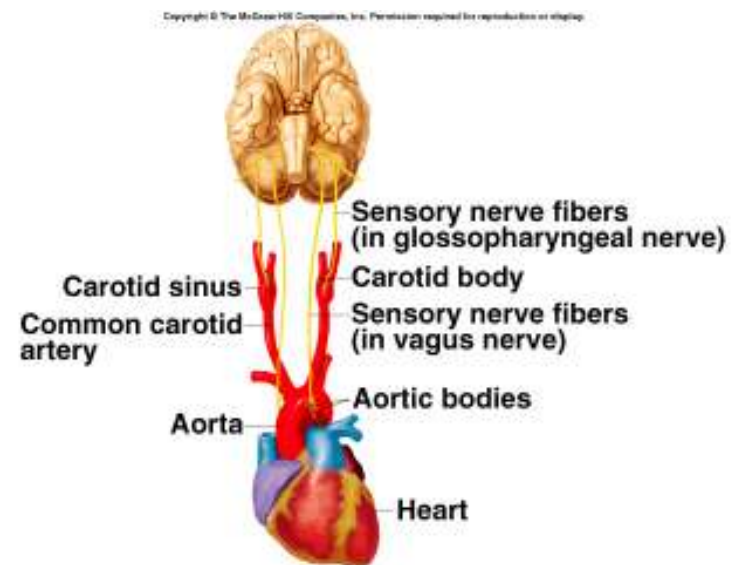


בקרה ופיקוח על נשימה

הכימורצפטורים

- השליטה בנשימה היא גם רצונית וגם לא רצונית.
- הגוף מבקר את הצורך בנשימה באמצעות כימורצפטורים.
- **כימורצפטורים – חיישן כימי – בודק ריכוזי כימיקלים בדם.**
- **כימורצפטורים הקשורים לנשימה:**
 - כימורצפטור שמודד רמות CO_2 .
 - כימורצפטור שמודד רמות חמצן.
 - כימורצפטור המודד יוני מימן (H^+)/רמת pH בדם.

כימורצפטורים



שינוי בקצב הנשימה

- נשיפה מול שאיפה – פראסימפתטית / סימפתטית
- שינויים אלה מפעילים את המערכת סימפטטית ומראים את סימני הסטרס:

- הגברת קצב נשימה.
- הגברת דופק.
- עור חיוור קר ולח.
- אישונים מורחבים.

מה יפריע להליך השאיפה התקין?

- חסימת דרכי אויר
- Central depression (head inj.drugs.anesthetic)
- אובדן הוואקום בין קרומי הפלאורה
- לחץ גדול בחלל ביהח"ז
- PARALYSIS OF RESP. MUSC.
- שברים מרובים בצלעות
- תרופות/חומרים...