



משרד החינוך

מערכת שידורים לאומית

חינוך גופני


מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק א'- מערכת הנשימה – נפחי ריאה במאמץ

שם המורה: ורד מנוס



מה נלמד היום

- אזורור הריאות במאמץ
 - נפחי ריאות דינמיים
 - תהליכי חילוף גזים
 - גורמים המשפיעים על חילוף גזים
 - העברת הגזים על ידי הדם
 - ויסות נשימה
- 

אורור הריאות

אורור הריאות במנוחה

- אורור ריאה : V_E תנועה מחזורית ורצופה של אוויר אל תוך הריאה ומחוצה לה.
- אורור הריאות תלוי בנפח האוויר שמאורור בכל נשימה (נפח המתחלף - V_t) ובתדירות הנשימה (f)
- האורור הריאתי במנוחה הוא 6-7.5 ליטר בדקה כאשר הנפח המתחלף כ 0.5 ליטר ותדירות הנשימה 12-15 נשימות בדקה.

$$V_E = V_t \times f$$

- V_t – נפח מתחלף
- f – תדירות הנשימה
- V_E – אורור ריאתי

אורור הריאות


אורור נאדיתי

- אורור נאדיתי: אורור הבועיות
- כדי להשיג את המטרה הסופית שהיא אספקת חמצן לשרירים וסילוק עודף של פד"ח, חלק גדול של
- האוויר חייב להגיע לנאדיות, שבהן נעשה חילוף גזים בין האוויר לדם.
- **נפח מת אנטומי**: נפח אוויר המצוי בדרכי הנשימה ובפה שאינו תורם לחילוף הגזים בנאדיות 150 מ"ל.
- הגורם החשוב בשחלוף גזים הוא האורור הנאדיתי ולא האורור הריאתי, מאחר, שהאורור הריאתי כולל בתוכו את האורור הנאדיתי ואת הנפח מת אנטומי.
- בנשימה שטחית רוב האוויר יישאר באזור הנפח מת אנטומי ולא יהיה זמין לחילוף גזים.
- האוויר הננשף כולל אחוז חמצן גבוהה מהאוויר בנאדיות מאחר שלאוויר הננשף מתווסף האוויר שהיה בנפח המת האנטומי, שבו לא היה מיצוי של חמצן.



אורור הריאות

אורור נאדיתי

- **נפח מת פיזיולוגי**: סך כל הנפח במערכת הנשימה שבו לא מתקיים חילוף גזים,
 - נפח מת פיזיולוגי כולל בתוכו גם את הנפח המת האנטומי.
 - באדם בריא הנפח המת האנטומי והפיזיולוגי שווה.
- 

למי לדעתכם יש נפח מת אנטומי גדול יותר לאדם או לג'ירף? הסבירו.



לג'ירף יש נפח מת אנטומי גדול יותר מאחר
וקנה הנשימה שלו ארוך מאוד ובשטח זה
לא מתקיים שחלוף גזים.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giraffa_camelopardalis_-_Disney%27s_Animal_Kingdom_Lodge_-_01-_2010-01-19.jpg#/media/קובץ:Giraffa_camelopardalis_-_Disney's_Animal_Kingdom_Lodge_-_01-_2010-01-19.jpg



הלחץ החלקי של החמצן באוויר הננשף הוא 118 מ"מ כספית, ואילו בנאדיות 100 מ"מ כספית. מהו, לדעתכם, ההסבר הפיזיולוגי לשוני שבערכים?

השוני בלחץ החלקי נובע מכך שהאוויר הננשף כולל אוויר מהנאדיות ואוויר שהיה בנפח מת אנטומי, שבו לא היה מיצוי של חמצן.

אי לכך אחוז החמצן באוויר הננשף גבוה יותר מהאוויר שבנאדיות.



אורור הריאות במאמץ

- לפני תחילת המאמץ יש עליה קלה באורור הריאות מהציפייה לקראת המאמץ.
- תחילת המאמץ יש עליה גדולה ומיידית באורור.
- אם המאמץ תת מרבי העלייה נמשכת באופן מתון ולבסוף ישנה התאזנות עד לסיום המאמץ
- אם המאמץ מרבי העלייה באורור נמשכת עד הגעה לתשישות (120-200 ליטר בדקה).
- לאחר המאמץ האורור חוזר בהדרגה לערכי מנוחה.

אורור הריאות במאמץ

- העלייה באורור הריאתי במאמץ היא תוצאה של עלייה בנפח המתחלף (עומק נשימה) והגברת תדירות הנשימה. העלייה בנפח המתחלף בשעת מאמץ, באה על חשבון נפח השאיפה הרזרבי ונפח הנשיפה הרזרבי.
- בדרגת מאמץ נמוכה עד בינונית העלייה הנדרשת האורור הריאתי מתממשת בעיקר על ידי עלייה בנפח המתחלף (עומק הנשימה) תוך שינוי לא גדול בקצב הנשימה.
- ככל שעצימות המאמץ גוברת, פוחתת העלייה בנפח המתחלף ובולטת העלייה בתדירות הנשימה.

אזור הריאות במאמץ

במאמץ האם כדאי לנשום עמוק או מהר (להגביר את תדירות הנשימה)?

- הגברת עומק הנשימה דורש מאמץ משרירי הנשימה, לכן לכאורה עדיף לנשום מהר ושטחי אולם צריך לזכור שבכל מחזור נשימה אנו מאבדים 150 סמ"ק בנפח מת אנטומי, שאינו משתתף בחילופי הגזים. ולכן אנו צריכים להעלות בזמן מאמץ את האזור הנאדיתי בכך שנעלה את עומק הנשימה.
- לסיכום עדיף לנשום עמוק ולא מהר כדי שלא נאבד הרבה חמצן בנפח מת אנטומי!!!

נפחי ריאות דינמיים

- ככל שמשך המילוי של הריאות בנפח מתחלף נתון יהיה קצר יותר, כך ניתן יהיה לבצע תדירות גבוהה יותר של נשימות, והאוויר הריאתי יהיה גדול יותר.
- האוויר הריאתי תלוי במהירות זרימת האוויר מחוץ לריאות ואליהן יותר מכמות האוויר המוכנסת בנשימה אחת.
- מהירות זרימת האוויר מושפעת מהתנגדות דרכי הנשימה, בית החזה ורקמת הריאה, לשינויים במבנה שלהם בזמן הנשימה.
- אנשים החולים במחלות ריאה חמורות הגורמות לחסימה בדרכי הנשימה או/ו הפחתה באלסטיות של רקמות הריאה, עשויים להשיג ערכים נורמאליים בנפחי ריאות סטטיים. ולכן רצוי שנערוך להם בדיקות בנפחי ריאות דינמיים של תפקודי ריאה.
- **נפחי ריאות דינמיים: נפחי אוויר הננשפים ביחידת זמן**

נפחי ריאות דינמיים

מבחני תפקוד ריאה דינמיים FEV1 -

- מבחן FEV1 - forced expiratory volume in 1 sec
- בודק את נפח האוויר המרבי, שיכול להנשף בשנייה הראשונה,
- משקף את הכוח הנשיפתי ואת ההתנגדות הכללית לתנועת האוויר בריאות.
- תקין 85% מהקיבולת החיונית ננשפים בשנייה הראשונה
- מחלה קשה 70% מהקיבולת החיונית בשנייה הראשונה.
- מחלות אמפיזמה או אסתמה יכול להגיע ל-40% מהקיבולת החיונית בשנייה הראשונה

נפחי ריאות דינמיים

מבחני תפקוד ריאה דינמיים MVV -


מבחן MVV - maximal voluntary ventilation

בודק את האוורור המרבי הרצוני. המבחן דורש נשימות עמוקות ומהירות במשך 15 שניות. התוצאה מוכפלת ב4 ומקבלים נפח מרבי בדקה.

- תקין ללא מאומן 140-180 ליטר לדקה,
- ספורטאי סבולת מגיע לערכים גבוהים יותר האוורור הרצוני המרבי של אדם לא מאומן צפוי להיות נמוך מזה של אדם מאומן (באותו גיל ומין)
- חולה במחלה חסימתית יכולים להשיג כ 40% מהערך של אדם רגיל.



האם מערכת הנשימה מגבילה בריאים בפעילות אירובית ממושכת?

- אנשים בריאים שאינם ספורטאי סבולת ברמה גבוהה, אינם מנצלים את כל מלוא הפוטנציאל של אוורור הריאות שלהם במאמץ, ויש להם רזרבה נשימתית. ולכן מערכת הנשימה אינה מהווה גורם מגביל.
 - ספורטאי סיבולת לעיתים, במאמץ מרבי, מנצלים את מלוא היכולת של מערכת הנשימה ולא תהיה להם רזרבה נשימתית. במצבים אלו ניתן לראות את תפקוד מערכת הנשימה כגורם המגביל את ההגעה להישגים טובים יותר.
- 



השפעת הגיל על ערכי נפחי הריאות הדינמיים?

ערכי FEV1 וערכי האוורור המרבי הרצוני MVV פוחתים ככל שהאדם מתבגר.


החל משנות העשרים המאוחרות חלה ירידה בערכי נפחי הריאות הדינמיים.





כיצד משפיעה מחלת השפעת על דרכי הנשימה? באיזה מדד יתבטא הדבר?

הפרשת הליחה המוגברת והדלקת המתרחשת לעיתים בדרכי הנשימה בעת מחלת השפעת יעלו את החסימתיות של דרכי הנשימה. הדבר יתבטא בירידה בערכים של נפחי הריאה הדינמיים כמו הנפח החיוני, שיכול להינשף בשנייה הראשונה (מבחן FEV1)



שאלות לחשיבה

1. באיזה ענף ספורט מערכת הנשימה של ספורטאי עלולה להיות גורם המגביל את הישגיו, ובאילו מקרים?
2. מה העדות לכך שהאווורור הריאתי אינו מהווה גורם מגביל במאמצים מרביים אצל אנשים שאינם ספורטאי סבולת ברמה גבוהה.
3. מתי , לדעתכם נצלול למשך זמן ארוך יותר, כאשר עוצרים נשימה באופן מוחלט או כאשר נושפים באופן הדרגתי במהלך הצלילה? הסביר

חינוך גופני

מקצוע מוגבר לבגרות 5יח"ל

חלק ב'- ערכת הנשימה – תהליכי חילוף גזים

שם המורה: ורד מנוס



תהליכי חילוף גזים

היכן מתבצע חילוף גזים בגוף?

חילוף גזים מתבצע:

בנאדיות הריאה, בין הנאדיות לנימי הדם.
בשריר, בין הדם לרקמת השריר

בשני המקומות הנ"ל חילוף הגזים מתבצע בצורה דומה.



תהליכי חילוף גזים

לחצים חלקיים של גזים

- לחץ חלקי: הלחץ שנוצר על ידי גז מסוים.
- גזים נמצאים בתנועה מתמדת. הם מתנגשים זה בזה ובקירות הכלי שבו הם נמצאים. ההתנגשויות יוצרות לחץ, שגודלו נקבע על ידי כמות המולקולות של הגז (כמות ההתנגשויות) והטמפרטורה.
- ככל שחלקו היחסי של הגז בתערובת יותר גדול, כך גם לחצו החלקי יהיה גדול יותר.

תהליכי חילוף גזים

מפל הלחצים של חמצן ופחמן דו חמצני

- לחץ חלקי של גז, זהו הגורם החשו ביותר בתהליך חילוף הגזים בנאדיות וברקמת השריר. גזים עוברים בדיפוזיה בהתאם למפל הלחצים החלקיים.
- הלחץ החלקי של חמצן גדול בנאדיות וקטן בנימי הדם העוטפים אותן, בעוד שלגבי פחמן דו חמצני המצב הפוך
- ברקמת השריר הלחץ החלקי של החמצן בנימי הדם גדול יותר מאשר בתוך סיבי השריר. הלחץ החלקי של פחמן דו חמצני גדול בסיבי השריר וקטן בנימי הדם.
- משך הזמן שבו שווה הדם בנימי הריאה במנוחה הוא כ $\frac{3}{4}$ שנייה. זהו זמן מספיר להעביר את החמצן לדם בנימי הריאה. גם במאמץ, שבו מתקצר הזמן שהדם שווה בריאה עד לשליש שניה, החמצן מספיק לעבור לדם.

תהליכי חילוף גזים

גורמים המשפיעים על חילוף הגזים

- לחץ חלקי של פחמן דו חמצני וחמצן.
- מספר תאי הדם האדומים
- כמות המיוגלובין בתאי השריר (נמצא בשרירי שלד ובדומה להמוגלובין הנמצא בתאי דם האדומים, הוא נקשר לחמצן ועוזר להעבירו מקרום תא השריר למיטוכונדריה).
- שטח הפנים שזמין לדיפוזיה. (בעת מאמץ מרבי גדלה פי שלושה כמות הנימים הפתוחים בשרירי השלד, שדרכם יכול החמצן לעבור בדיפוזיה).

העברת הגזים על ידי הדם

גזים מומסים

חמצן ופחמן דו חמצני מומסים בכמות קטנה בדם אולם הם אינם נקשרים באופן כימי עם המולקולות הנוזליות שבונות את הפלסמה (כמו במשקה מוגז כשפותחים את הבקבוק לחץ החלקי של הגז בבקבוק קטן)

כמות הגז שמומסת בדם תלויה במסיסות הגז ובלחץ החלקי שלו.

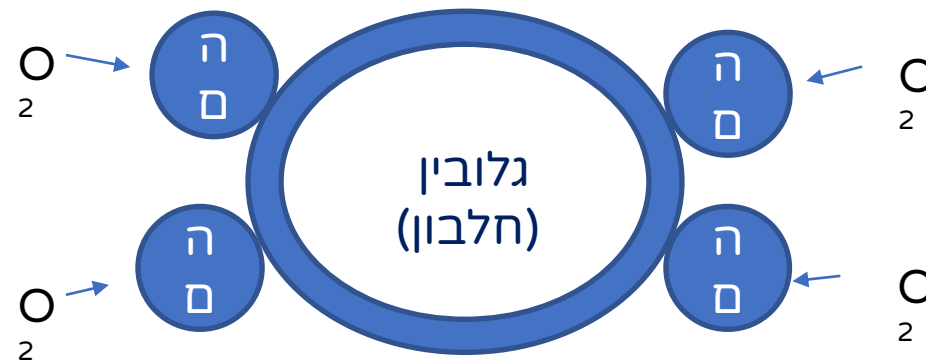
בלחצים חלקיים נורמליים כמות החמצן המומסת בדם כ-1.5% מסך כמות החמצן המועברת בדם.

כמות הפד"ח המומסת בדם כ-5% מסך כמות הפד"ח המועברת בדם.

העברת הגזים על ידי הדם

נשיאת חמצן במבנה כימי - אוקסימוגלובין

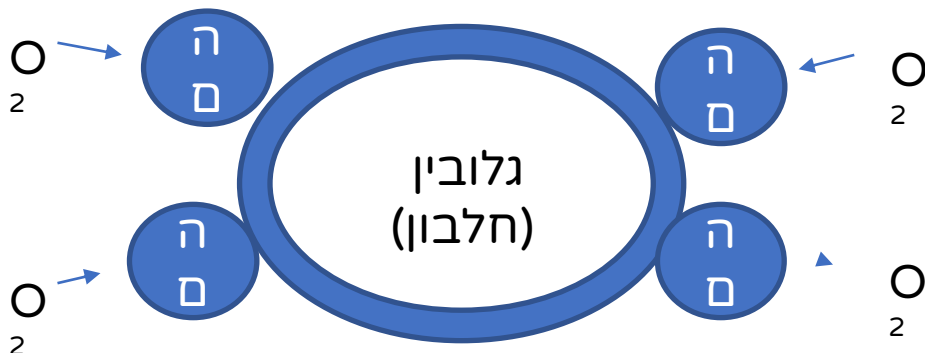
חלק גדול של חמצן נישא על ידי תאי הדם האדומים במצב של קשר כימי עם ההמוגלובין. למולקולת ההמוגלובין מבנה מורכב הבנוי מיחידות "הם" המכילות ברזל ומיחידת חלבון הנקראת גלובין. החמצן נקשר לברזל שביחידת ה"הם" ויוצר אוקסימוגלובין.



העברת הגזים על ידי הדם

נשיאת חמצן במבנה כימי - אוקסימוגלובין

- כמות החמצן שנקשרת להמוגלובין נקבעת על ידי הלחץ החלקי של החמצן ובאה לידי ביטוי בשתי דרכים:
- כמות מוחלטת במיליליטר של חמצן בכמות נתונה של דם (בד"כ ב 100 מ"ל או ב 1 ליטר דם)
- כמות יחסית לכמות החמצן המרבית המסוגלת להיקשר.
- הכמות היחסית מבוטאת באחוזים ונקראת **רוויות המוגלובין**



העברת הגזים על ידי הדם

עקומת ההיפרדות של חמצן מההמוגלובין במנוחה

- הקשר בין כמות החמצן, שנקשר באופן כימי להמוגלובין ובין הלחצים החלקיים של החמצן נקרא עקומת ההיפרדות של החמצן מההמוגלובין.
- בלחץ חלקי של 100 מ"מ כספית (הלחץ החלקי שמצוי בנאדיות בגובה פני הים) ההמוגלובין רווי כמעט ב-100% עם חמצן.
- בלחץ חלקי של 70 מ"מ כספית אין שינוי משמעותי בתכולת החמצן
- בזמן מנוחה חץ חלקי של החמצן 40 מ"מ כספית. ההמוגלובין רווי ב-75%, כלומר משחרר 25% חמצן לרקמות

העברת הגזים על ידי הדם

עקומת ההיפרדות של חמצן מההמוגלובין במאמץ

- בזמן מאמץ בכל לחץ חלקי של חמצן משתחרר יותר חמצן.
- בזמן מאמץ עצים הלחץ החלקי של החמצן ברקמות יכול להגיע 20 מ"מ כספית. במצב זה ישחרר ההמוגלובין לרקמות 75% - 85% מהחמצן שקשור אליו.
- בזמן מאמץ קיימת עליה בלחץ החלקי של הפד"ח, עלייה בטמפרטורה, ועלייה בחומציות.

העברת הגזים על ידי הדם

אפקט בוהר

- ככל שהלחץ החלקי של הפד"ח עולה
- הטמפרטורה עולה
- ו/או החומציות עולה
- הזיקה של החמצן להמוגלובין נחלשת וההמוגלובין משחרר את החמצן ביתר קלות.
- השפעת הלחץ החלקי של פד"ח, הטמפרטורה והחומציות על הזיקה של חמצן להמוגלובין מכונה **אפקט בוהר**

ההפרש בתכולת החמצן בין דם עורקי לוורידי

- ההבדל בתכולת החמצן בין דם עורקי לדם וורידי משקף את כמות החמצן ששוחררה על ידי ההמוגלובין לרקמות. ההפרש בתכולת החמצן בין דם עורקי לוורידי משקף את מיצוי החמצן ע"י השרירים לצורך הפקת אנרגיה במסלול האירובי.
- הפרש בתכולת החמצן בין הדם העורקי לוורידי במנוחה הוא 5 מ"ל חמצן/100 מ"ל דם.
- בתנאי מאמץ קשים ההפרש בתכולת החמצן בין דם עורקי לדם וורידי הוא 12-16 מ"ל חמצן לכל 100 מ"ל דם.
- יש לזכור שיכולת נשיאת החמצן המרבית של ההמוגלובין היא בסביבות 20 מ"ל חמצן לכל 100 מ"ל דם. כלומר, ההמוגלובין משחרר בתנאי מאמץ 75%-85% מהחמצן הקשור אליו.

ההפרש בתכולת החמצן בין דם עורקי לווריד

מיצוי החמצן בשריר

כמות החמצן שהשריר עושה בה שימוש לצורך הפקת אנרגיה, תלויה:

- בעוצמת המאמץ המבוצע.
- אחוז הסיבים הלבנים והאדומים בשרירים הפועלים
- ביכולת האירובית של האדם.

ככל שהיכולת האירובית גבוהה יותר, יפיק הספורטאי יותר אנרגיה במסלול האירובי במאמץ נתון, ולכן יעשה שימוש רב יותר בחמצן.

הובלת פד"ח בצורה כימית

- יוני ביקרבונט- בתאי הדם האדומים ישנו אנזים שמזרז את התגובה בין פד"ח למים.
תוצר התגובה הוא חומצה פחמתית (קרבונית), שאחר כך מתפרקת ליוני מימן ויוני ביקרבונט. 65% מהפד"ח מועבר בצורה זו.



- יון ביקרבונט יון מימן חומצה פחמתית מים פד"ח

- קרבאמינו – חיבור כימי להמוגלובין (במקום שונה מהחמצן)
- 30% מהפד"ח מובל בצורה זו.

ויסות נשימה

מנגנוני ויסות בקרה של מערכת הנשימה

- מרכז בקרת הנשימה, האחראי לוויסות הנשימה, הנו קבוצת תאי עצב הממוקמים במוח המאורך השייך לגזע המוח.
- מרכז הנשימה משפיע בעיקר על האוורור הריאתי האופן שהלחץ החלקי של הפד"ח בנאדיות ובעורקים נשמר בגובה 40 מ"מ כספית והלחץ החלקי של החמצן בנאדיות נשמר בגובה 100 מ"מ כספית.
- העלאת קצב הנשימה ועומקה נעשית על ידי דחפים עצביים המגיעים לסרעפת ולשרירים הבין צלעיים הן ממערכת העצבים האוטונומית והן ממערכת העצבים הרצונית.
- אנו יכולים לשלוט באופן רצוני על האוורור הריאתי מצד שני, מרכז הנשימה מושפע מגירויים עצביים וגירויים כימיים.

ויסות נשימה

גירויים עצביים

- גירויים עצביים נוצרים בריאות, במרכזים גבוהים של המוח, בשרירים, במפרקים ובגידים.
- בריאות: ישנם קולטני מתיחה שאחראים לקצב הנשימה הנורמלי הלא מודע בזמן מנוחה.
 - מתיחה של הריאה גורמת לעיכוב השאיפה והיווצרות נשיפה פסיבית, במנוחה.
 - הרפיית הריאה גורמת להפעלת שרירי שאיפה ולפעולת השאיפה.
- במוח: מסילות עצביות המגיעות למרכז הנשימה במוח מאפשרות להגביר את קצב הנשימה ועומקה באופן רצוני.
- מצבים רגשיים כמו: מתח, חרדה, התרגשות ואפילו צפייה למאמץ גופני מאיצים גם הם את קצב הנשימה באמצעות מרכזים גבוהים הקשורים למרכז הנשימה.
- בשרירים: קולטנים הנמצאים השרירים, בגידים ובמפרקים משפיעים על מרכז הנשימה בתחילת המאמץ וגורמים לו להגביר באופן מיידי את האוורור הריאתי

ויסות נשימה

גירויים כימיים

הגירויים הכימיים המשפיעים על מרכז הנשימה, נקלטים בעזרת כמורצפטורים (קולטנים הרגישים לשינוי בריכוז חומרים).

השינויים הנקלטים הם:

- שינויים בריכוז חמצן (במידה מועטה)
- שינויים בריכוז פד"ח
- שינויים בריכוז יוני המימן.

עלייה בלחץ החלקי של הפחמן הדו חמצני (מעל 40 מ"מ כספית) ובריכוז יוני המימן גורמת לעליה מיידית באורור הריאתי.



ויסות נשימה

עצירת נשימה

עצירת הנשימה תגרום לעליה בריכוז של הפחמן הדו חמצני
בדם.

הדבר יגביר את התגובה הכימית שבין הפחמן הדו חמצני ובין
המים והתוצאה תהיה העלאת רמתה של החומצה הפחמתית
המתפרקת ליוני ביקרבונט וליוני מימן.



ויסות נשימה

אזורר יתר - היפרוונטילציה

- הגירוי העיקרי להגברת האזורר הריאתי הוא רמת הפחמן הדו חמצני בדם.
- אזורר יתר ממושך (היפרוונטילציה) גורם להורדת ריכוז הפחמן הדו חמצני
- בדם ומאריך את משך הזמן עד להגעתו לריכוז, שמהווה סף גירוי לפעולת הנשימה.
- בצורה זו לפני צלילה בבריכה ניתן להאריך את משך השהייה מתחת למים עד להרגשת הכורח בנשימה.
- בזמן מאמץ פעולה זו מסוכנת!!!



ויסות נשימה

נשימה נכונה בצלילה

כאשר מחזיקים את האוויר בריאות רמת הפחמן הדו חמצני עולה בריאות ועקב כך בדם. העלייה ברמת הפחמן הדו חמצני בדם מגרה את מרכז הנשימה, שגורם לדחף חזק לחזור ולנשום, כלומר להפסיק את הצלילה.

כאשר נושפים תוך הצלילה, רמת הפחמן הדו חמצני בגוף אינה עולה במהירות, ולכן הגירוי לביצוע נשימה מגיע בשלב מאוחר יותר.



שאלות לסיכום

1. מה משקף ההפרש בתכולת החמצן בין הדם העורקי לוורידים? מהם הגורמים הקובעים את גודל ההפרש?
2. מה יקרה, לדעתכם, לרמת החומציות של הדם בזמן עצירת נשימה? הסבירו.
3. באיזה חלק של המוח נמצא מנגנון ויסות הנשימה? ציינו ארבעה גורמים המשפיעים על ויסות הנשימה.
4. צוללנים הצוללים צלילה חופשית (ללא אמצעי עזר) ורוצים להאריך את שהותם מתחת למים, מבצעים אוורור יתר באמצעות נשימות רבות ועמוקות במשך דקות אחדות לפני הצלילה. הסבירו את ההגיון הפיזיולוגי שבהתנהגות זו. האם לדעתכם, הדבר כרוך בסיכון בריאותי?
5. ציינו שלושה גורמים פיזיולוגיים המגבירים את שחרור החמצן מההמוגלובין בזמן מאמץ גופני.

מדינת ישראל
משרד החינוך



נוהל שימוש ביצירות מוגנות בזכויות יוצרים ואיתור בעלי זכויות

השימוש ביצירות במהלך שידור זה נעשה לפי סעיף 27א לחוק זכות יוצרים, תשס"ח. 2007-אם הינך בעל הזכויות באחת היצירות, באפשרותך לבקש מאיתנו לחדול מהשימוש ביצירה, זאת באמצעות פנייה לדוא"ל rights@education.gov.il