

האוניברסיטה העברית בירושלים

סילבוס

מערכת הנשימה של האדם הבריא - 96202

תאריך עדכון אחרון 14-09-2022

נקודות זכות באוניברסיטה העברית: 3.5

תואר: בוגר

היחידה האקדמית שאחראית על הקורס: רפואה

השנה הראשונה בתואר בה ניתן ללמוד את הקורס: 0

סמסטר: סמסטר א'

שפת ההוראה: עברית

קמפוס: עין כרם

מורה אחראי על הקורס (רכז): ד"ר אנה נחשון

דוא"ל של המורה האחראי על הקורס: anna.nachshon@mail.huji.ac.il

שעות קבלה של רכז הקורס: בתיאום מראש

מורי הקורס:

ד"ר אנה נחשון,
ד"ר סמיר נסייר,
פרופ דורית שחם,
פרופ נוויל ברקמן,
ד"ר רותם לנגה

תאור כללי של הקורס:
הקורס יעסוק בתפקוד ומבנה תקין של מערכת הנשימה

מטרות הקורס:
להציג לתלמידים את המבנה ועקרונות הפעילות של מערכת הנשימה באדם הבריא.

תוצרי למידה
בסיומו של קורס זה, סטודנטים יהיו מסוגלים:
יכירו את המבנה האנטומי המקרוסקופי של הריאה ומערכת הנשימה כולל העצבוב ואספקת הדם של המערכת.

יתארו את המבנה האנטומי של הריאה ודרכי הנשימה ויסבירו את הפיזיולוגיה של זרימת האוויר וזרימת הדם באיבר

יבינו את התפקוד הנורמאלי של אזורי הריאה השונים תוך התמקדות בתהליכי האוורור, זרימת הדם הריאתית והתיאום ביניהם.

- יכירו את הבסיס והשיטות לקביעת תפקודי ריאה, יכירו את מעורבות הריאה בקביעת ריכוזי חמצן, דו תחמוצת הפחמן ומאזן חומצה בסיס בדם העורקי.

יכירו את המחלות העיקריות של מערכת הנשימה ואת הבסיס הפיזיולוגי שלהן.

יתארו את הבקרה העצבית והאוטונומית של מערכת הנשימה.

יכירו את יחסי הגומלין של מערכת הנשימה עם המערכת הקרדיו-וסקולרית והכליה ליצירת ההומאוסטזיס של הנוזל החוץ תאי.

דרישות נוכחות (%) :
דרישת נוכחות בהרצאות הפרונטליות כהיקף של 80% לפחות. יש דרישת נוכחות של 100% בתרגילים, מעבדות ובדיסקציות

שיטת ההוראה בקורס: הוראה ע"י הרצאות של מומחים לכל תחום, תרגולים ודיונים בקבוצות קטנות, דיסקציות של גוף אדם (אנטומיה), מעבדות של הסתכלות וניתוח תכשירים (היסטולוגיה).

רשימת נושאים / תכנית הלימודים בקורס:

1. אנטומיה של הריאה ודרכי האוויר: 2 שעות
מעבדה באנטומיה: 3 שעות

2. היסטולוגיה: - 2 שעות
מעבדה בהיסטולוגיה (ממוחשב): 3 שעות

3. דימות: 2 שעות

4. פיזיולוגיה: 23 שעות
מעבדה בפיזיולוגיה: 8 שעות
תרגיל בפיזיולוגיה: 2 שעות

4.1. הגדרה של נשימה
4.2. מכניקה של נשימה: סטטית ודינמית

נפחי ריאה: נפחים שמשותפים בנשימה, נפחים שפועלים במאמץ נשימתי מוגבר, נפח שארי
תכונות פיזיקליות רלוונטיות לנשימה: חוק Boyle, מתח פנים.
מודל של ריאה מבודדת, יחסי גומלין בין נפח ללחץ.
היענות ואילסטיות של הריאה

מכניקה דינמית:
שרירי נשימה
כוחות רתעה של דופן בית החזה ושל הריאה
לחץ תוך-פלאורלי
נפח שארי
ספירומטריה, לולאות זרימה-נפח, פגם חסימתי לעומת פגם מגבלתי (רסטרקטיבי)
תנגודת בנתיבי אוויר ומוליכות, והקשר לנפח הריאה
חסימה דינמית

4.3. הובלת חמצן בדם
צורות ההימצאות של חמצן: באוויר, מומס בדם, וקשור להימוגלובין בכדוריות הדם האדומות
הלחץ הברומטרי, לחץ חלקי של חמצן באוויר הנשאף, לחץ אלביאורלי חלקי של חמצן, ולחץ אדי
המים.

הובלת החמצן בדם בשתי צורות: 1) חמצן מומס בדם 2) חמצן קשור להימוגלובין
מבנה ההימוגלובין
כמות החמצן בדם (קיבולת ההימוגלובין לקשירת חמצן, ריוויין חמצן, תכולת חמצן)
עקומת ההיקשרות של חמצן (דיסוצייה)
מדידה ישירה של קליטת (צריכת) חמצן (בזמן צנטור של לב ימני)
סטיית עקומת הדיסוצייה ימניה ושמאלה, אפקט ע"ש Bohr

הובלת פחמן דו-חמצני (פד"ח) בדם
שלוש צורות הובלת פד"ח: מומס, ביקרבונט, קשור לחלבון (למשל, דרך שייר החנקן בשרשרת
ההימוגלובין)
עקומת ההיקשרות של פד"ח
אפקט Haldane

4.4. מחזור דם ריאתי
כלי דם אלביאולריים ואקסטרא-אלביאולריים
תנגודת בכלי דם ריאתיים, ערכים בגובה סף הים ובגבהים
גורמים שמשפיעים על התנגודת לזרימה בכלי דם: הרחבת כלי דם וגיוס קפילרות
השפעת לחצים בתוך עליית הלב השמאלית על התנגודת בכלי דם ריאתיים (תפקוד לקוי של שריר
הלב, מחלת מסתם מיטרלי)
השפעת שינויי הנפח הריאתי על התנגודת בכלי דם ריאתיים
פיזור זרימת הדם הריאתי, מאזן הכוחות בין הלחץ האלביאולרי, והלחץ העורקי והורידי
היצרות של כלי דם ריאתיים בתגובה להיפוקסיה אלביאולרית
גודש ריאתי ובצקת ריאות:
מאזן נוזלים חוץ-תאי בריאות: מעבר נוזל דרך אנדותל קפילרי, לחץ הידרוסטטי וקולואידי

4.5. הקשר בין איוורור לפרפוזיה (זרימת דם)
התאמה בין איוורור לפרפוזיה
תרשים CO₂-O₂
פיזור של פרפוזיה ואיוורור בתנוחה אנכית של הגוף (עמידה/שיבה)
אי-התאמה בין פרפוזיה לאיוורור
אפשרויות: איוורור לא אחיד או פרפוזיה לא אחידה

הערכת איוורור בלתי אחיד
מדידה של חנקן ננשף, לאחר שאיפת 100% חמצן.
נפח סגירה באימפוזמה ריאתית
שטיפת חנקן ודילול שלו באוויר ננשף, בזמן נשימה של 100% חמצן

הערכת פרפוזיה לא אחידה:
שימוש בסמנים רדיואקטיביים
מיפוי ריאה וזיהוי של תסחיף ריאתי

חוסר התאמה של איוורור ופרפוזיה
דלף (שאנט) פזיולוגי, שווה לדלף אנטומי יחד עם דלף תוך ריאתי
דלף תוך ריאתי: דם שמתנקז מאיזורים עם יחס איוורור פרפוזיה (Q/V) נמוך
משוואת דלף (שאנט) מבוססת על חישוב של כמות חמצן בדם
חישוב דלף מוחלט מבוצע לאחר מתן חמצן 100%

נפח מת: איוורור שמגיע לאלביאולות שאינם מקבלות זרימת דם (פרפוזיה)
נפח מת פזיולוגי בנוי מנפח מת אנטומי יחד עם נפח מת אלביאולרי (איוורור לאלביאולות שאין בהם
פרפוזיה)

הערכת הנפח המת האנטומי (שיטת Fowler)
הערכת הנפח המת הפיזיולוגי שמבוססת על מדידת לחץ חלקי באוויר ננשף (PCO₂ tidal- end)
(משוואת Bohr)

דרכים להערכה של אי-התאמה בין האיוורור לפרפוזיה
הפרש לחץ חלקי של חמצן בין אלביאולות לדם העורקי
משוואת הגז האלביאולרי

מצבים שגורמים להיפוקסמיה:
היפונטליציה
לחץ חלקי של חמצן נמוך באוויר הנשאף
הגבלה בדיפוזיה
יחס איוורור לפרפוזיה נמוך
דלף (איזורים שבהם יחס איוורור לפרפוזיה הינו 0)

4.6. הערכת תפקוד נשימתי
מדידת נפחי ריאה, כולל נפחים שאינם משתתפים באופן פעיל באיוורור
פלטיסמוגרפיה
בסיס פיזיקלי שמשמש במדידות: חוק Boyle, תנגודת ומוליכות, זרימה למינרית ומערבולית.
קביעת נפח הגז שארי בבית החזה volume gas thoracic בשיטה פלטיסמוגרפית
שימוש בדילול גז אינרטי (הליום) בקביעת נפח הגז בבית החזה capacity residual functional
הפרעה מגבלתית לעומת חסימתית בתפקודי ריאה
בקרת איכות המדידה של נפחי ריאה

4.7. דיפוזיה (פעפוע) של חמצן דרך מחיצה אלביאולרית וואסקולרית
חוק Fick
גורמים שמשפיעים על דיפוזיה: שטח, עובי מחיצה, מפל הלחץ, קבוע הדיפוזיה
שימוש בפחמן חד-חמצני לקביעת דיפוזיה
קביעת קצב ההובלה של פחמן חד-חמצני (TLCO, monoxide carbon for factor transfer)
דיפוזיה וקבוע KCO
משמעות קלינית של TLCO ו KCO

4.8. וויסות של נשימה
גורמים שמשתתפים בוויסות של נשימה
תאי עצב, תאי עצב מוטוריים, גירוי של שרירי נשימה
כימורצפטורים: מרכזיים, היקפיים, גזים בדם, pH ושינוי באיוורור
בקרה מרכזית: קליפת המח (קורטקס), מערכת למבית, היפותלמוס.
אפקטורים: הסרעפת, שרירים בין-צלעיים (אנטרקוסטליים), שרירי דופן הבטן
שרירי עזר (כגון sternocleidomastoid)
תיאום בין שרירי הנשימה השונים

חיישנים נוספים (כגון חיישני מתח מיכני ברקמת הריאות)
חיישנים היקפיים: באיזור נתיבי אוויר עליונים, חיישנים מיכניים במפרקים ובשרירי השלד, חיישני לחץ
(ברוריצפטורים), חיישני כאב

השפעת אי-התאמה בין פרפוזיה לאיוורור על לחץ חלקי של פחמן דו חמצני
הקשר בין התגובות ההדדיות ללחצים חלקיים של חמצן ופחמן דו-חמצני
הדחף הנשימתי drive ventilatory: דיכוי התגובה לעליית PCO2 בנוכחות רמות גבוהות של PO2
התגובה ל PCO2 גבוה מופחתת במצב שינה לעומת ערנות
הדחף הנשימתי כתגובה לירידה של PO2 מוגבר יותר בנוכחות PCO2 גבוה

4.9. מאזן חומצה בסיס

הגדרות
חומצה, בסיס, חוזקה של חומצה, מערכות בופר, pH
פירוק של חומצה, משוואת Hasselbalch-Henderson
עקומת Davenport
תרומת תפקיד הכליה בוויסות מאזן חומצה-בסיס

הפרעות במאזן בסיס חומצה
חמצת ובססת נשימתית
חמצת ובססת מטבולית
חמצת עם מרווח אניוני גדול

10.4. מערכת הנשימה במצבי דחק: צלילה וגבהים

צלילה במים עמוקים
תערובות אוויר שמשמשים בצלילה: אוויר רגיל, תערובת אוויר מועשרת בחמצן, תערובת מועשרת בחמצן והליום.

השפעת לחצים ברומטריים גבוהים, הגברת צפיפות האוויר ובכך עבודת הנשימה
הליום עם צפיפות נמוכה, מוריד התנגדות לזרימה ומעלה מוליכות של האוויר

תכונות פיזיקליות של חנקן
שינוי תכונות חנקן וצורה שלו ברקמות בזמן צלילה
מחלת דקומפרסיה ושימוש בתא לחץ
נרקוזיס ו"שיכרון עמקים"

הימצאות בגבהים:
הקשר בין גבהים לחמצן נשאף
התאקלמות חדה לגבהים
בססת (אלקלוזיס) נשימתית ודיכוי דחף נשימתי פוגמים בהתאקלמות
עיכוב פרמקולוגי של אנזים anhydrase carbonic
פוליצטמיה משנית
שינויים בעקומת ההיקשרות (דיסוסיציה) של ההימוגלובין: היפוקסיה וחמצת מטבולית לעומת בססת נשימתית

היפוקסיה כרונית ויל"ד ריאתי
מחלת גבהים (הרים) חדה וכרונית

יעוץ טרום-טיסה באנשים עם מחלה ריאתית כרונית
מבחן הדמית (סימולצית) גבהים

11.4. פיזיולוגיה של מאמץ
11.1.4 תגובה למאמץ, מסלולים מטבוליים (אירובי ואנ-אירובי) בעוצמות שונות של מאמץ, צריכת חמצן, תגובה קרדיו-וסקולרית, תגובה נשימתית.
11.2.4 הגדרת סף אונאירובי בשיטות שונות, פיצוי נשימתי בתגובה לחמצת מטבולית, isocapnic אינרגטית ניצולת, מאמץ של תרמודינמיקה עיקרון, phase
11.3.4. עקרונות מבחן מאמץ לב-ריאה מדורג

11.3.1 תגובה נורמלית למאמץ מדורג לבבי-ריאתי, הערכת כושר גופני.
11.3.2 פתופיזיולוגיה של מאמץ, תגובת מאמץ ב COPD, אי-ספיקת לב, יל"ד ריאתי

12.4. מעבדת נשימה בסיסית:

מודל מכאני של ריאה - לחצי המערכת IPP , Pa , הנשמה חיובית, פניאומוטורקס
חילופי גזים ולחצים חלקיים של גזים בזמן נשימה - משוואת הגזים, נק' אינספירטורית, נק' אלויאולרית,
תצורות הנשמה שונות, עצירת נשימה
ספירומטריה פשוטה - FVC , SVC

13.4. מעבדת נשימה מתקדמת:

מבחן מאמץ - לחצי הגזים, דופק, TV , $period\ isocapnic, threshold\ anaerobic$,
פליטיסמוגרף - מדידת דיפוזיה, התנגדות דרכי האוויר, FRC פיזיולוגי, FRC אנטומי

חומר חובה לקריאה:

Respiratory physiology, J. West.

חומר לקריאה נוספת:

חזה אוויר

טיפול בהיפוקסמיה ע"י השכבה על הבטן
(ניתן ב moodle)

מרכיבי הציון הסופי:

מידע נוסף / הערות: