

מעבדה במכשור

הנדסה ביורפואית

מגשים :

נדב אמיתי

יובל כסיף

סול אמארה

תאריך :

30.03.2022

תוכן עניינים :

1	רקע תאורטי :	3
2	תשובות לשאלות הכנה :	4

1 רקע תאורטי

כפי שראינו במעבדה הקודמת, אות ה-ECG מודד את המתח החשמלי של הלב. כיוון שבעת המדידה מערכות נוספות בגוף פועלות, המדידה של האות יכולה להיות מורעשת על ידי רעשים שונים מהגוף, כלומר נמדוד אותם בנוסף לאות ה-ECG ויש לדעת להבחין ביניהם ולבצע סינון לקבלת האות הרצוי בלבד. דוגמה לרעש כזה הינו אות ה-EMG המודד את תזוזת השרירים הנובעים כתוצאה מנשימה.

RSA הינו מושג המתייחס לשינוי קצב הלב בסנכרון עם קצב הנשימה. מחקרים מראים שהמרווח R-R המתאר את המרווח בין התכווצות החדרים, מתקצר בעת שאיפה (כלומר דופק גדל) ומתארך בעת נשיפה. ישנם מחקרים הטוענים כי תופעה זו תורמת לעילות פעילות הלב וחוסכת אנרגיה כיוון שיותר דם מתחמצן בעת השאיפה כתוצאה מקצב הלב המוגבר [1].

דום חסימה נשימתי (OSA) יכול להגרם עקב הפסקת נשימה (אפניאה) או עקב נשימה רדודה (היפופניאה). תהליכים אלו גורמים להפרעות חריפות בלחץ הדם וגורמות לעלייה של 30 mmHg או יותר בלחץ העורקי. מחקרים חדשים שופכים אור על הקשר בין OSA ליתר לחץ דם עם ממצאים שמראים מחוסר קשר כלשהו עד לקשרים חזקים מאוד. בכדי למדוד את חומרת הדום הנשימתי משתמשים במדד AHI (Apnea-hypopnea Index) אשר מצביע על מספר האירועים הקורים במהלך שעת שינה, כאשר אפניאה מוגדרת כחסימה של לפחות 10 שניות. עד 5 אירועים בשעה זה בטווח הנורמלי, בין 5-14 אירועים אפניאה קלה, 15-29 אפניאה בינונית ומעל 30 מוגדרת כאפניאה חריפה [2].

בנוסף לכך אחד הגורמים העיקריים לדום חסימה נשימתי הינו השמנת יתר ואחת הסיבות לכך שתופעת ה-OSA הופכת יותר ויותר שכיחה היא העובדה שהשמנת יתר הופכת יותר ויותר שכיחה. בכדי לאבחן דום נשימה חסימתי יש ללכת למעבדת שינה בה בין היתר מקליטים את הנשימה [3].

טיפול – הטיפול המוכח ביותר היום הינו טיפול ב-CPAP משאפת אוויר המכניסה אוויר לריאות במהלך השינה וכך נמנע OSA. מכיוון שיש קורלציה בין השמנת יתר לבין OSA אחת ההמלצות הינה להוריד במשקל. טיפולים נוספים הקיימים הינם התקנים אוראלים המונעים את צניחת הלשון ללוע [4].

2 תשובות לשאלות הכנה:

2.1 שאלה 1:

הפרעות שונות שיכולות להופיע באות ה-ECG:

- **רעש רשת:** כאשר מבצעים מדידת ECG, ישנו רעש המגיע מרשת החשמל. כמו כן, המתח המגיע מרשת החשמל הינו מתח סינוסי בתדר 50 הרץ (60 הרץ בארה"ב), כתוצאה מרעש זה, על גבי הסיגנל רוכב סינוס (בקירוב) בתדר 60\50 הרץ, המפריע לדיאגנוזה תקינה של האות הנמדד. ישנן מספר דרכים להתמודד עם רעש זה. ראשית, עקב העובדה שתדר הרעש ידוע ובקירוב מונוכרומטי, ניתן להעביר את הסיגנל במסנן חוסם תדר (notch) ובכך להיפטר מרעש זה. כמו כן אות ה-ECG כמעט ולא מכיל מידע רלוונטי בתדר 60\50 הרץ ולכן לא נפגע באופן משמעותי בסיגנל. בנוסף ניתן להשתמש בשיטת הליניאר קומביינר לשיערוך הרעש והחסרתו מן האות, במקרה זה לא נפגע ברכיב התדר של 60\50 הרץ בסיגנל ה-ECG. שיטה נוספת להתמודדות עם תופעה זו היא שימוש במגברי מכשור, נחפש מגבר מכשור בעל CMRR גבוה, כלומר מגבר מכשור שמסנן רעש משותף לשתי אלקטרודות כך שהיחס אות לרעש שלו גבוה.
- **תזוזת אלקטרודות:** כאשר מודדים את סיגנל ה-ECG והנבדק זז מעט, שטח הפנים בין האלקטרודה לעור משתנה, וכתוצאה מכך משתנה ההתנגדות. רעש זה מזכיר רעש של קו בסיס נודד עליו נפרט בהמשך, אך בניגוד אליהם, תזוזת האלקטרודות מהווה רעש בעייתי יותר מכיוון שתדריו חופפים לתדרי קומפלקסי ה-PQRST ולא ניתן לבצע HPF פשוט ולהיפטר מהרעש. [5]
- **שרירי שלד (EMG):** מקור רעש נוסף הינו הרעש הנובע משרירי השלד, רעש זה נמצא גם במדידות ECG סטנדרטיות, ובאופן ניכר יותר במדידות ECG בזמן מאמץ. רעש זה הינו רעש החופף מבחינה תדרית לספקטרום ה-QRS, אך נמצא גם בתדרים גבוהים יותר. ניתן להתמודד עם רעש זה באמצעות ensemble averaging. [5]
- **קו בסיס נודד:** קו בסיס נודד הינו רעש בתדר נמוך, הרעש נגרם לרוב כתוצאה של נשימות של הנבדק. לרוב, אין חפיפה בין תדר קו הבסיס לתדרי ה-ECG, ולכן בעזרת HPF ניתן לסנן

רעש זה. כמו כן, הורדת קו הבסיס חשובה על מנת שנוכל למזער את השינויים במורפולוגיית הפעימות שלא מגיעות מהלב עצמו. בפרט הדבר חשוב מאוד כאשר מעוניינים לבחון שינויים בגלים עם התדרים הנמוכים או למשל בסגמנט ה-ST. [5]

2.2 שאלה 2:

RSA הינו מושג המתייחס לשינוי קצב הלב בסנכרון עם קצב הנשימה. באות הECG זה מתבטא בכך שהמרווח R-R מתקצר בעת שאיפה ומתארך בעת נשיפה. ישנם מחקרים הטוענים כי תופעה זו תורמת לעילות פעילות הלב וחוסכת אנרגיה כיוון שיותר דם מתחמצן בעת שאיפה כתוצאה מקצב הלב המוגבר.

2.3 שאלה 3:

אפניאה – אפניאה מוגדרת להיות הפסקת נשימה דרך האף והפה ל-10 שניות או יותר. **היפופניאה –** מוגדרת כירידה של 50% או יותר בזרימת האוויר ל-10 שניות או יותר, או כל ירידה בזרימת האוויר למשך 10 שניות או יותר, המתקשרת לירידה של לפחות 3% בריוויזון החמצן בדם. כלומר ההבדל בין היפופניאה לאפניאה הוא שהראשון מתייחס לחסימה חלקית כלומר יש מעבר אוויר והאחרון מתייחס לחסימה מלאה.

2.4 שאלה 4:

OSA – דום נשימה חסימתי, מתייחס לחסימה חלקית או מלאה של דרכי הנשימה במהלך השינה. חסימה זו יכולה לקרות כתוצאה מגורמים רבים הכוללים מבנה אנטומי, גנטיקה ומאפיינים סביבתיים והיא נגרמת על ידי חסימה ממבנה הלסת, צניחת הלשון או שקדים מוגדלים. דוגמאות לגורמי סיכון-

- השמנת יתר יכולה לגרום לדום נשימה חסימתי או החמרתו כתוצאה למשל משינוי המבנה של דרכי הנשימה העליונות או החמרת החסימה כתוצאה מפגיעה ביכולות התפקודיות (יותר חמצן נצרך).
- עישון הינו גורם סיכון לדום נשימה חסימתי (למרות שאין הרבה מחקרים בנושא) כתוצאה מאי יציבות השינה הנגרמת מעישון או דלקות בדרכי הנשימה.

דוגמאות לתופעות הנגרמות כתוצאה מOSA הינן-

- ישנוניות: כתוצאה מהחסימה ישנה הפרעה בשינה המובילה לישנוניות במהלך היום גם לאחר מספר שעות שינה תקין.
- יתר לחץ דם: דום חסימה נשימתי יכול לגרום לעלייה של 30 mmHg או יותר בלחץ העורקי כאשר תופעה זו יכולה להיות מסוכנת ולגרום לסיבוכים שונים. [3]

2.5 שאלה 5:

לדעתנו, בעקבות העובדה שהייתה חסימה נשימתית, לא מגיע מספיק חמצן לרקמות, ולכן הלב ירצה להזרים יותר דם לרקמות אלו, כלומר הדופק יעלה כדי שיזרום יותר דם עקב החוסר בחמצן שיש ברקמות. כלומר, אנו מצפים שהשינוי באות ה-ECG יהיה שמרווחי ה-RR יעשו צפופים יותר.

2.6 שאלה 6:

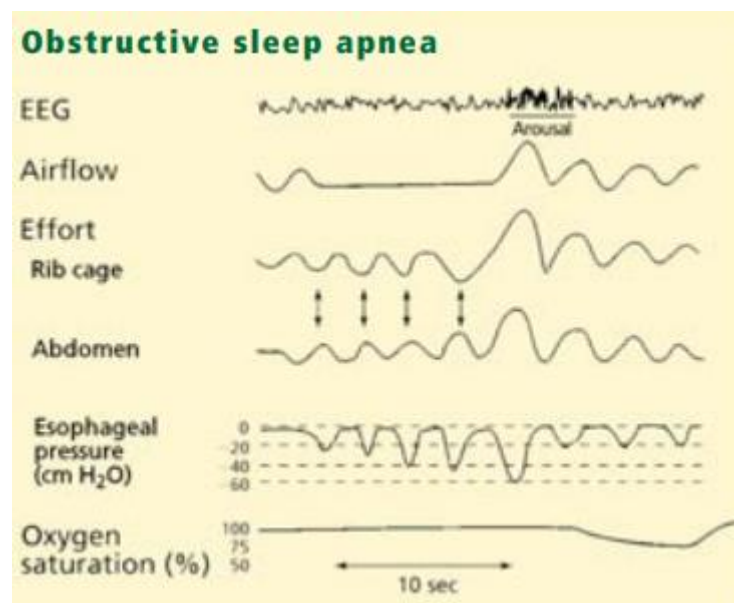
דוגמאות לשיטות למדידת אות הנשימה:

- Thermistors and thermocouples: חיישנים שמאפייניהם הפיזיקליים (למשל התנגדות) תלויים בטמפרטורה. כאשר מניחים אותם בקרבת הפה או האף הם משנים את ההתנגדות שלהם בהתאם לטמפרטורת האוויר שיוצאת מדרכי הנשימה ולכן בעזרת מדידת שינויים אלה ניתן לאפיין את הנשימה (טמפרטורת האוויר שיוצא בזמן נשיפה זהה לטמפרטורת הגוף ולכן שווה ל 37°C שזה שינוי משמעותי מטמפרטורת הסביבה). החיסרון העיקרי הוא שהזמן תגובה שלהם איטי וכתוצאה מכך הם פחות רגישים לשינויים מהירים. בנוסף, הקשר בין האות החשמלי לזרימת האוויר אינו ליניארי ותלוי במידה רבה במיקום המדויק בפתח דרכי הנשימה.
- Nasal prongs: מבוסס על מדידת הלחץ בנחיריים, שיטה פולשנית עם החדרת צינוריות לנחיריים. כיוון שזרימת האוויר בנחיריים הינה זרימה טורבולנטית (עם מערבולות) יש שינוי בלחץ כתוצאה משינויים בזרימה והקשר בין הלחץ לנשימה הינו ריבועי. החיסרון העיקרי של שיטה זו הינו שהקשר בין הלחץ בנחיריים וזרימת האוויר אינו ליניארי וזה עלול להוביל להערכת יתר. בנוסף ישנה חשיבות למיקום החיישנים וזה עלול להוביל להטיית המדידה. כמו כן, אין מדידה של נשימות המתבצעות דרך הפה. עם זאת, יתרון בולט של השיטה הינו תגובה מהירה לשינויים.
- Inductive plethysmography: הערכת השינויים ההיקפיים של בית החזה בעת נשימה. השיטה מבוססת על שימוש בשתי רצועות, אחת ממוקמת סביב בית החזה והשנייה

ממוקמת סביב הבטן. כל פס כולל סליל שתכונותיו האלקטרומגנטיות תלויות בהיקף האזור התחום על ידי הרצועה. יש לכייל את המדידה על ידי מכשיר בעל נפח ייחוס וכיול לא נכון יכול להוביל לשגיאות או חוסר דיוק במדידה. חסרון נוסף הינו תזוזת המטופל בעת השינה העלולה לגרום לתזוזות פסי המדידה ולכן למדידה שגויה. [6]

2.7 שאלה 7:

חגורת respiratory effort sensor מודדת את היקף בית החזה ומסיקה מכך על הנשימה. דוגמא לחגורה כזו הינה Inductive plethysmography המורכבת משתי רצועות, אחת ממוקמת סביב בית החזה ושנייה ממוקמת סביב הבטן, כל פס כולל סליל שתכונותיו האלקטרומגנטיות תלויות בגודל האזור התחום על ידי הרצועה. דום חסימה קשור לדרכי האוויר העליונות אך איזור הבטן עדיין מתרחב ומתכווץ. כתוצאה מכך, ניתן לראות כי ישנו שינוי בתזוזת הרצועה שנמצאת על הבטן לעומת ברצועה שנמצאת בבית החזה ולכן ניתן יהיה להסיק כי מצב זה הינו דום נשימה חסימתי כפי שמתואר באיור הבא: [4]



איור 1: תיאור דום נשימה חסימתי [4]

2.8 שאלה 8:

ראשית, 15 פעימות בדקה הינם $0.25 \text{ [Hz]} = \frac{15}{60}$. לכן נרצה לעמוד בתנאי נייקויסט ולדגום לפחות בתדר של 0.5 [Hz] . כאשר נבצע את הדגימה בקצב הדגימה הזה נוכל להבטיח כי רכיב התדר של 15 פעימות בדקה יהיה שייך לספקטרום. מאחר ורכיב התדר של 14 פעימות בדקה הינו קטן יותר

($\frac{14}{60} = 0.23[Hz]$), יופיע גם הוא (במידה וזה יהיה קצב הנשימות). לכן נוכל להבדיל בין שני המקרים. לדעתנו על מנת לוודא דיוק בין 14 ל-15 נצטרך למדוד למשך דקה שלמה כיוון שאחרת נקבל שגיאה בשערוך.

2.9 שאלה 9:

BPF אידיאלי הינה פונקציית חלון בין שני תדרים, אין סיבה שלא יהיה ניתן לממש BPF אידיאלי במציאות במידה ואנחנו מעבדים אות בoffline, הרי BPF אידיאלי יהיה פשוט לקטום את האות לאחר התמרת פורייה (FFT/DFT), אך אם הכוונה לשימוש בrealtime BPF הרי שהניקוי חייב להתחיל מזמן מסוים והתמרה הפוכה למלבן הינה סינק והוא אינו סיבתי, לכן אין זמן התחלה לאות וזה לא ניתן למימוש.

- [1] F. Yasuma and J. Hayano, "Respiratory Sinus Arrhythmia," *Chest*, vol. 125, no. 2, pp. 683–690, Feb. 2004, doi: 10.1378/chest.125.2.683.
- [2] R. B. George, *Chest Medicine: Essentials of Pulmonary and Critical Care Medicine*. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- [3] T. Young, P. E. Peppard, and D. J. Gottlieb, "Epidemiology of Obstructive Sleep Apnea: A Population Health Perspective," *Am J Respir Crit Care Med*, vol. 165, no. 9, pp. 1217–1239, May 2002, doi: 10.1164/rccm.2109080.
- [4] S. Krieger and S. M. Caples, "Obstructive sleep apnea and cardiovascular disease: implications for clinical practice.," *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, vol. 74, no. 12, pp. 853–856, Dec. 2007, doi: 10.3949/ccjm.74.12.853.
- [5] L. Sörnmo and P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*. Academic Press, 2005.
- [6] R. Farre, "Noninvasive monitoring of respiratory mechanics during sleep," *European Respiratory Journal*, vol. 24, no. 6, pp. 1052–1060, Dec. 2004, doi: 10.1183/09031936.04.00072304.
- [7] M. Piepoli *et al.*, "Origin of Respiratory Sinus Arrhythmia in Conscious Humans: An Important Role for Arterial Carotid Baroreceptors," *Circulation*, vol. 95, no. 7, pp. 1813–1821, Apr. 1997, doi: 10.1161/01.CIR.95.7.1813.