

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 :	5
2.1	שאלה 1 :	5
2.2	שאלה 2 :	8
2.3	שאלה 3 :	8
2.4	שאלה 4 :	8
2.5	שאלה 5 :	9
2.6	שאלה 6 :	10
2.7	שאלה 7 :	11
3	מקורות :	12
4	נספחים :	13

1 רקע תאורטי:

לחץ דם הינו הלחץ שמפעיל הדם על דפנות העורקים והוורידים. מדדי לחץ הדם יכולים להצביע על פתולוגיות שונות וערכים קיצוניים יכולים להיות מסוכנים. הוא נמדד בעזרת שני ערכים: לחץ סיסטולי ולחץ דיאסטולי. בעת התכווצות והרפיית הלב, הלחץ שמפעיל הדם על דפנות כלי הדם משתנה בהתאם. הלחץ הסיסטולי נמדד בעת כיווץ שריר הלב ולכן הוא הערך הגבוהה יותר. הלחץ הדיאסטולי נמדד בעת הרפיית שריר הלב ולכן הוא הערך הנמוך יותר. ערכי לחץ דם תקינים הם כ $120/80$ [mmHg].

ערך נוסף המייצג את לחץ הדם הינו הממוצע המשוקלל של הלחץ הסיסטולי והדיאסטולי והוא מחושב על פי הנוסחה:

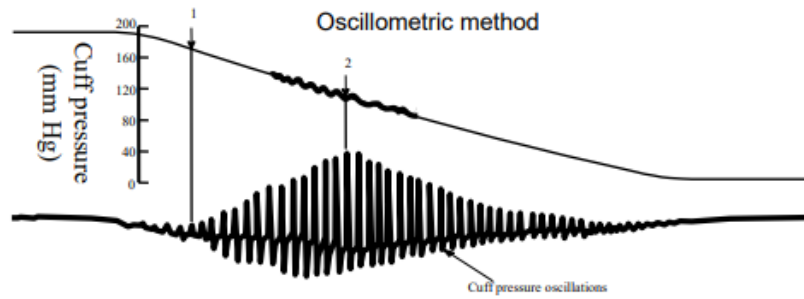
$$(1) \text{MAP} = \frac{P_{\text{systole}} + 2P_{\text{diastole}}}{3}$$

מדידת לחץ הדם לרוב מתבצעת בעורק הגפה (עורק ברכיאל) והיא ניתנת לביצוע בצורה פולשנית בעזרת הכנסת אלקטרודות למדידת הלחץ או בצורה עקיפה.

בכדי למדוד מהם ערכי לחץ הדם באופן ידני ולא פולשני, נעזרים בהאזנה לקולות קורטוקוף, המופיעים בעת בדיקת לחץ הדם. תחילה, מנפחים את השרוול הנמצא על העורק הברונכיאל כי כך שהלחץ יהיה גדול מהלחץ הסיסטולי – במצב זה לא נשמעים קולות קורטוקוף כלל. לאחר מכן משחררים את הלחץ בהדרגתיות, וכאשר מתחילים לשמוע בסטטוסקופ קול, זהו הלחץ הסיסטולי. ממשיכים להוריד את הלחץ עד שמפסיקים לשמוע, וזהו הלחץ הדיאסטולי.

שיטה נוספת למדידת לחץ הדם היא באמצעות מערכת אלקטרונית המבוססת על אוסילציות של לחץ על גבי דופן העורק. בדומה לשיטה הידנית, מנפחים את השרוול כך שהלחץ גדול מהלחץ הסיסטולי, ומשחררים את הלחץ באופן הדרגתי, כאשר הנגזרת של הלחץ מקסימלית, נגדיר את לחץ זה כלחץ הסיסטולי, וכאשר האוסילציות מגיעות לנקודת מקסימום נגדיר לחץ זה כלחץ MAP.

מתוך לחץ ה-MAP נוכל לחלץ את הלחץ הדיאסטולי באמצעות נוסחה 1. [1]



איור 1 : מדידת לחץ הדם בשיטת האוסילציות [2]

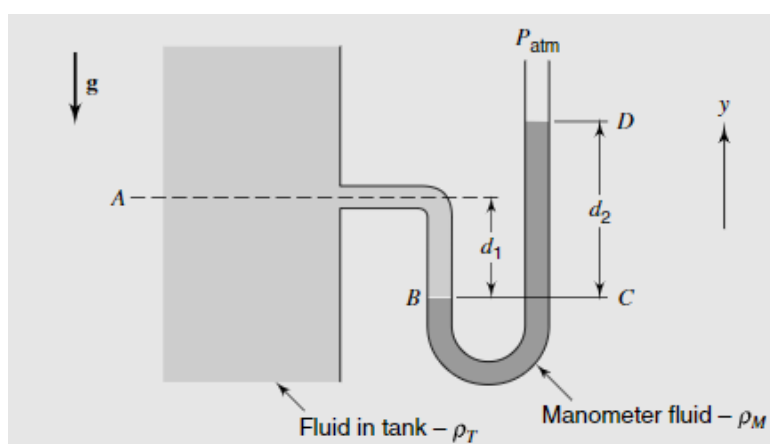
באיור 1 ניתן לראות את אוסילציות הלחץ הנמדדות. כמו כן, נק' 1 היא הנקודה בה שינוי הלחץ הינו הגדול ביותר, לכן נקודה זו הינה הלחץ הסיסטולי. בנוסף ניתן לראות כי נק' 2 הינה הנקודה בעלת האמפליטודה המקסימלית, ולכן נשייכה ללחץ ה-MAP.

2 תשובות לשאלות הכנה:

2.1 שאלה 1:

מונומטר:

מונומטר הינו מכשיר למדידת לחץ בצורת u המודד את גובה הנוזל ובאמצעותו מחשב את הלחץ על פי הנוסחה: $\Delta P = \rho gh$ כאשר ρ צפיפות הנוזל, g תאוצת הכובד, h גובה הנוזל. המונומטר מכיל בדרך כלל נוזל מדידה (כספית) צבעוני. על מנת שנוכל להבחין בשינוי הגובה כתוצאה משינוי הלחץ יש להשתמש בשני נוזלים בעלי צפיפות שונה, שאינם מסיסים אחד בשני ובעלי צבע שונה.



איור 2- מונומטר בצורת U [3]

בהתאם לציור זה ניתן לחשב:

$$P_{atm} - P_C = -\rho_m g d_2$$

$$P_A - P_B = -\rho_T g d_1$$

כיוון שנקודות C ו- B בגובה זהה הלחץ בהם שווה ולכן מחיסור בין המשוואות נקבל:

$$P_A = P_{atm} + \rho_m g d_2 - \rho_T g d_1$$

ולכן אם נדע את צפיפות הנוזלים ונמדוד את הגבהים נוכל לחשב את הלחץ בנקודה A. [3]

ספיגמומונומטר:

א. מכשיר הספיגמומונומטר נועד למדידת לחץ דם. המכשיר קיים בגרסה דיגיטלית וגרסה אנלוגית. ספיגמומונומטר כספית מורכב משרוול אשר מפעיל לחץ על העורק הברונכיאלי עד לעצירת זרימת הדם ומנומטר. הלחץ בשרוול נמדד באמצעות מד הכספית, והוא מייצג את הלחץ הסיסטולי. כמו כן בעזרת ספיגמומונומטר כספית לא ניתן למדוד את הלחץ הדיאסטולי ללא שימוש בסטטוסקופ, אך כאשר משתמשים בסטטוסקופ ניתן להקשיב לצלילי קורטוקוף, כפי שצינו ברקע התאורטי, כאשר פוסקים צלילי קורטוקוף, אנו יודעים כי הגענו ללחץ הדיאסטולי. כמובן שבעזרת כלים של עיבוד אותות ואלגוריתמים היום יש ספיגמומונומטרים אשר משתמשים במיקרופון על מנת לזהות את צלילי קורטוקוף ובכך להציג על המסך מהו לחץ הדם של המטופל. [1]

ב. ישנם מספר גורמים שעשויים להשפיע על מדידת לחץ הדם. ראשית, לחץ הדם יעלה כאשר אדם משנה את מצבו משכיבה לעמידה. גם לפוזיציה עצמה יכולה להיות חשיבות במדידת לחץ הדם (ללא שינוי בפוזיציה רק בהימצאותה) אך שינוי זה הינו יחסית קטן, ובכל זאת ישנה מוסכמה לבצע מדידת לחץ דם כאשר המטופל נמצא בישיבה. בנוסף, במידה ואין תמיכה ליד של המטופל, עליה נעשית הבדיקה, הדבר מוביל להפעלה של השריר באופן אקטיבי (הפעלת כוח איזומטרי) ולכן תוביל לעליה בקצב הלב ולחץ הדם וזה עשוי להעלות את הלחץ הדיאסטולי בכ-10%. בנוסף לתמיכה של היד, יש חשיבות למיקומה ביחס ללב, במידה והיד ממוקמת מעלומתחת ללב הדבר יוביל להערכה מוטעית של עד כ-פלוסמינוס 10 מ"מ כספית (בהתאמה). בנוסף לאופן ביצוע הבדיקה ישנם מאפיינים פיזיולוגיים שעשויים להשפיע על תוצאות הבדיקה, לדוג' גיל, השמנת יתר, הריון, מצב נפשי וכו'. [4]

ג. כאשר מדובר בספיגמומונומטר כספית, המכשיר נחשב לגולד סטנדרט עקב דיוקו, המכשיר עובד באופן מכני ולכן אין צורך בתכנון סינון תדרים וכדומה. כמו כן, כאשר משתמשים בספיגמומונומטר ההיברידי (דיגיטלי) ישנן פעולות הנדסיות שנדרש לבצע, עליהן נפרט בסעיף ג' של "מד לחץ דם המתבסס על תנודות וצלילי קורטוקוף".

ד. לא. כאשר אנו משתמשים בספיגמומונומטר כספית, אנו בודקים מה הלחץ במד הכספית כאשר הדם נעצר, כלומר כאשר יש שוויון בכוחות (לחץ כפול שטח פנים). למדוד לפני יהיה חסר משמעות בהקשר של לחץ סיסטולי ודיאסטולי.

ה. הנושא הנ"ל הינו שנוי במחלוקת בעולם המדעי, ישנם מחקרים לשני הכיוונים. המוסכמה כיום הינה לבצע מדידות בשתי הידיים, ובמידה ויש הבדל של 20 מ"מ כספית בסיסטולה או 10 מ"מ כספית בדיאסטולה, המטופל ישלח להערכת מומחה.

מד לחץ דם המתבסס על תנודות וצלילי קורטוקוף:

א. מכשיר לחץ דם הפועל על **צלילי קורטוקוף** מתבסס על שרוול המלופף סביב זרוע של הנבדק, השרוול מתהדק עד לחסימת זרימת הדם כך שבכל רגע המכשיר יודע מה הלחץ שהוא מפעיל על הזרוע. השרוול מוריד מהלחץ אותו הוא מפעיל על הזרוע עד לרגע בו מתחדשת הזרימה וניתן לשמוע את צלילי קורטוקוף, הלחץ ברגע זה הוא הלחץ הסיסטולי, שכן הוא הגבוה יותר. וברגע שהצליל מפסיק (עקב לחץ נמוך מידי המאפשר זרימה מלאה של הדם), זהו צליל קורטוקוף השני, נמדד הלחץ הדיאסטולי, שכן הוא הלחץ הנמוך. בשרוול זה ישנו מיקרופון המודד את צלילי קורטוקוף וממיר אותם לסיגנל חשמלי[5]. מכשיר לחץ דם הפועל על **תנודות** מתבסס גם הוא על שרוול מתהדק על הזרוע, במקרה זה בשחרור הלחץ בשרוול נמדד ומתקבל גל פולסי, אותו גל פולסי מתאפיין בתנודות בתדירות פעימות הלב. הנקודה בה שינוי הלחץ הינו הגדול ביותר זו הנקודה בה נמדד הלחץ הסיסטולי והנקודה בעלת האמפליטודה המקסימלית זו הנקודה בה נמדד ה-MAP ואת הלחץ הדיאסטולי ניתן לחשב ממנו באמצעות נוסחה 1.6]

ב. תנוחת הבדיקה אינה משנה, אך יש מוסכמה לבצע את הבדיקה בישיבה. בדומה גם חשיבות היד אינה מוכחת אך נהוג לבדוק בשתי הידיים ובמידה ויש הבדל של 20 מילימטר כספית בסיסטולה או 10 בדיאסטולה שולחים למומחה. לעומת זאת גיל לוקח חשיבות רבה כאשר מודדים לחץ דם, לדוגמא כאשר מודדים אצל ילדים, יש שונות רבה בין הבדיקות ולכן בדיקה יחידנית אינה מסיקה דבר על המטופל דבר זה נכון גם אצל מבוגרים. השמנת יתר גם היא דבר שצריך לקחת בחשבון, היא גורמת למדדי לחץ הדם להיות לא מדויקים במידה והדבר לא נלקח בחשבון[4].

ג. קורטוקוף - המכשיר מורכב משרוול מתנפח עם מיקרופון, המיקרופון מודד את צלילי קורטוקוף את הרעשים מהסביבה וממיר אותם לסיגנל חשמלי. הסיגנל החשמלי עובר דרך מגבר ולאחר מכן דרך BPF, תדר ה-HP הוא 40 הרץ ותדר ה-LP הינו 90 הרץ. לבסוף יש הגברה נוספת של הסיגנל להגעה לאמפליטודה הרצויה[5].

תנודות – המערכת דיי דומה, אך כאן יש שימוש בחיישן ולא במיקרופון. חיישן זה מייצא אות חשמלי, האות החשמלי מוגבר ומומר באות דיגיטלי. האות הדיגיטלי מועבר בBPF ולאחר מכן ברכיב שמטרתו למצוא את רכיבי הלחץ מהאות. ומשם להגברה נוספת להגעה לאמפליטודה הרצויה[6].

ד. בשני המכשירים מודדים רק בעת שחרור הלחץ ולא בזמן הניפוח.

ה. התייחסתי לכך בסעיף ב.

2.2 שאלה 2:

מכשירים הרגישים לרעש אקוסטי הינם מכשירים שאופן פעולתם מבוסס על שמע. אופן פעולתם של מכשירי לחץ דם הפועלים על צלילי קורטוקוף וספיגמונומטר היברידי, מבוססים על שמיעת צליל ולכן רעש אקוסטי עלול לפגוע באבחנה של הצליל הראשון ובכך באבחנה של לחץ הדם.

2.3 שאלה 3:

חיישן פיאזו יכול להמיר את הפלט הנמדד לפלט חשמלי כאשר הפלט הנמדד יכול להיות גלי קול או תנודות. כמו כן, הוא חיישן בעל רגישות נמוכה כלומר מושפע משינויים קטנים ולכן אם נמקם אותו מתחת לשרוול הוא יקליט גם את תנודות האוויר בשרוול וגם את צלילי קורטוקוף. [7]

2.4 שאלה 4:

גודל השרוול:

אף על פי שמכשיר למדידת לחץ דם הינו מכשיר מתוחכם, יש להשתמש בו באופן שמותאם למטופל. כמו כן, לחץ הדם הנמדד תלוי בלחץ שמופעל על השרוול, כלומר, כאשר השרוול הינו קטן מדי, עוד לפני תחילת המדידה יהיה לחץ התחלתי מעצם ההלבשה על ידו של המטופל. הדבר יבוטא באופן הבא:

- שרוול קטן מדי -> הערכת יתר של לחץ הדם

- שרוול גדול מדי -> הערכת חוסר של לחץ הדם [1].

כמובן שההשפעה הינה על לחץ הדם הנמדד בלבד ולא על לחץ הדם האמיתי.

גובה המדידה:

כפי שציינו בשאלה 1, יש השפעה על גובה המדידה על לחץ הדם הנמדד, ההשפעה העיקרית היא האם היד מונחת מעל הלב או מתחתיו.

- כאשר היד מונחת מעל הלב - < נקבל הערכת יתר של לחץ הדם (עד כ-10 מ"מ כספית)
 - כאשר היד מונחת מתחת ללב - < נקבל הערכת חוסר של לחץ הדם (עד כ-10 מ"מ כספית). [1]
- כמובן שההשפעה הינה על לחץ הדם הנמדד בלבד ולא על לחץ הדם האמיתי.

מהירות זרימה:

מהירות זרימת הדם הינה בקורלציה טובה ללחץ הדם – כלומר, כאשר הדם זורם מהר יותר כך גם לחץ הדם יהיה גבוה יותר. כמובן שהשפעה זו הינה השפעה אמיתית על לחץ הדם, ולא רק על לחץ הדם הנמדד. [8]

מאמץ פיזי:

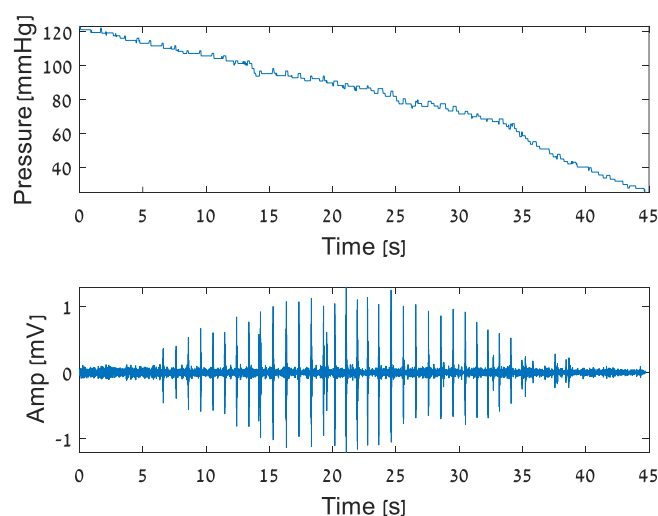
כאשר אנו מבצעים פעילות גופנית, אנו צורכים יותר חמצן, עקב כך יש צורך ביותר דם שיגיע אל התאים ותתבצע נשימה תאית. כלומר, קצב פעימות הלב עולה, ולחץ הדם עולה. כלומר הערך האמיתי יעלה ונצפה שגם הערך הנמדד.

2.5 שאלה 5:

$$SBP = 70 + 0.3 \cdot height [cm]$$

$$DBP = 35 + 0.25 \cdot height [cm]$$

בעזרת נוסחאות אלה ניתן לחשב עבור מתבגרים את הלחץ הסיסטולי והדיאסטולי שאמור להיות להם במצב תקין וכך להשוות ולאבחן אם לחץ הדם שלהם בטווח תקין בהתאם לגובה שלהם. [9]



איור 3- באיור העליון הלחץ הנמדד בשרוול במילימטר כספית כנגד הזמן, באיור התחתון צילי קורטוקוף כנגד הזמן

איור 3 מתאר את הנתונים הנתנו לנו מראש, העליון את המתח הנמדד בשרוול כנגד הזמן והתחתון את צילי קורטוקוף כנגד הזמן. כאשר בצילי קורטוקוף ניתן לראות בבירור את הרגע בו הצליל מתחיל ונגמר, מכך שיש לנו את הנתונים אנו יכולים בקלות לקבל את הלחץ הסיסטולי והדיאסטולי מהשנייה בה הצלילים מתחילים ונגמרים.

ב. נרצה להחליט על סף אשר משם נחשיב את הצליל לאירוע, כדי לעשות זאת נמיין את אות הצלילים מקטן לגדול. כך נוכל לבחור סף ע"י בחירה של אחוז מסוים מהווקטור (במקרה זה נראה שנבחר אחוז מאוד גדול מכיוון שכמות הצלילים קטנה ממש מגודל הווקטור) והערך באינדקס זה יהיה ערך הסף. לאחר מכן נייצר וקטור לוגי של הערכים הגדולים מערך סף זה, נמצא את האינדקס הראשון והאחרון בו מופיע אחד, ואותם אינדקסים יהוו את הלחץ הסיסטולי והדיאסטולי בווקטור הלחץ.

ג. לאחר מימוש האלגוריתם קיבלנו לחץ סיסטולי של 111.85 mmHg ולחץ דיאסטולי של 65.5 mmHg (את הקוד ניתן לרואות בנספח תחת פונקציה `sis_dis`).

2.7 שאלה 7:

באמצעות אות ה-ECG ניתן לזהות ולאפיין את הדופק של המטופל. קומפלקס QRS נובע מדה-פולריזציה של החדרים, כלומר קבלת פוטנציאל פעולה (גירוי) שגורם לכיווץ של החדרים. גל T נובע מרה-פולריזציה של החדרים, חזרה למצב מנוחה. מכאן ניתן להסיק שהכיווץ המקסימלי הינו בקומפלקס QRS וההרפייה היא בגל ה-T. צילי קורטוקוף הינם גם צילים הנובעים מדופק המטופל, הלחץ הסיסטולי נמדד בעת כיווץ שריר הלב והלחץ הדיאסטולי נמדד בעת הרפיית שריר הלב. מכאן ניתן להסיק שבאמצעות ה-ECG ניתן לזהות את האיזורים הרלוונטים (קומפלקס QRS ללחץ סיסטולי וגל T ללחץ דיאסטולי) ולהשוות (מבחינה זמנית) עם צילי קורטוקוף וכך למנוע זיהוי שווא. לעומת זאת, בפתולוגיות מסוימות בהן אות ה-ECG איננו בעל כל מאפייני האות (למשל פרפור חדרים בו אין את הגלים הנ"ל) זה עלול לפגוע במדידת לחץ הדם.

- [1] W. J. Elliott, "Recommendations for Blood Pressure Measurement in Humans and Experimental Animals: Part 1. Blood Pressure Measurement in Humans. A Statement for Professionals From the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research," *Yearbook of Cardiology*, vol. 2006, pp. 3–4, Jan. 2006, doi: 10.1016/S0145-4145(07)70004-7.
- [2] "דוח מכין.pdf."
- [3] J. R. Welty, *Fundamentals of momentum, heat and mass transfer*, 6th edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.
- [4] G. Beevers, "ABC of hypertension: Blood pressure measurement," *BMJ*, vol. 322, no. 7292, pp. 981–985, Apr. 2001, doi: 10.1136/bmj.322.7292.981.
- [5] "4180061 פטנט למדידת לחץ דם בשיטת קוטקוהף.pdf."
- [6] "4735213 פטנט למדידת לחץ דם בשיטת אוסילומטרית.pdf."
- [7] A. A. Vives, Ed., *Piezoelectric Transducers and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. doi: 10.1007/978-3-540-77508-9.
- [8] W. B. White, Ed., *Blood Pressure Monitoring in Cardiovascular Medicine and Therapeutics*. Cham: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-22771-9.
- [9] "J of Clinical Hypertension - 2020 - Skapino - Height-based equations as screening tools for elevated blood pressure in the.pdf."

```
set(0,'defaultAxesFontSize',14);
load BloodPressure
figure(1);
subplot(211)
plot(Time,CuffPressure);
xlabel 'Time [s]';ylabel 'Pressure [mmHg]';
subplot(212);
plot(Time,KorotkoffSounds);
xlabel 'Time [s]';ylabel 'Amp [mV]';
[sis,dis] = sis_dis(KorotkoffSounds,CuffPressure);
```

```
function [sistole,diastole] = sis_dis(Korto,Press)
%this fuction sorting the kortokoff sound
%and take 0.5% of the value to be the threshold
%to find the sistole and diastole pressure
%the Fuction gets the Kortkoff sound and
%the pressure from the cuff
%and giving back the sistole and diastole pressure
%the number 0.5% is emipric number.
sorted = sort(Korto);
thresh = sorted(round(0.995*numel(sorted)));
logi = abs(Korto)>=thresh;
ind = find(logi == 1);
sistole = Press(ind(1));
diastole = Press(ind(end));
end
```