

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



— שחר ניס —

פרק 3.2

מערכת הלב וכלי

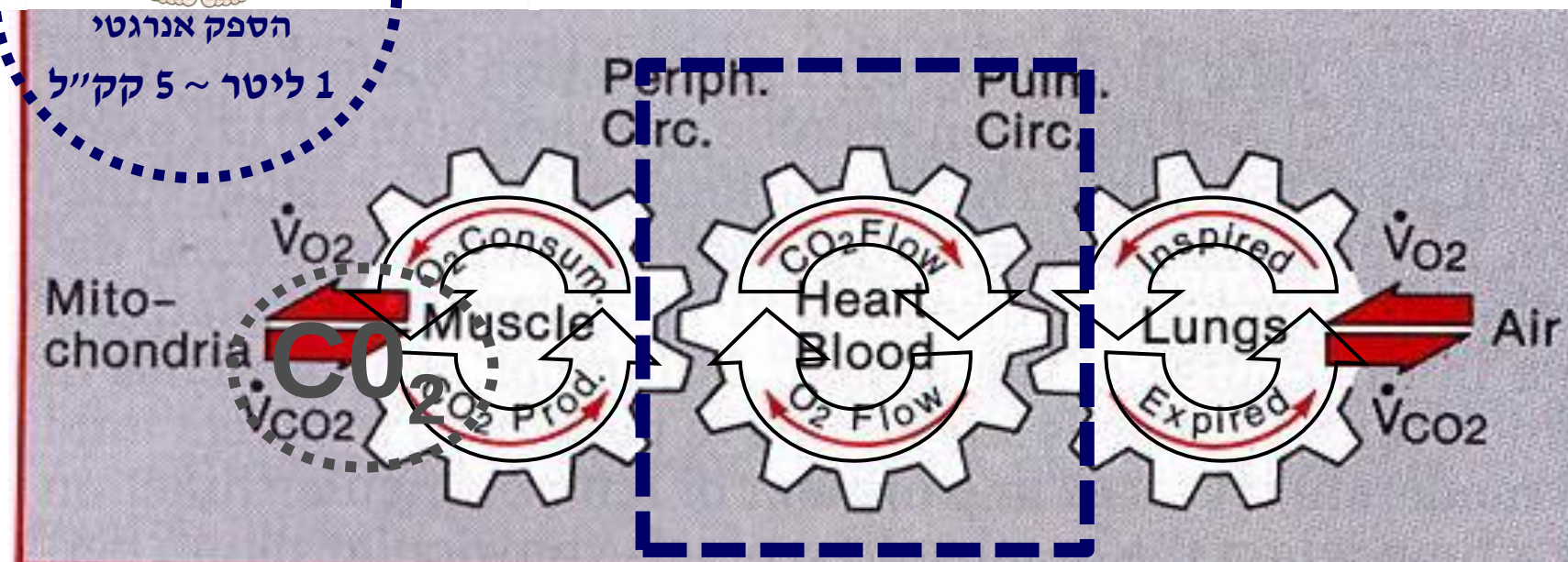
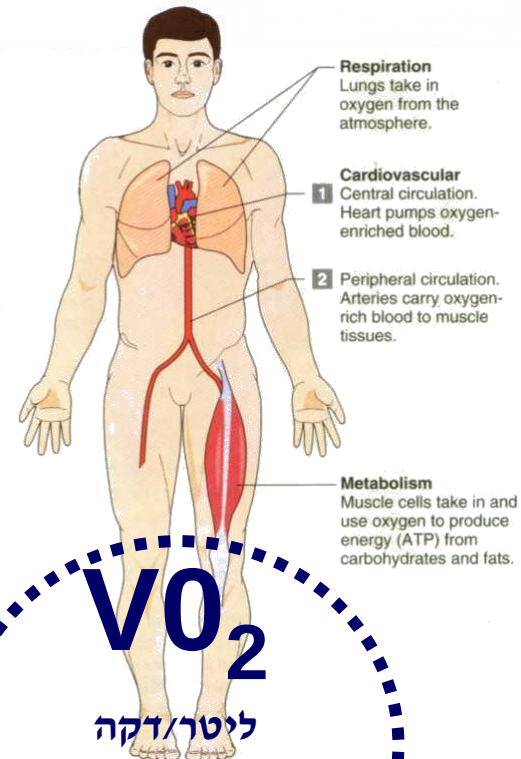
הדם

שילוב המערכות לצורך

אספקת אנרגיה

במסלול האירובי

שרשרת פיזיולוגית



תפקידי מערכת הדם

- שמירה על לחץ דם תקין בעורקים במנוחה, בכל מאמץ ובכל תנאי סביבה.
- להעביר אל התאים חמצן וסובסטרטים לטובת הפקת אנרגיה
- להעביר אל מחוץ לתאים (לסלק) פחמן דו-חמצני ותוצרי לוואי
- להעביר הורמונים וחומרים אחרים
- לסייע בוויסות חום הגוף ובבקרה על מאזן הנוזלים

הרכב הדם

55% פלסמה

- 90% מים
- 7% חלבוני פלסמה
- 3% אחר

45% תאים

- < 99% תאי דם אדומים
- > 1% תאי דם לבנים וטסיות

המטוקריט

חלקם היחסי של כלל תאי הדם מכלל נפח הדם

• גברים כ- 45% (41-50%)

• נשים כ- 41% (36-44%)

תאי הדם Blood cells

תאי דם אדומים-Erythrocytes

- אחראים על הובלת גזים

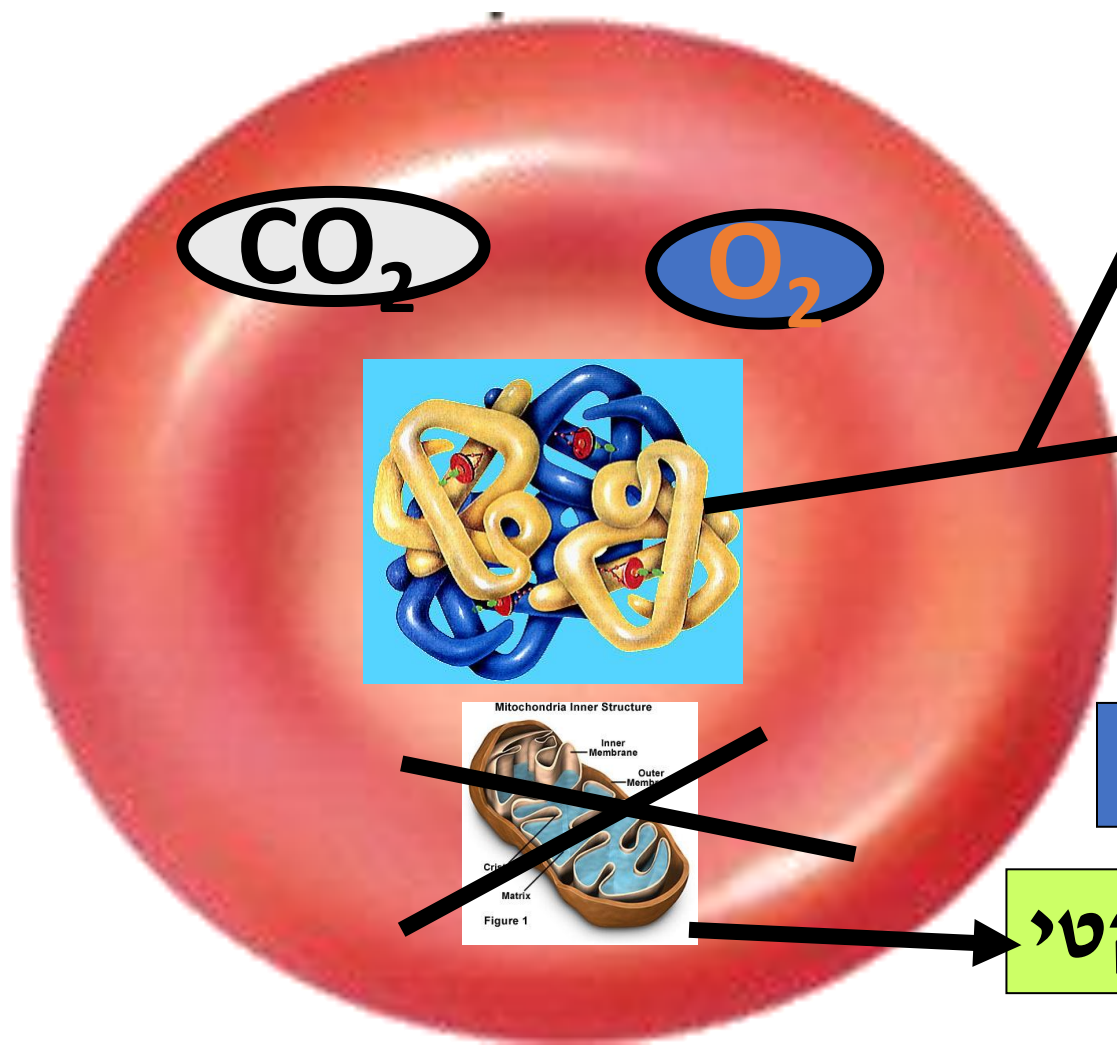
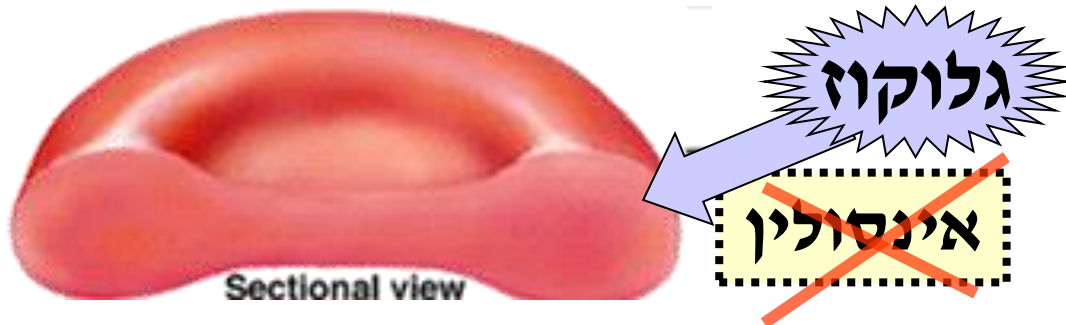
תאי דם לבנים-Leucocytes

- פעילים במערכת החיסונית

טסיות/לוחיות דם-Thrombocytes

- משתתפות בתהליך קרישת הדם

תא דם אדום



גברים

14-18 גרם/100 מ"ל דם

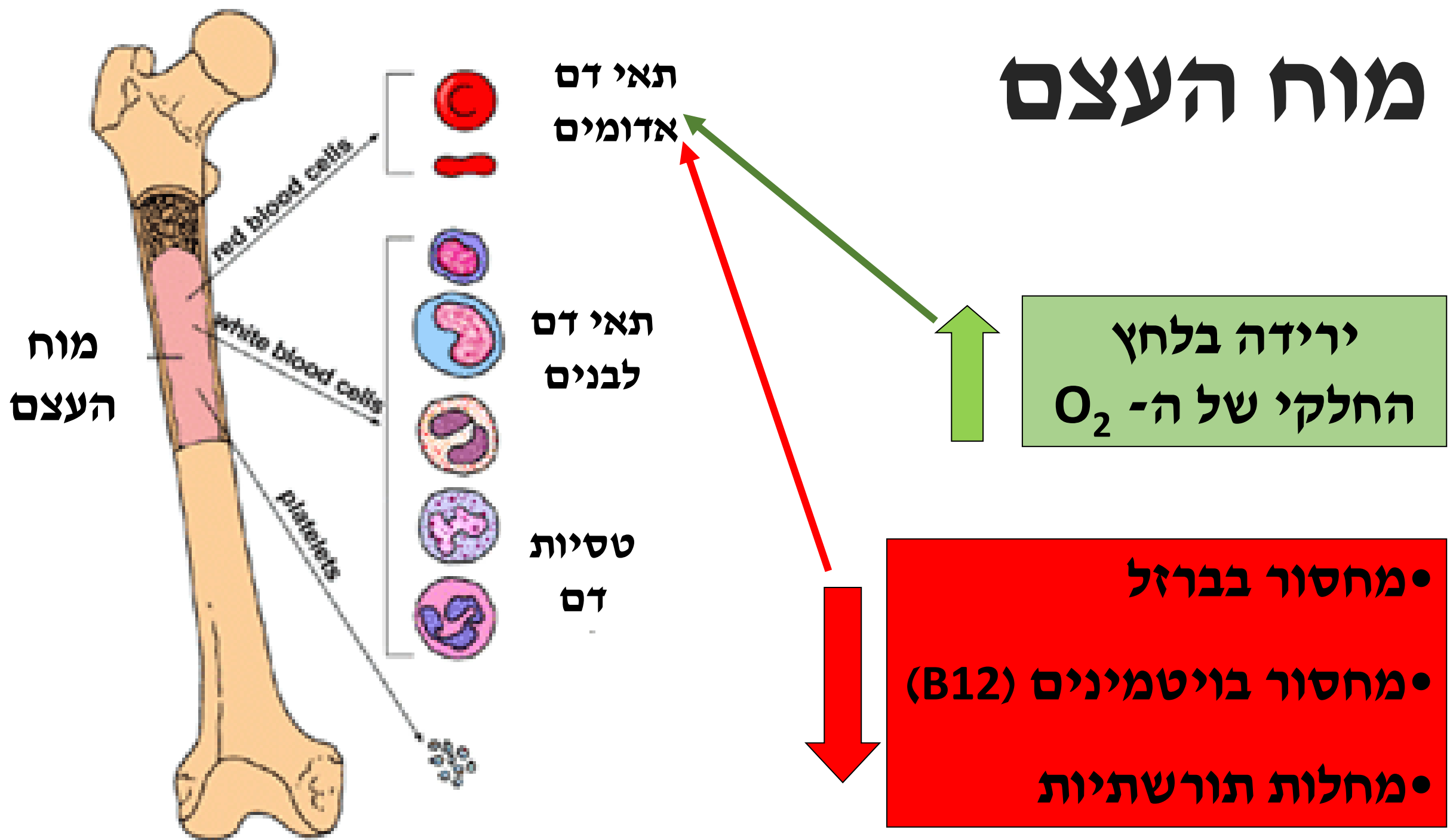
נשים

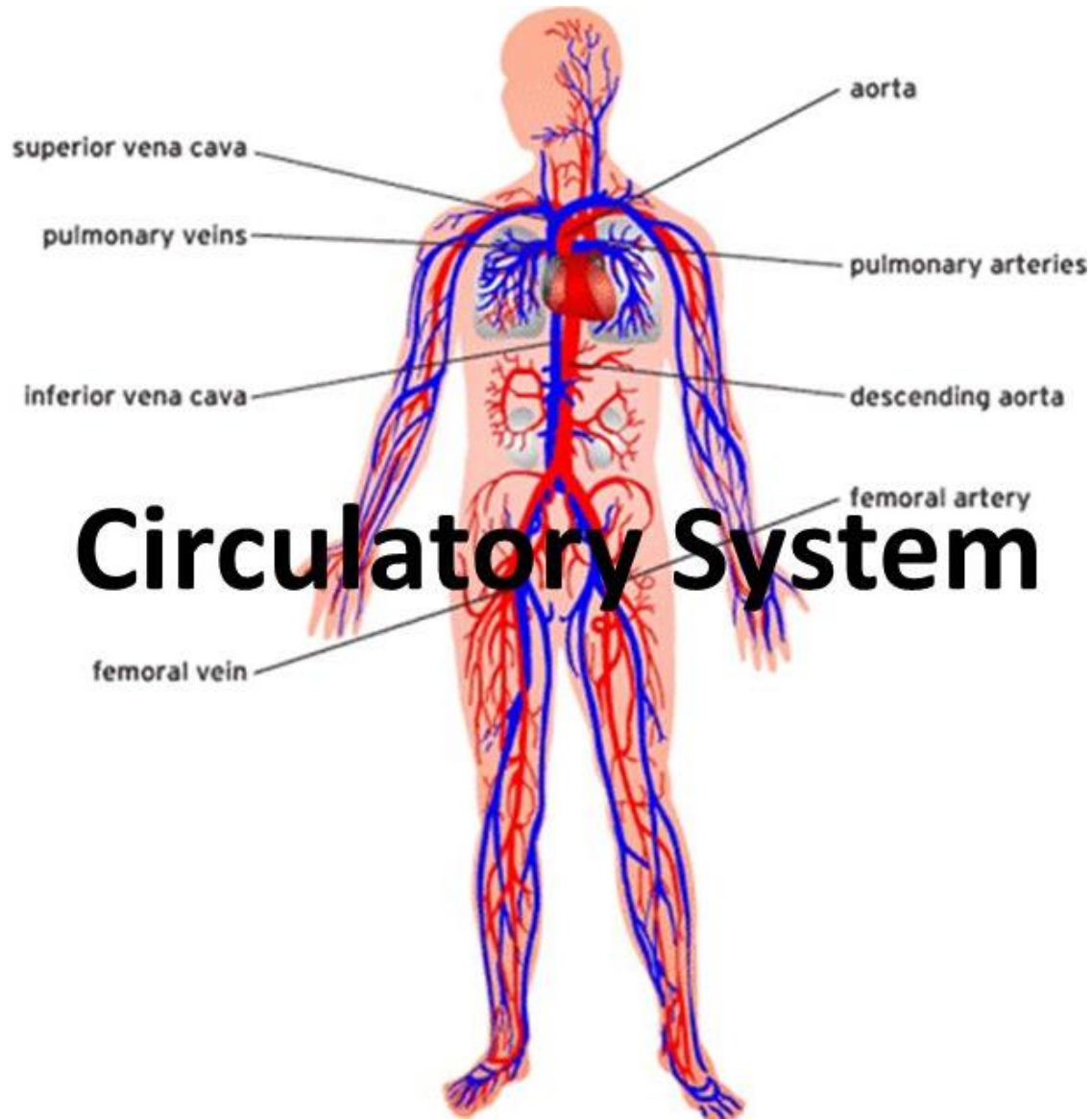
12-16 גרם/100 מ"ל דם

תוחלת חיים - 120 יום

מטבוליזם אנאירובי-לקטי

מוח העצם

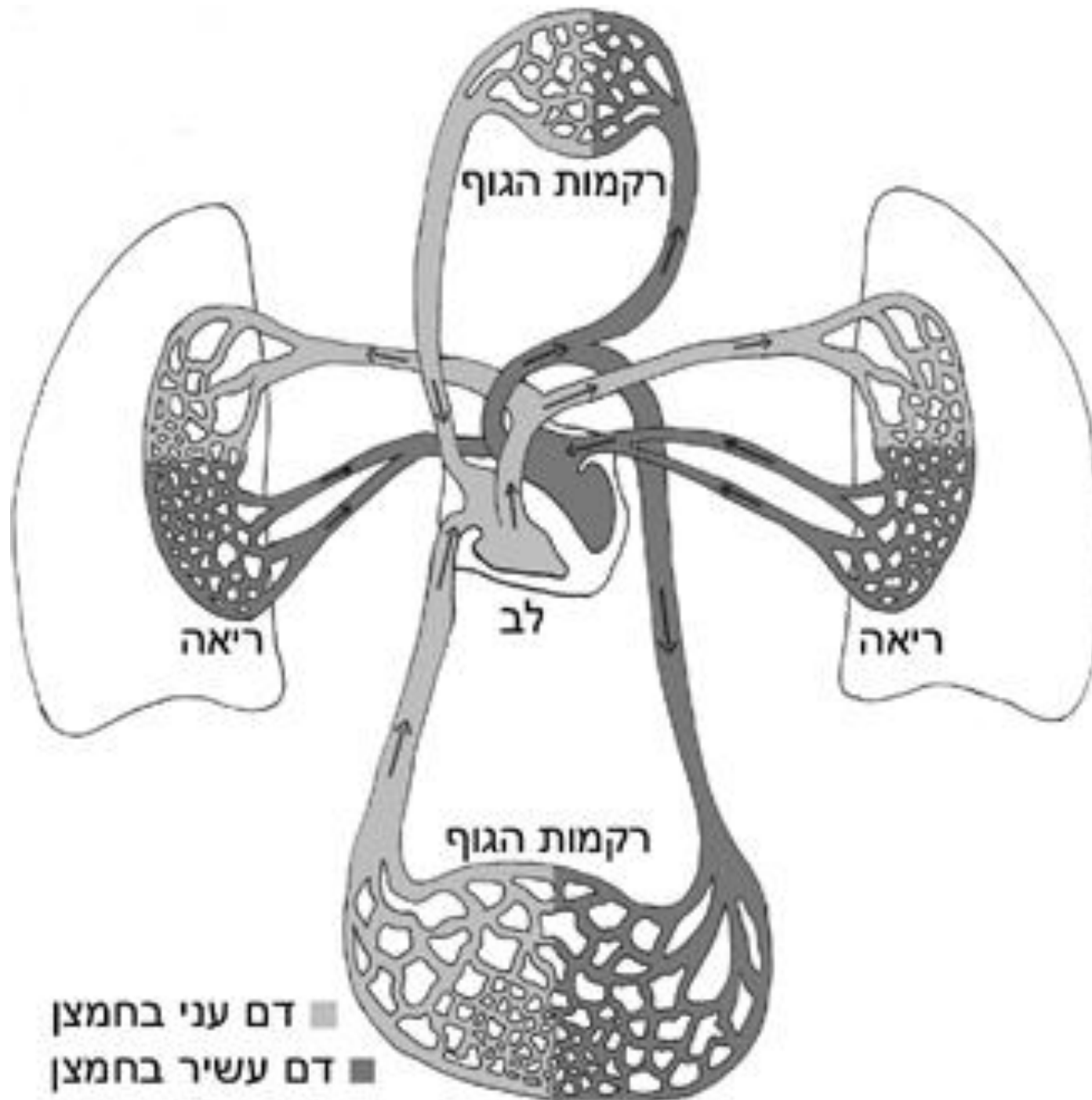




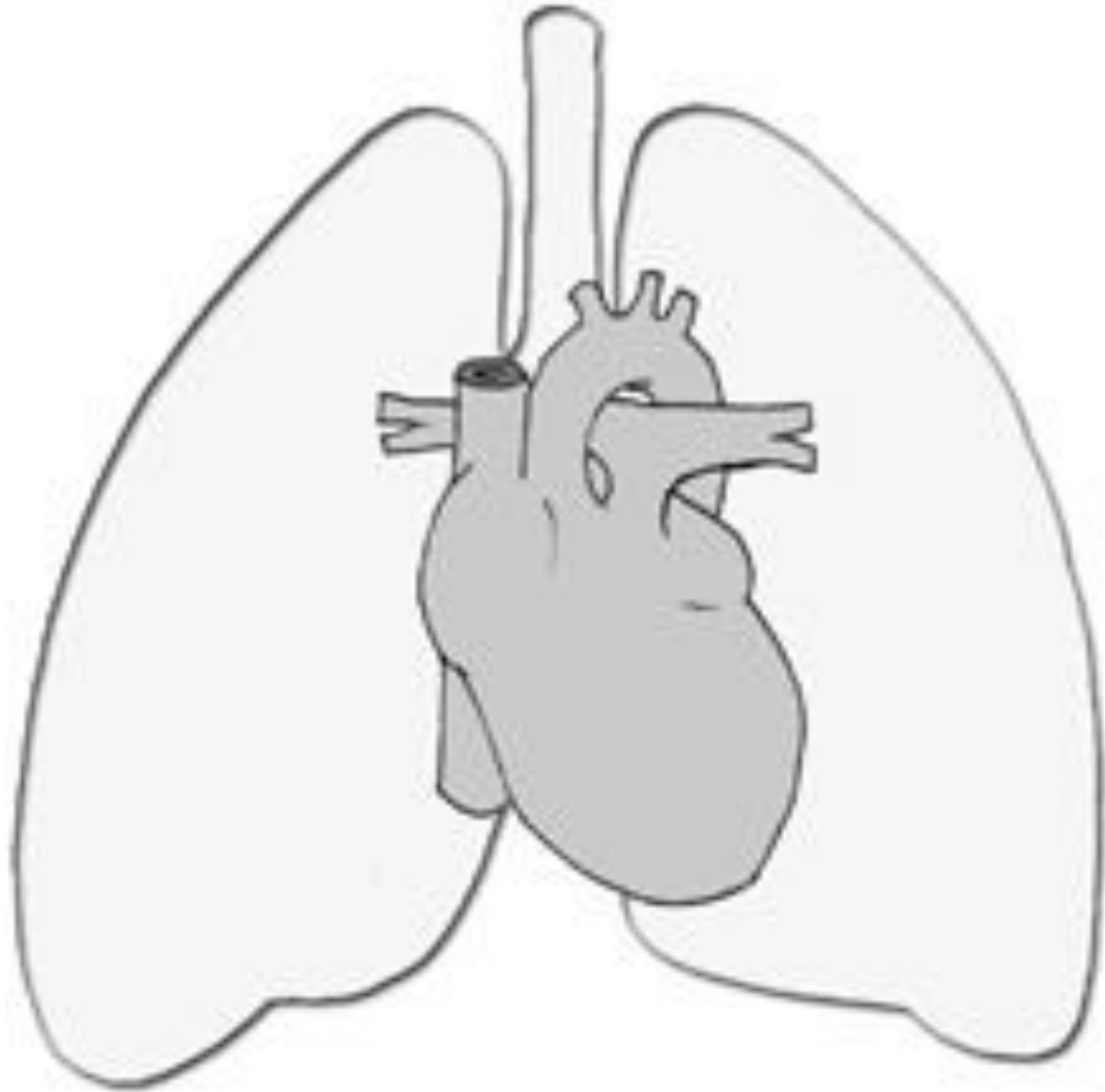
מערכת הדם
מערכת סגורה,
מעגלית, חד כיוונית

מחזור הדם המערכתי

ומחזור הדם הריאתי



מיקום הלב בבית החזה

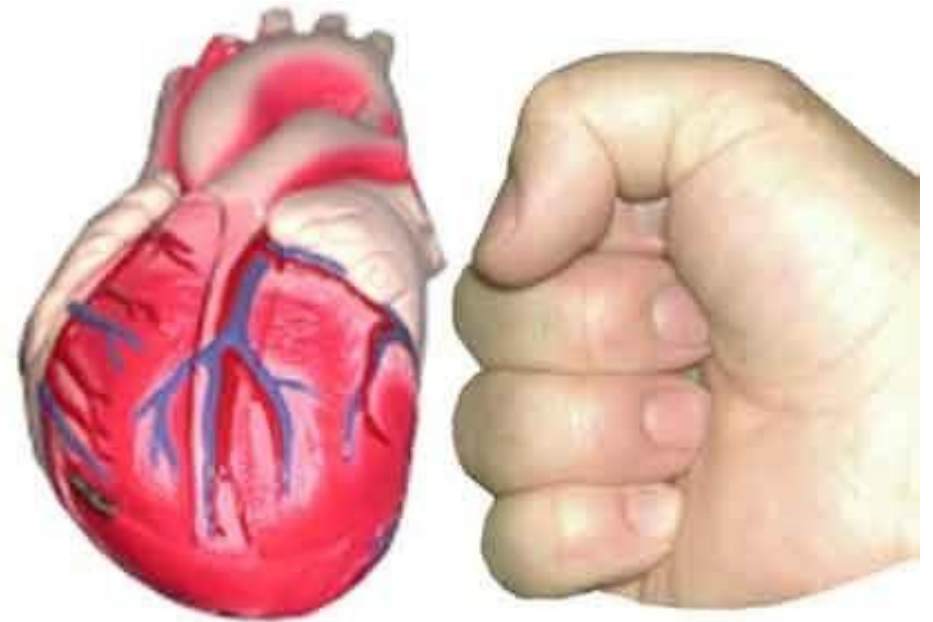


הלב מתחיל לפעום ברחם

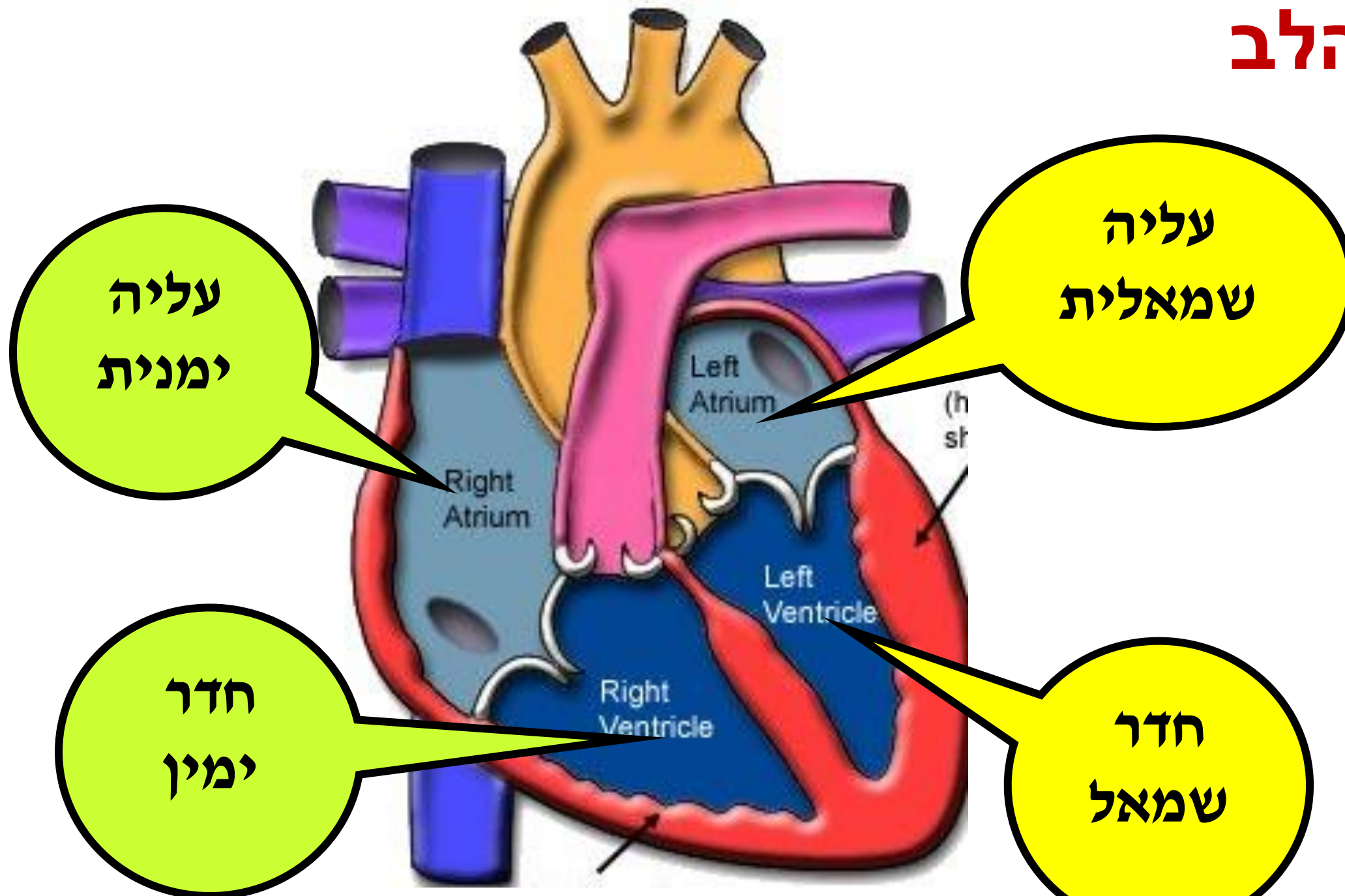
בשבוע ה- 3 להיריון. עד גיל 70

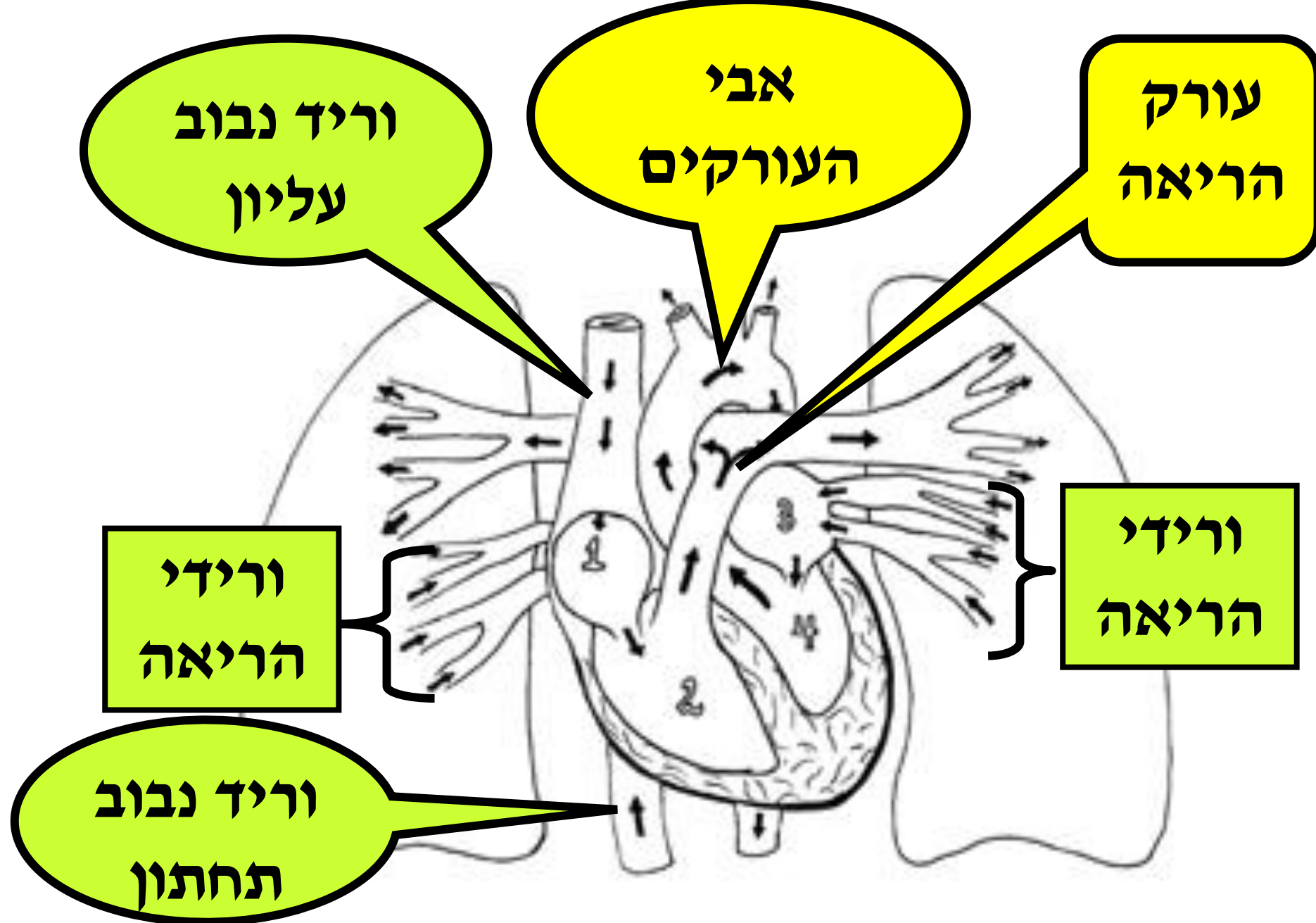
הוא יתכווץ כ- 2.5 ביליון

(2,500,000,000) פעמים



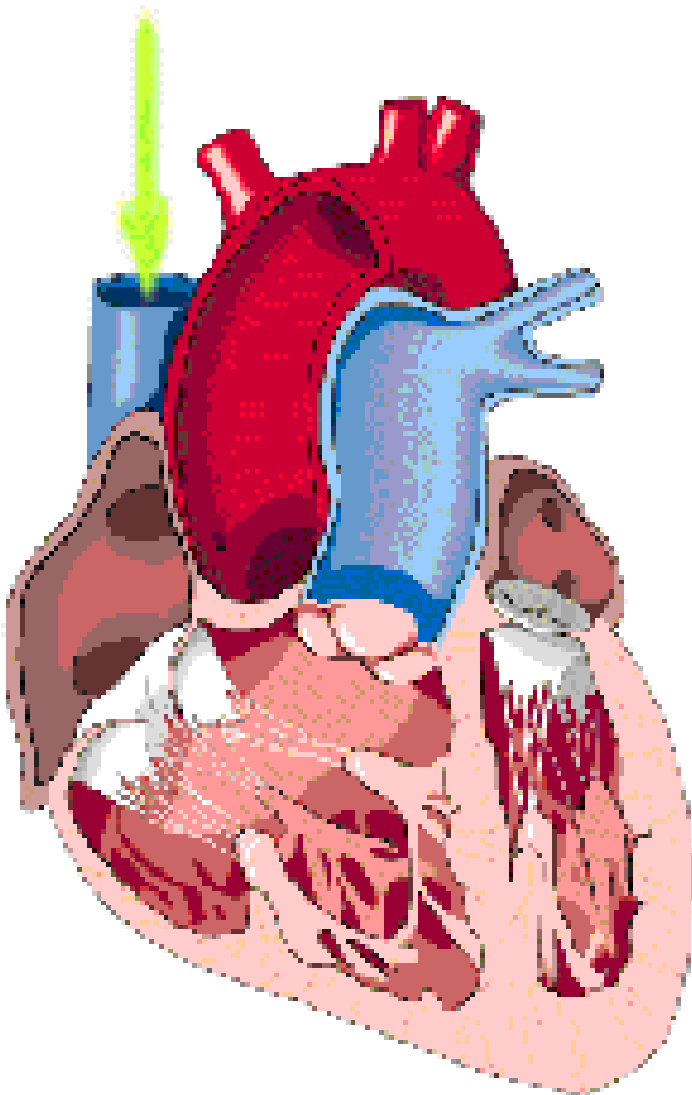
מבנה הלב





חללי הלב וכיווני זרימת הדם

מבנה הלב וזרימת הדם בלב



- עליה ימנית
- מסתם תלת-צניפי
- חדר ימני
- מסתם ריאתי
- עורקי הריאה
- ורידי הריאה
- עליה שמאלית
- מסתם דו-צניפי
- חדר שמאל
- מסתם אורטלי
- אבי העורקים

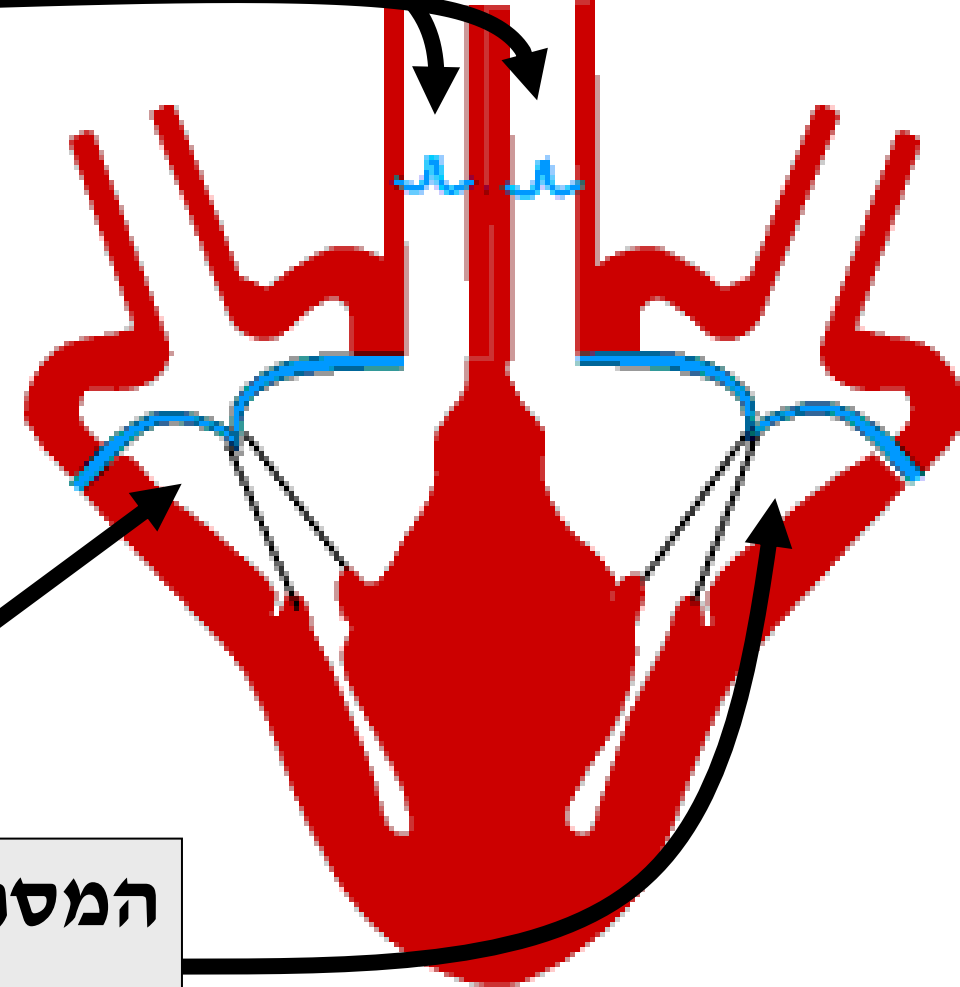
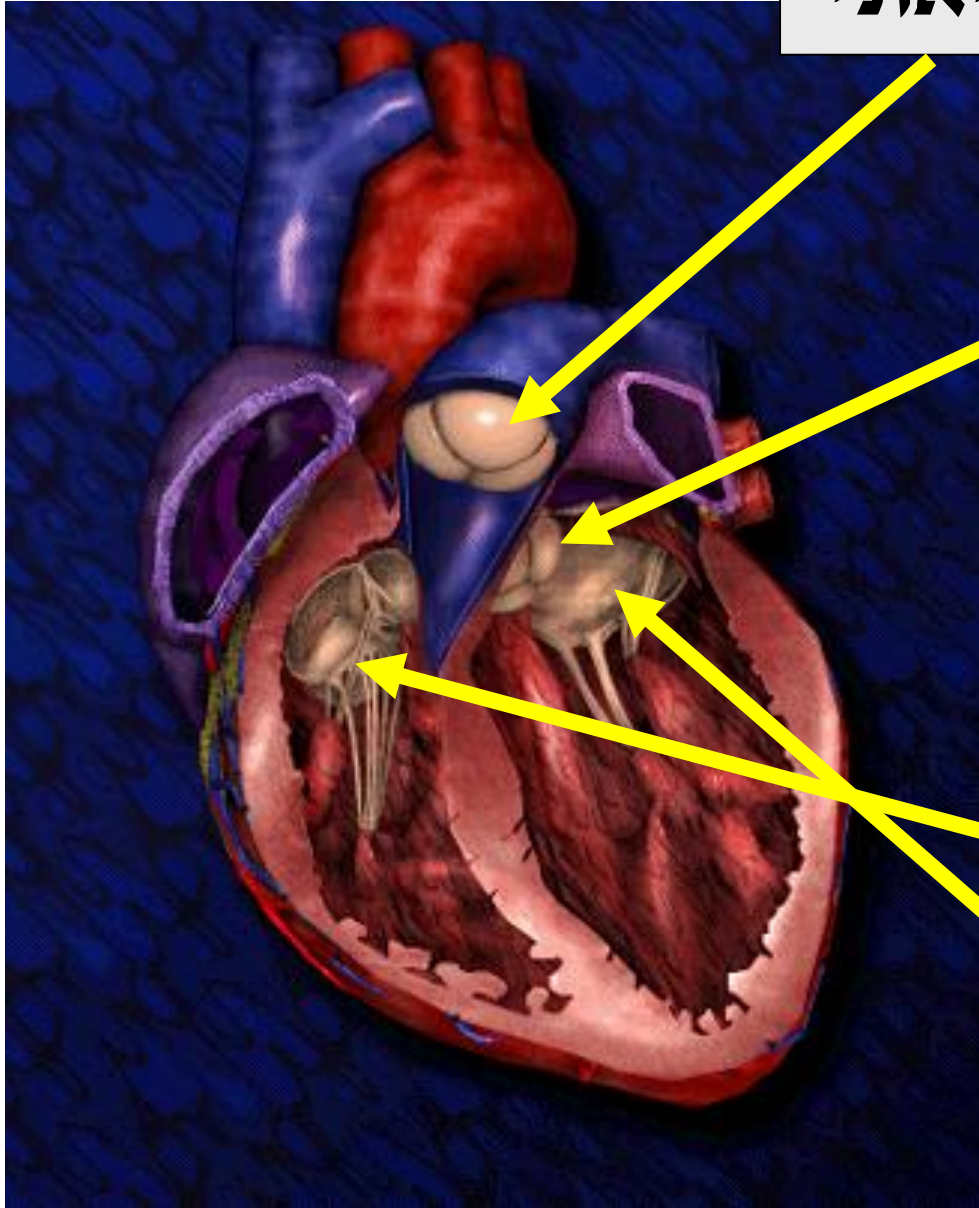
מסתמי הלב

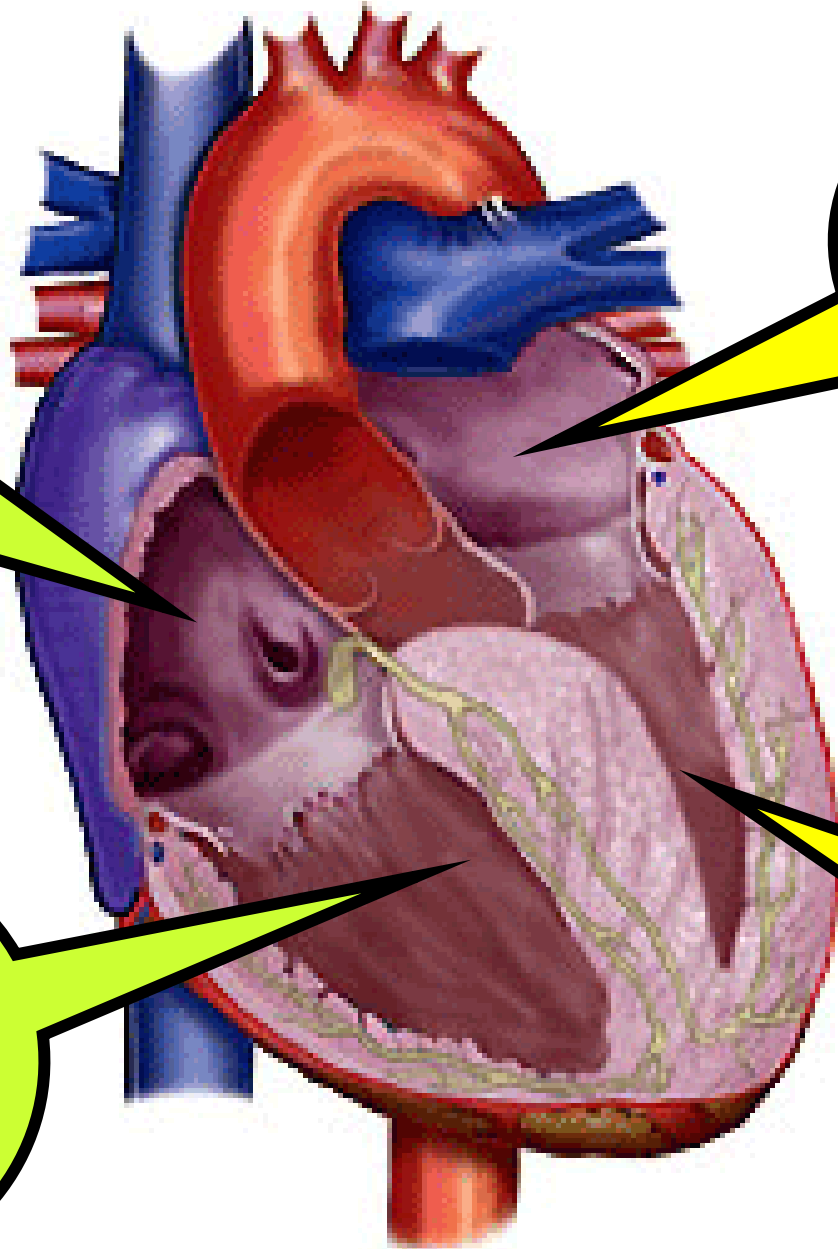
המסתם
הריאתי

מסתם אבי
העורקים

המסתם
התלת-צניפי

המסתם הדו-צניפי
מיטראלי





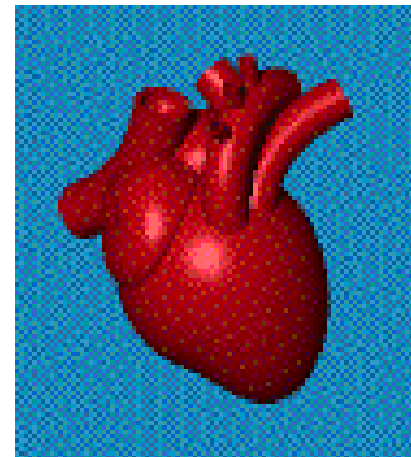
עליה
שמאלית

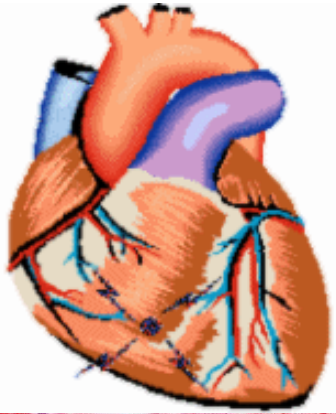
עליה
ימנית

שריר הלב
מיוקרדיום

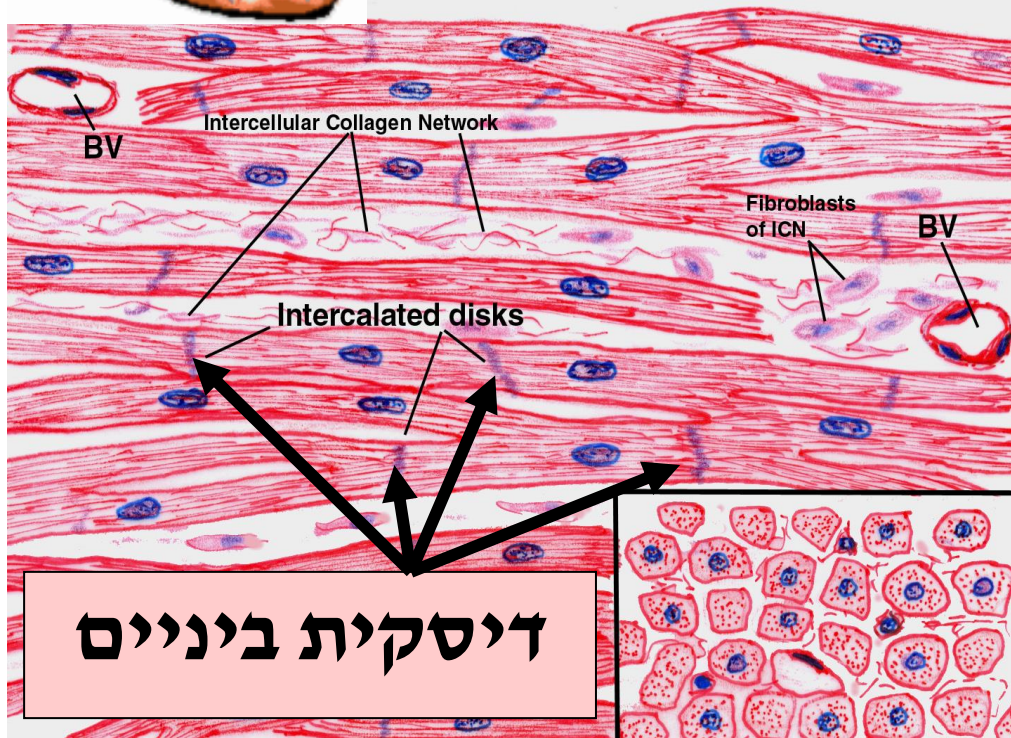
חדר
שמאל

חדר
ימין

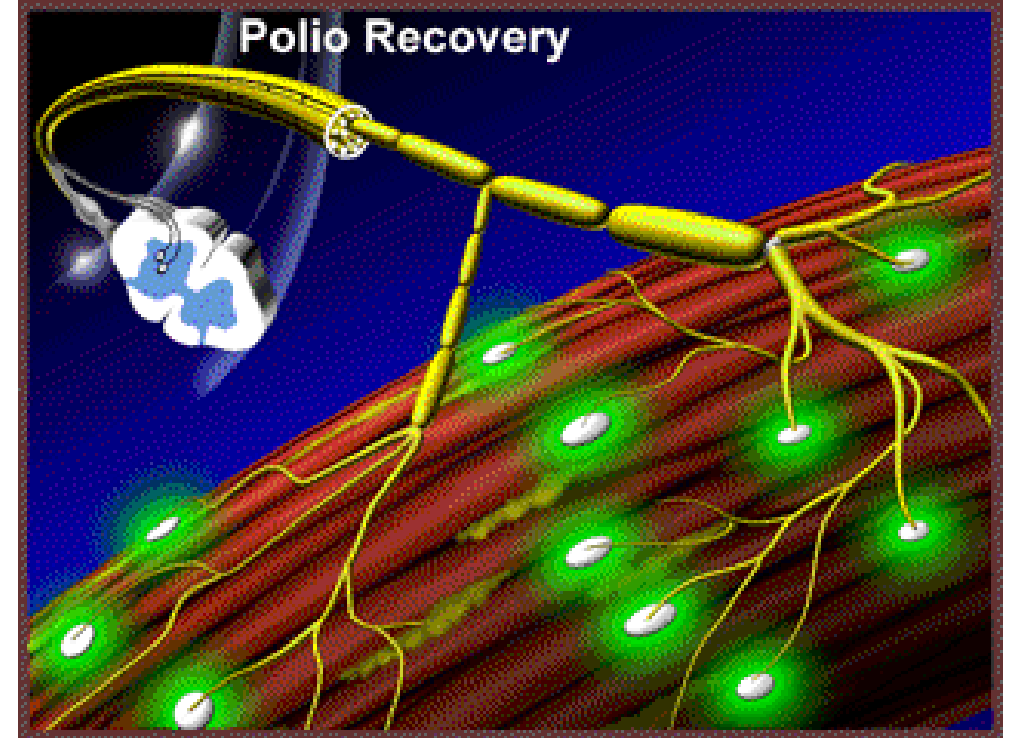




שריר הלב סינציטיום



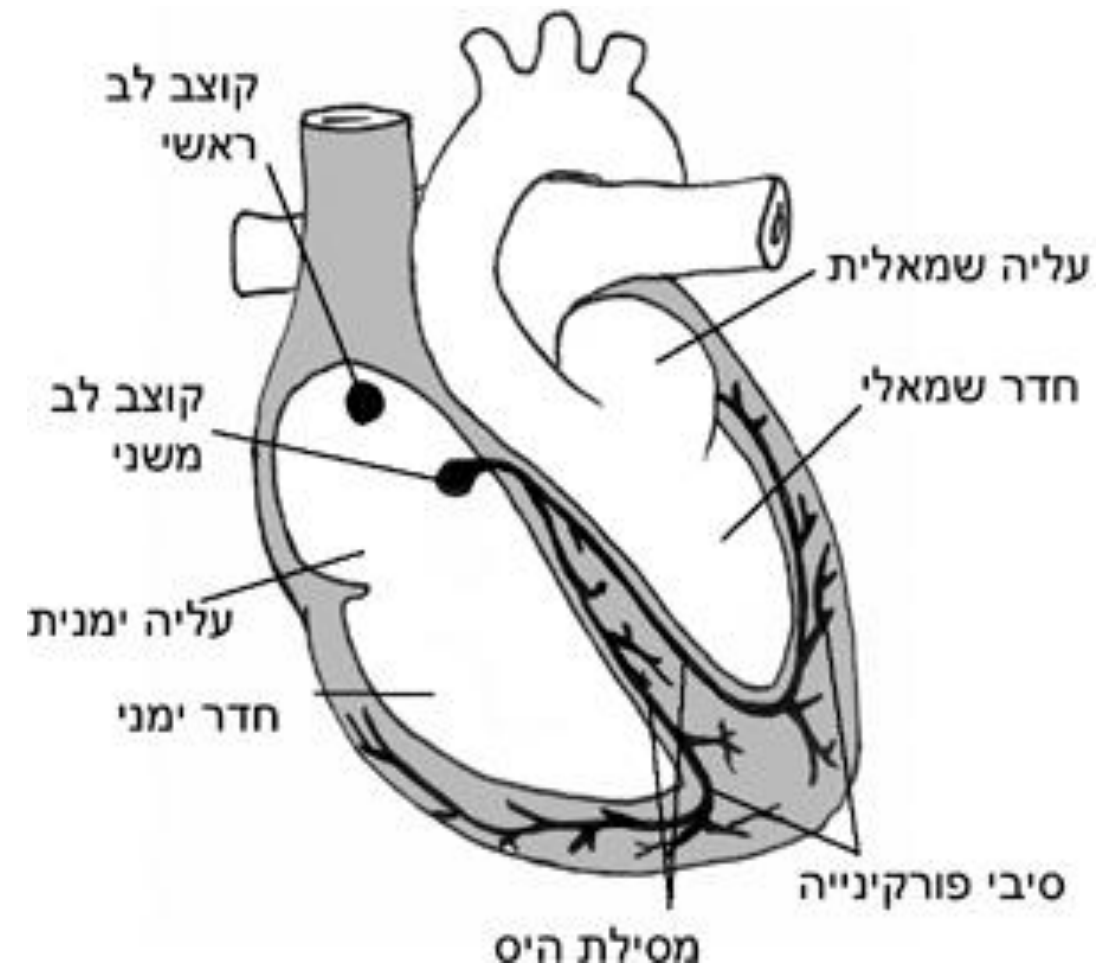
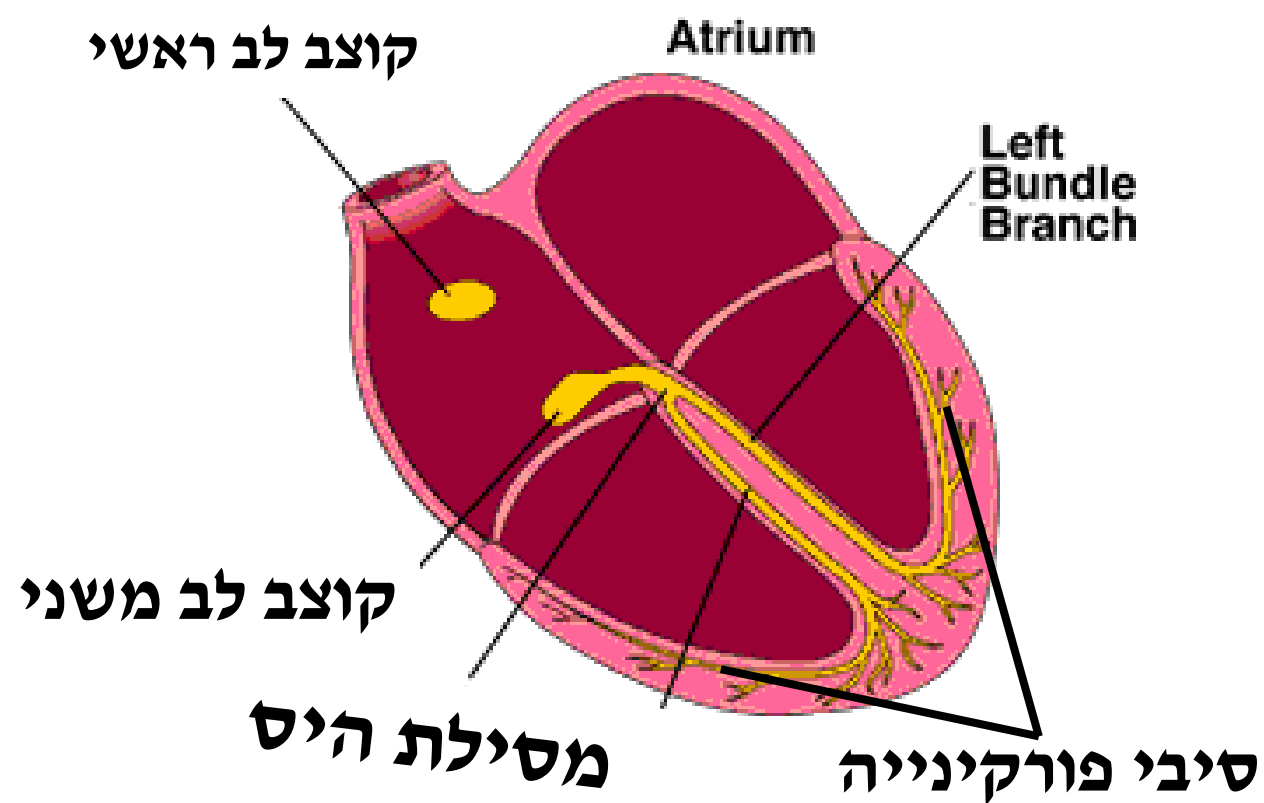
שריר שלד יחידה מוטורית



יחידה מוטורית הכול או לא כלום שריר הלב כולו

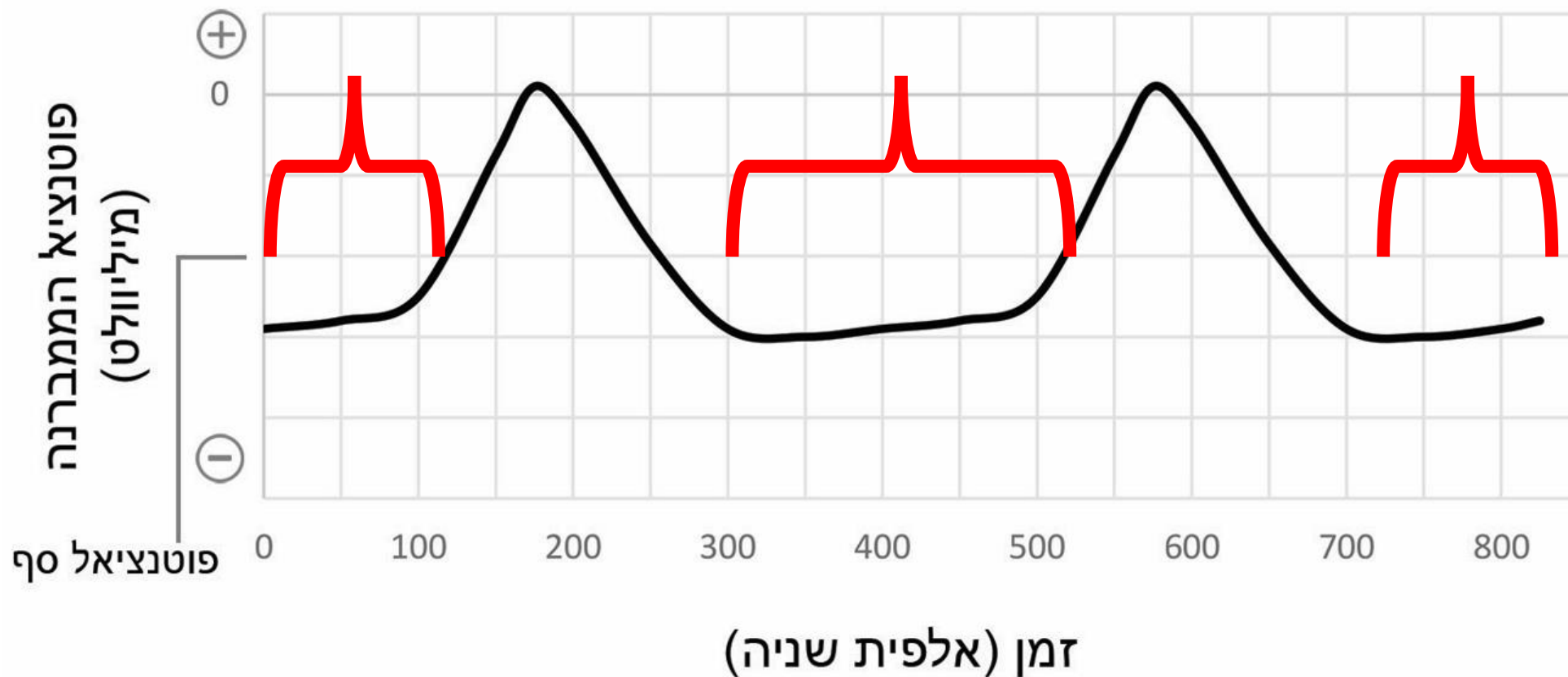
מערכת ההולכה החשמלית של הלב

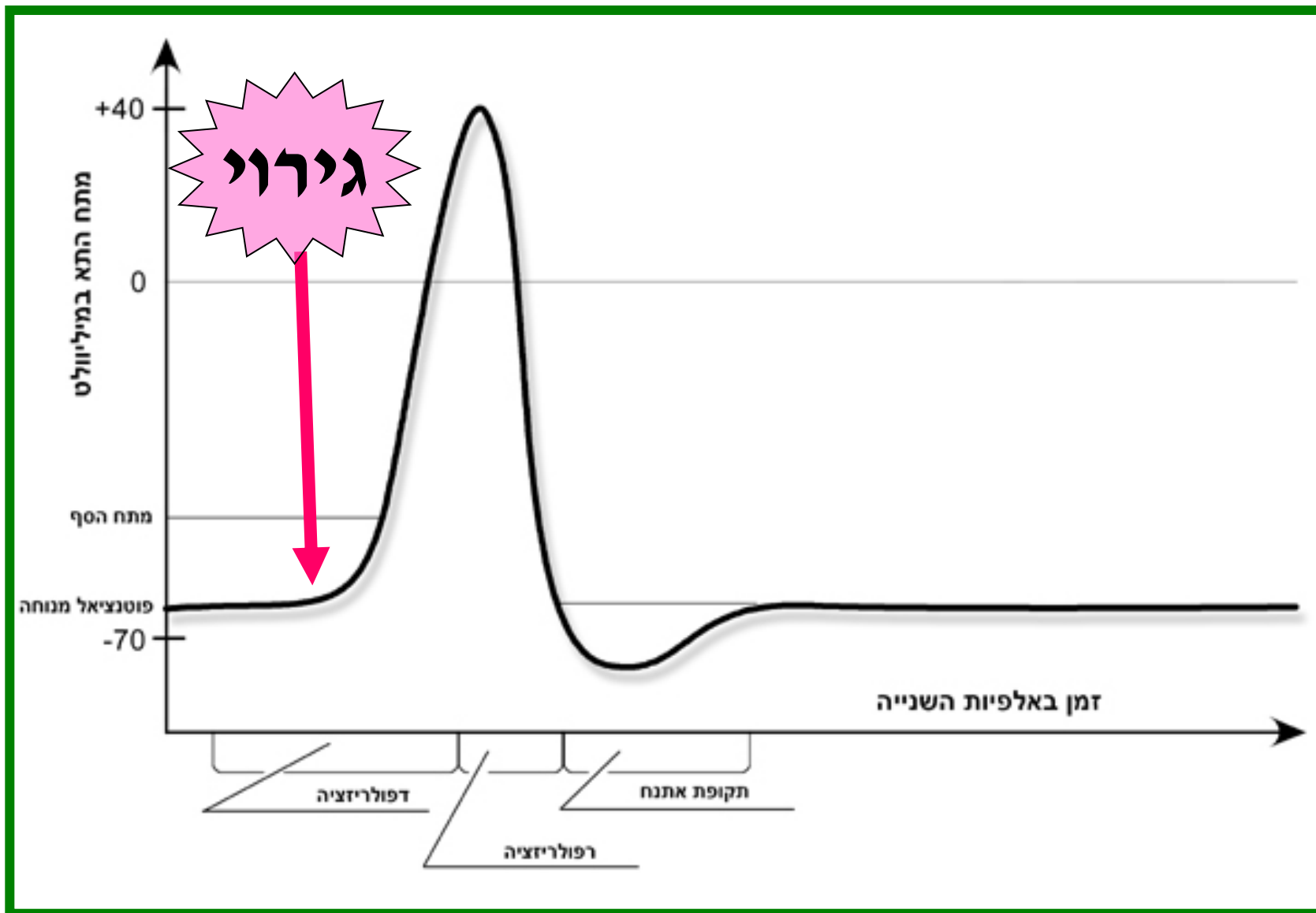
קצב הלב העצמאי - קוצב ראשי (S - A node) 100 פע'/דק'



רישום פוטנציאל פעולה של קוצב הלב

דפולריזציה עצמית איטית

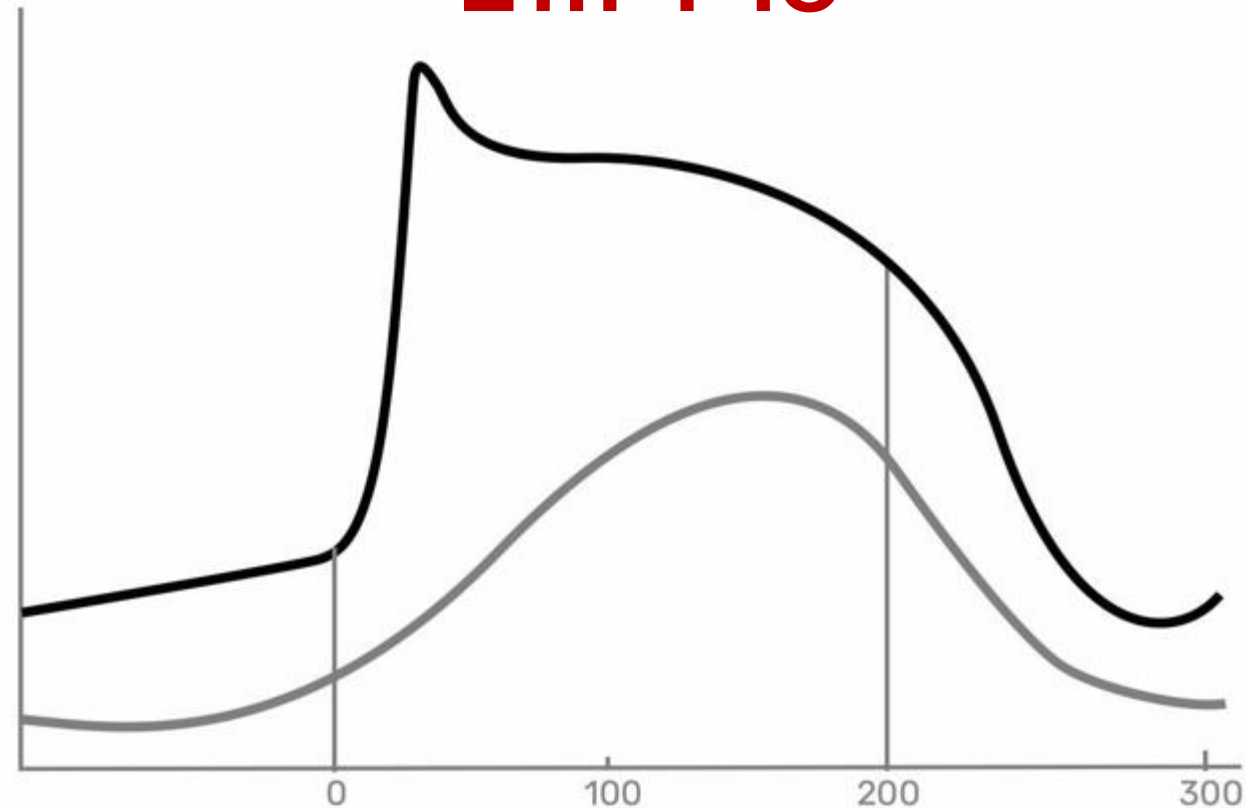




תיאור גרפי של פוטנציאל פעולה בתא עצב

פוטנציאל הפעולה של סיבי פורקינייה ומשך ההתכווצות של

שריר הלב

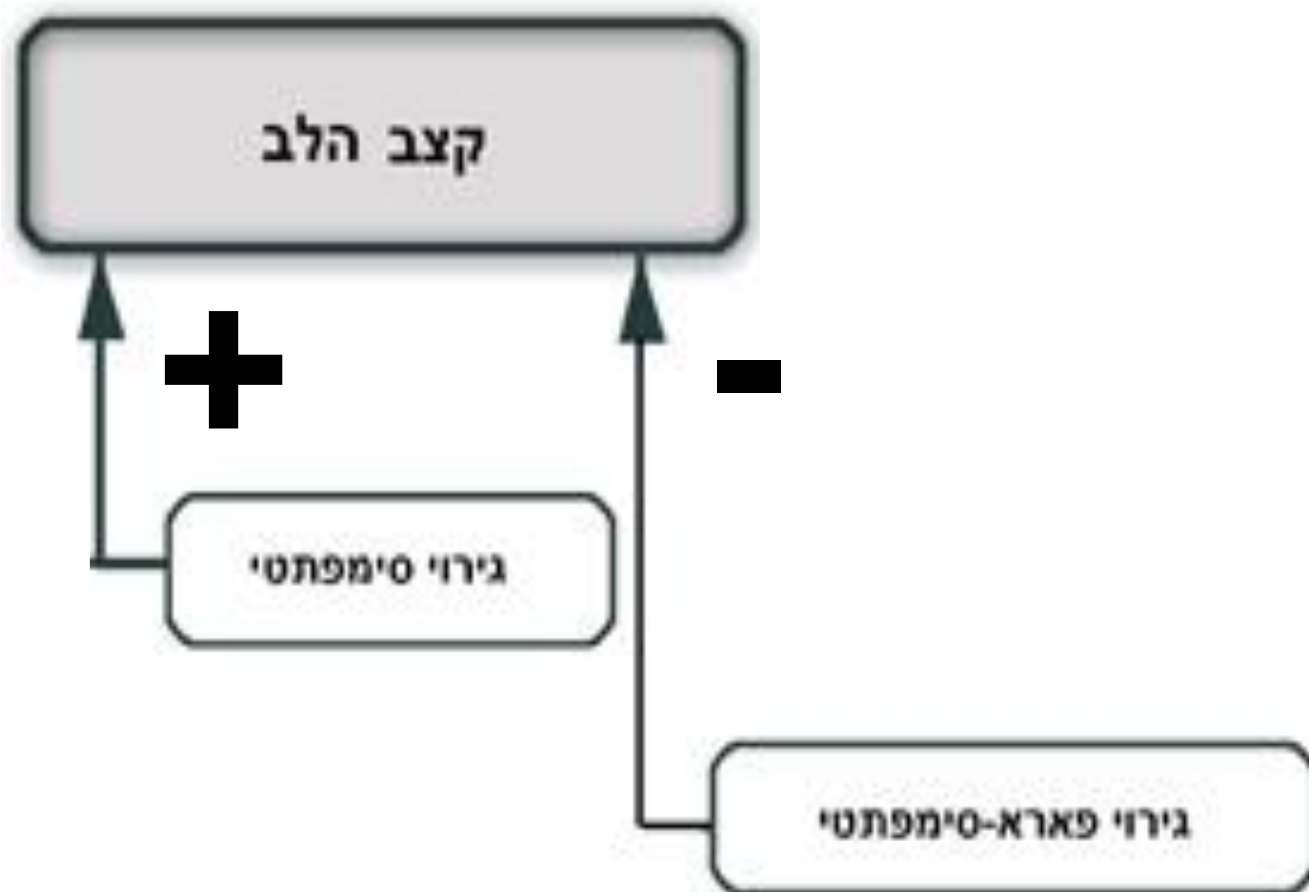


זמן (אלפיות שנייה)

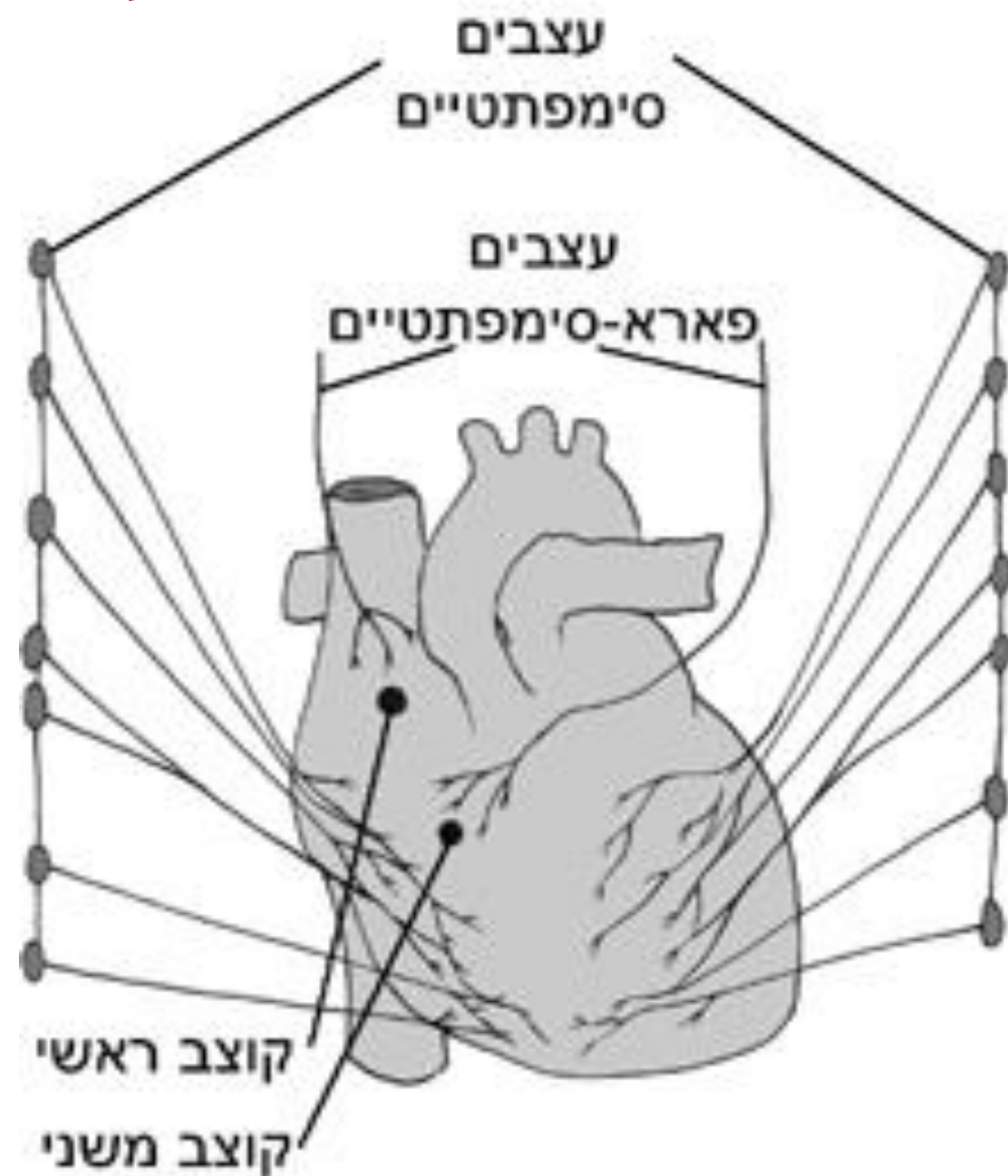
פוטנציאל הפעולה של סיבי פורקינייה

מהלך ההתכווצות של שריר הלב

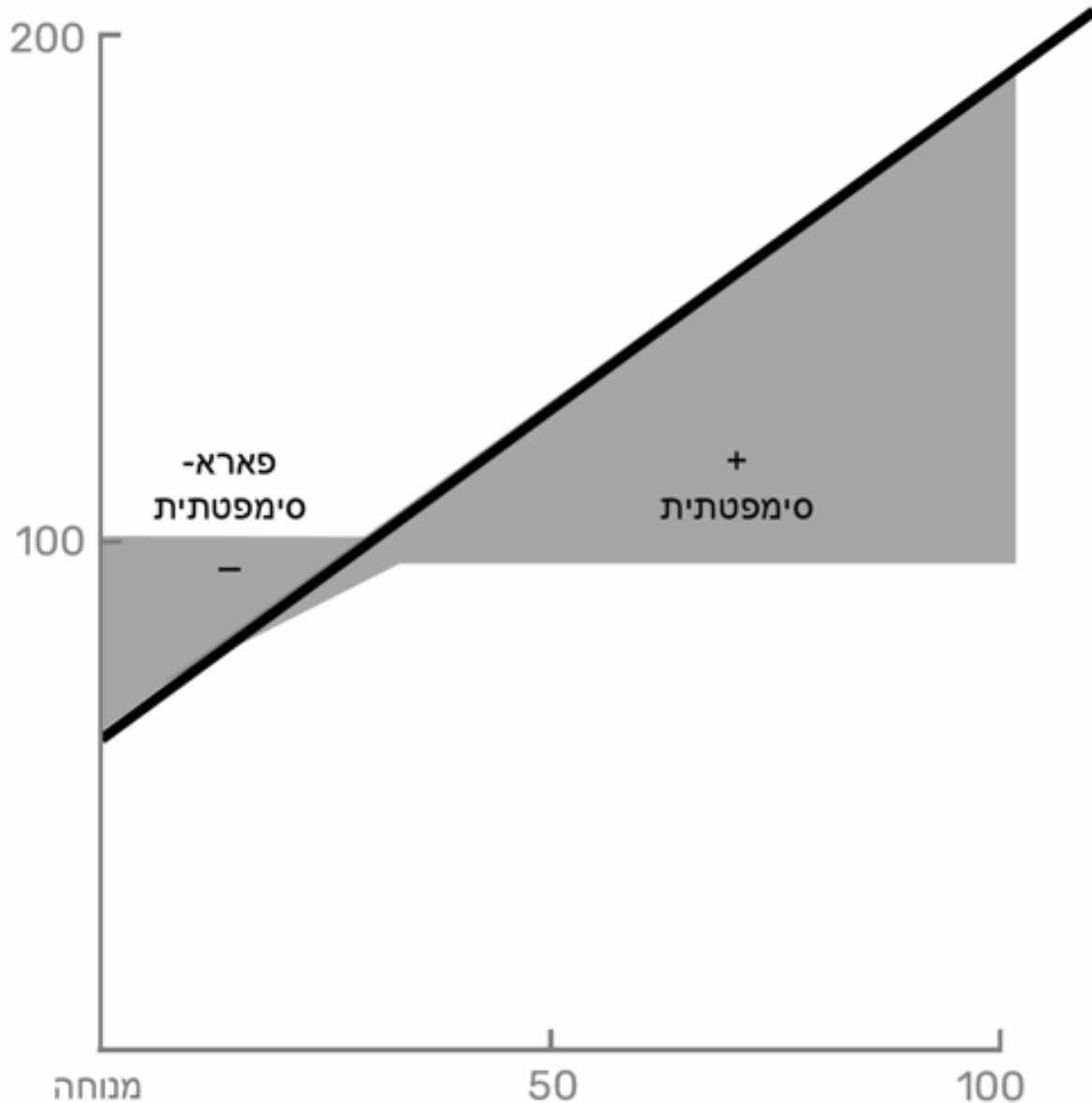
עצבוב הלב באמצעות מערכת העצבים האוטונומית



ויסות קצב הלב



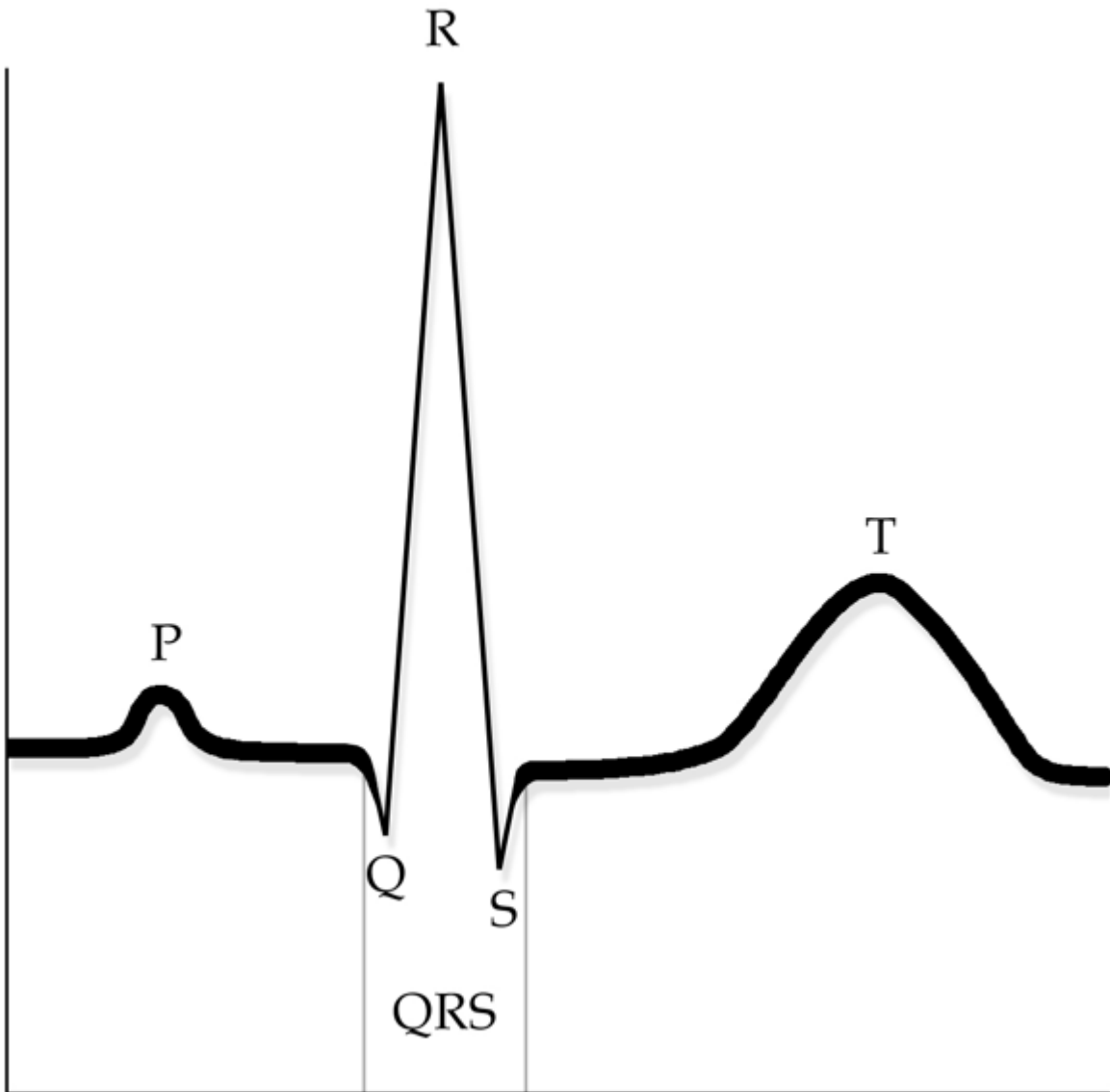
קצב לב (פעימות/דקה)



עצימות מאמץ (%) ביחס ליכולת
האירובית המרבית (צח"מ = 100%)

**בקרה עצבית על קצב
הלב עם העלייה
בעצימות המאמץ**

רישום א-ק-ג



גל P - דפולריזציה של העליות

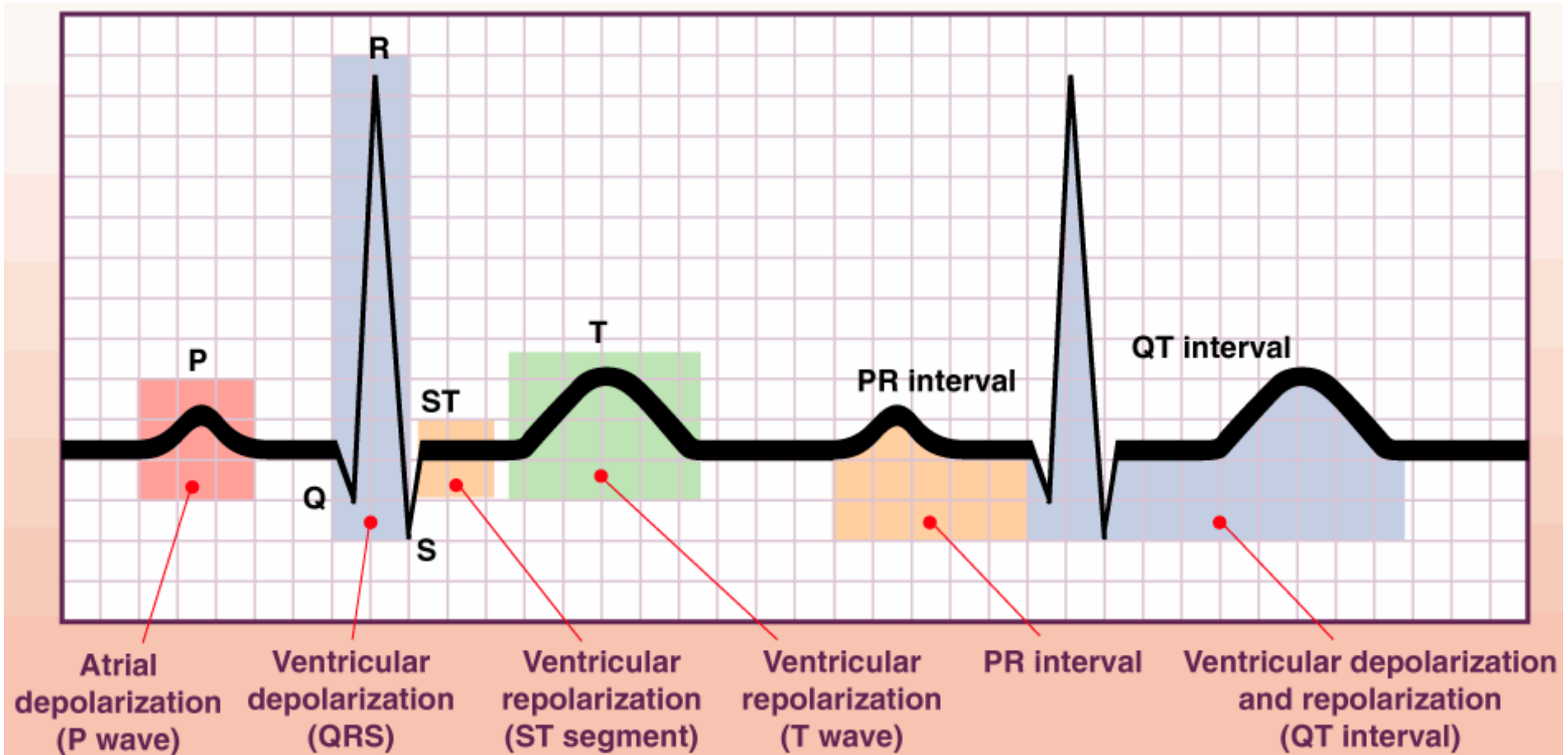
מקטע QRS - דפולריזציה של החדרים

גל T - רפולריזציה של החדרים

הרישום שאמור לתאר את הרפולריזציה

של העליות נבלע במקטע QRS.

PHASES OF THE ECG



סינוס ברדיקרדיה



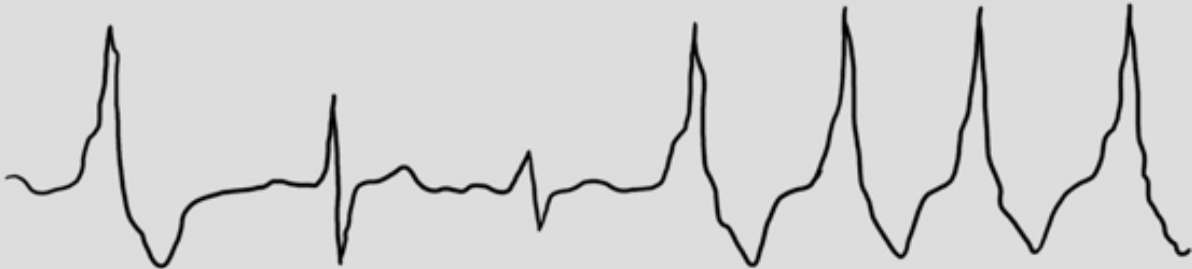
סינוס טאכיקרדיה



פעימה חדרית מוקדמת



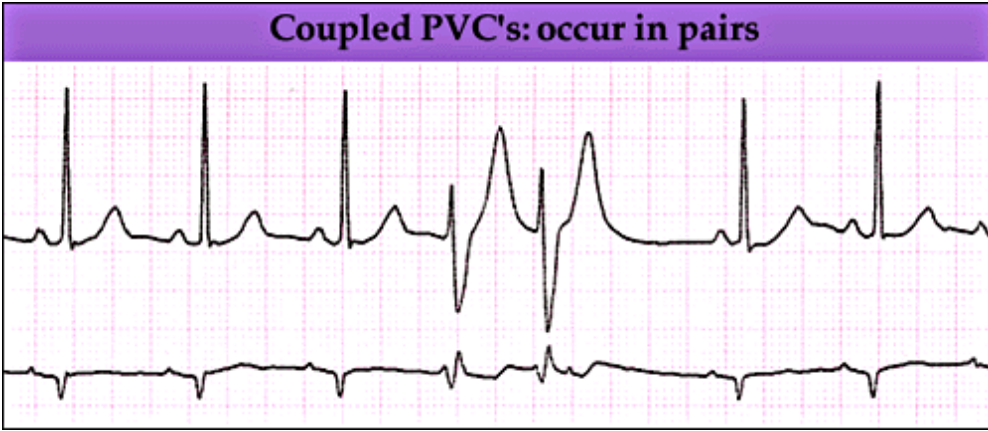
טאכיקרדיה חדרית



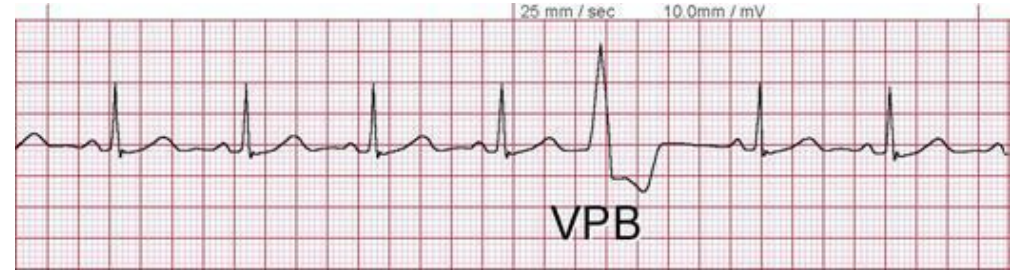
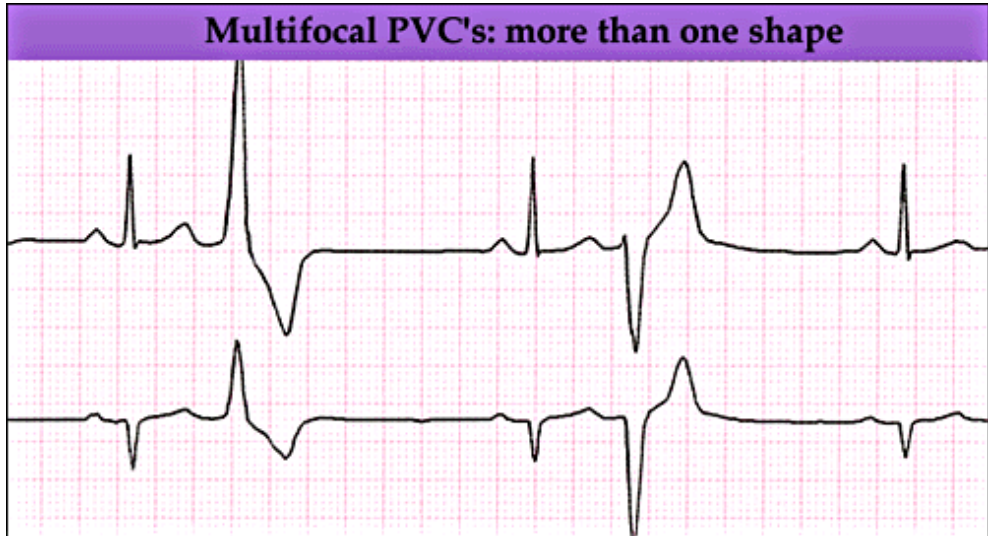
הפרעות קצב הלב

הפרעות קצב הלב

Coupled PVC's: occur in pairs

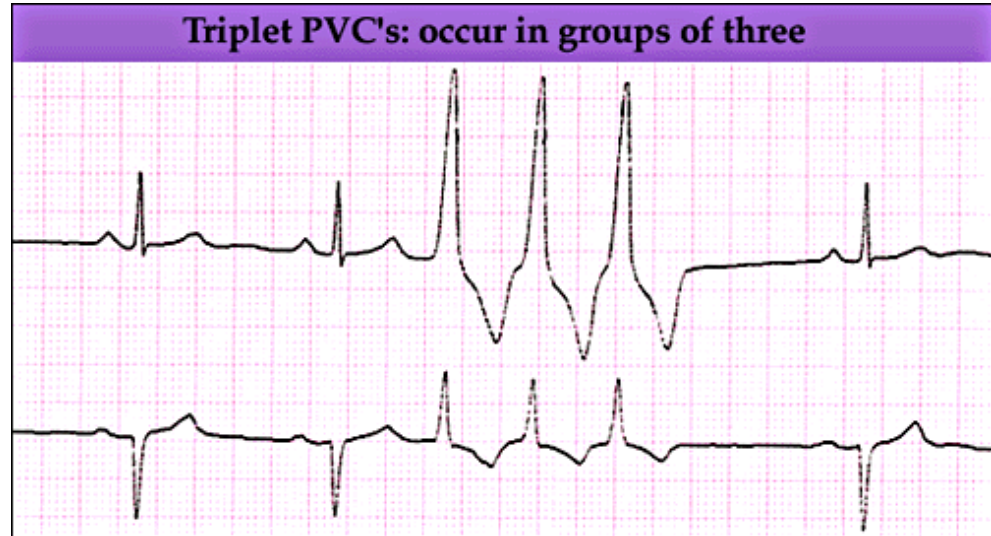


Multifocal PVC's: more than one shape



ה

Triplet PVC's: occur in groups of three



מחזור הפעילות של הלב

דיאסטולה

סיסטולה

א. מילוי מהיר

ב. סיסטולת העליות

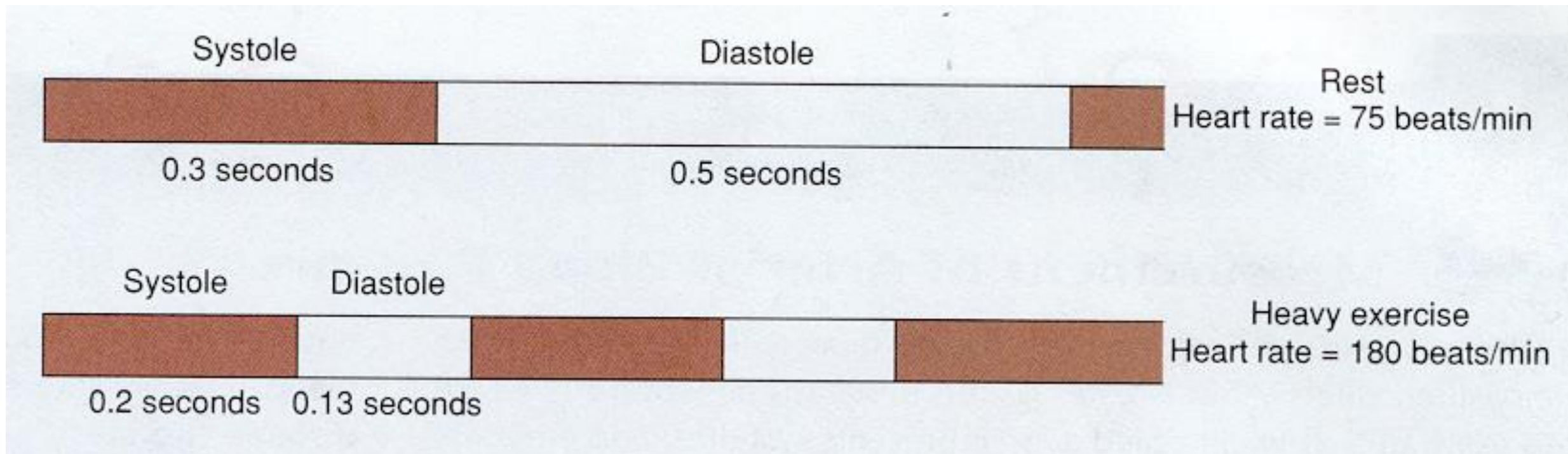
ה. הרפיה
שוות נפח

ד. הזרקה

ג. התכווצות
שוות נפח



מחזור הפעילות של הלב - חלוקת זמנים



מסתם אבי העורקים

מסתם ריאתי

Cusps of
pulmonary valve

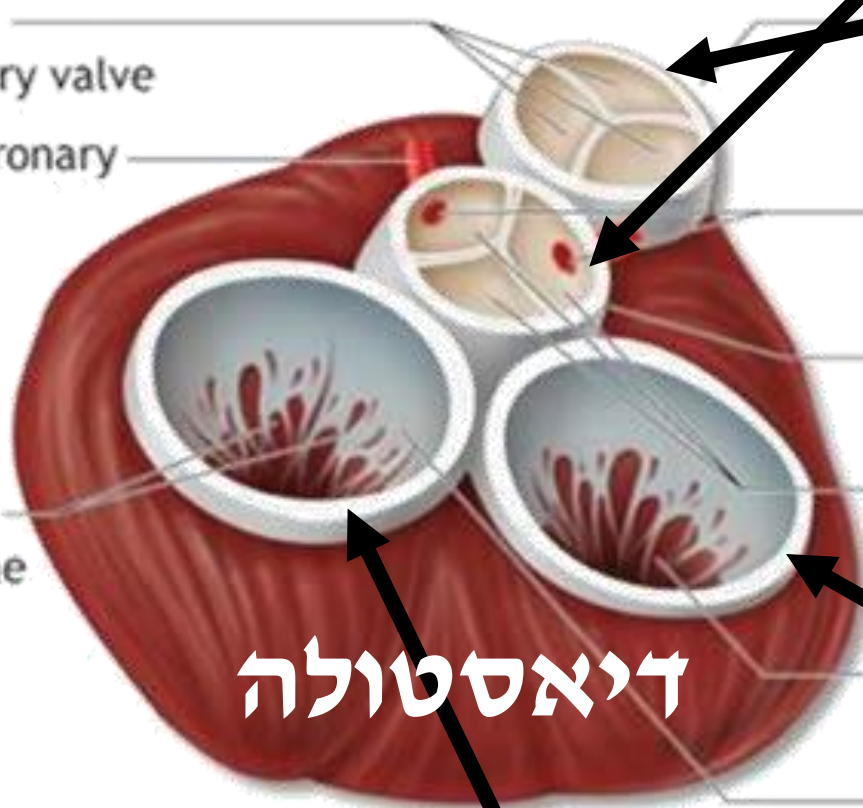
Right coronary
artery

Chordae
tendineae

דיאסטולה

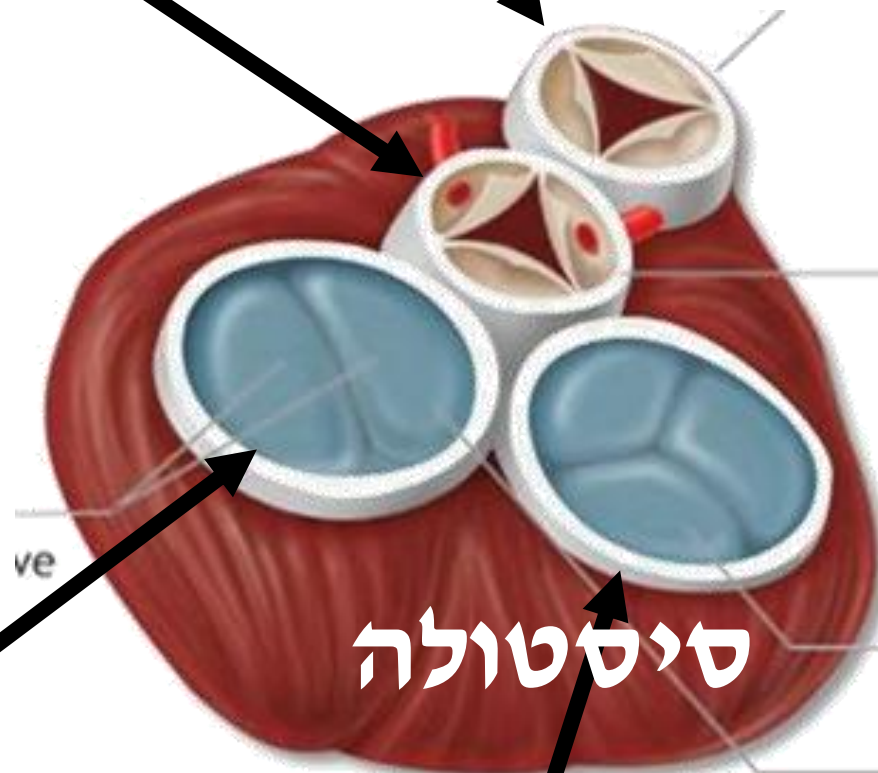
מסתם דו-צניפי

מסתם תלת-צניפי



מסתם אבי העורקים

מסתם ריאתי



מסתם דו-צניפי

מסתם תלת-צניפי

קולות הלב

דיאסטולה

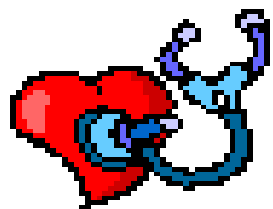
קול II



קול I

סיסטולה





אושות בלב

- אושה סיסטולית:
- היצרות של מסתם אבי העורקים/המסתם הריאתי
- אי-ספיקה של המסתמים שבין העליות לחדרים
- אושה דיאסטולית:
- היצרות של המסתמים שבין העליות לחדרים
- אי-ספיקה של מסתם אבי העורקים/המסתם הריאתי

אָוּשֶׁה בִּלְב

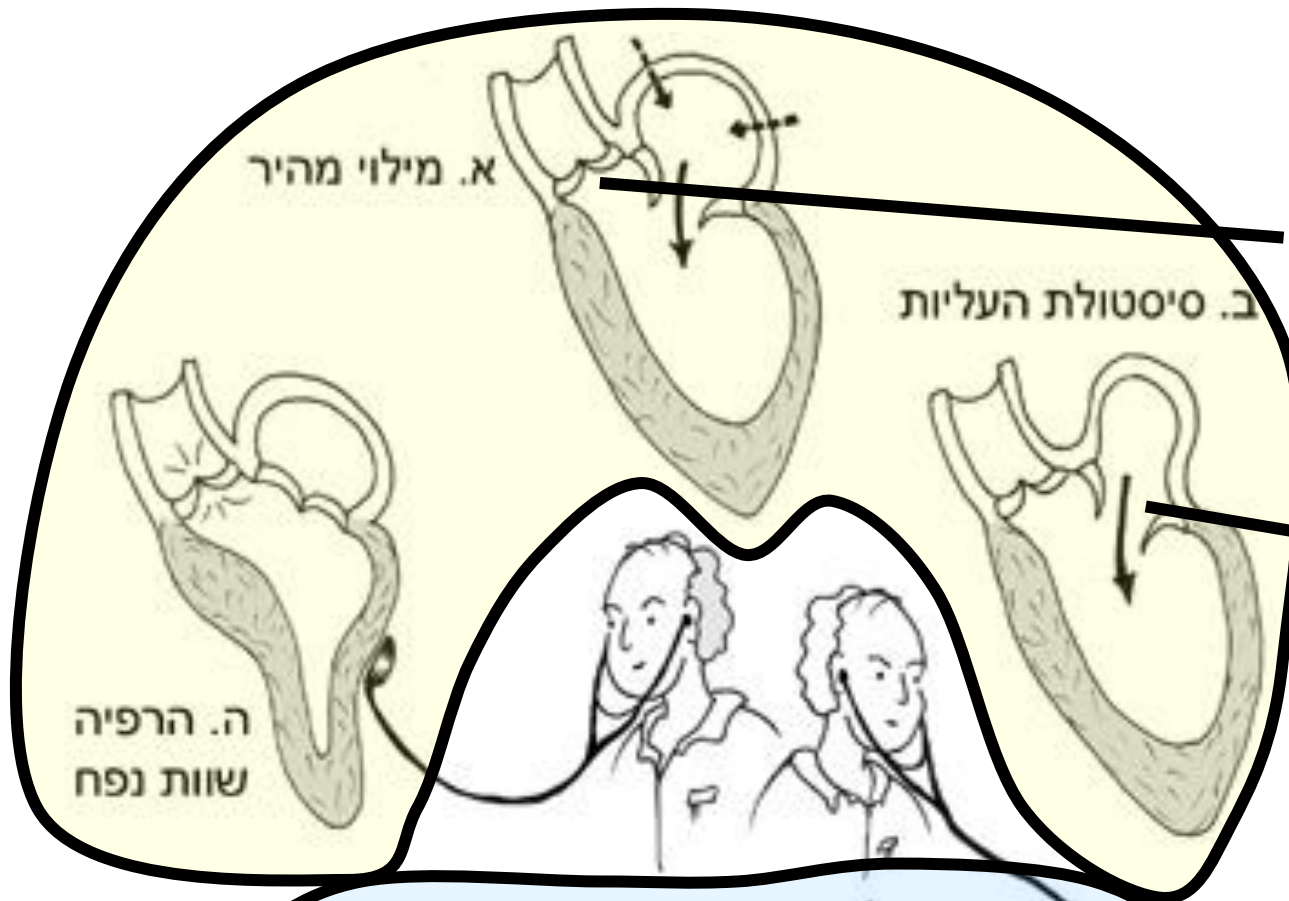
אִי סַפִּיקָה

הִיצָרוֹת

אִיוּשֶׁה דִּיאֶסְטוֹלִית

אִי סַפִּיקָה

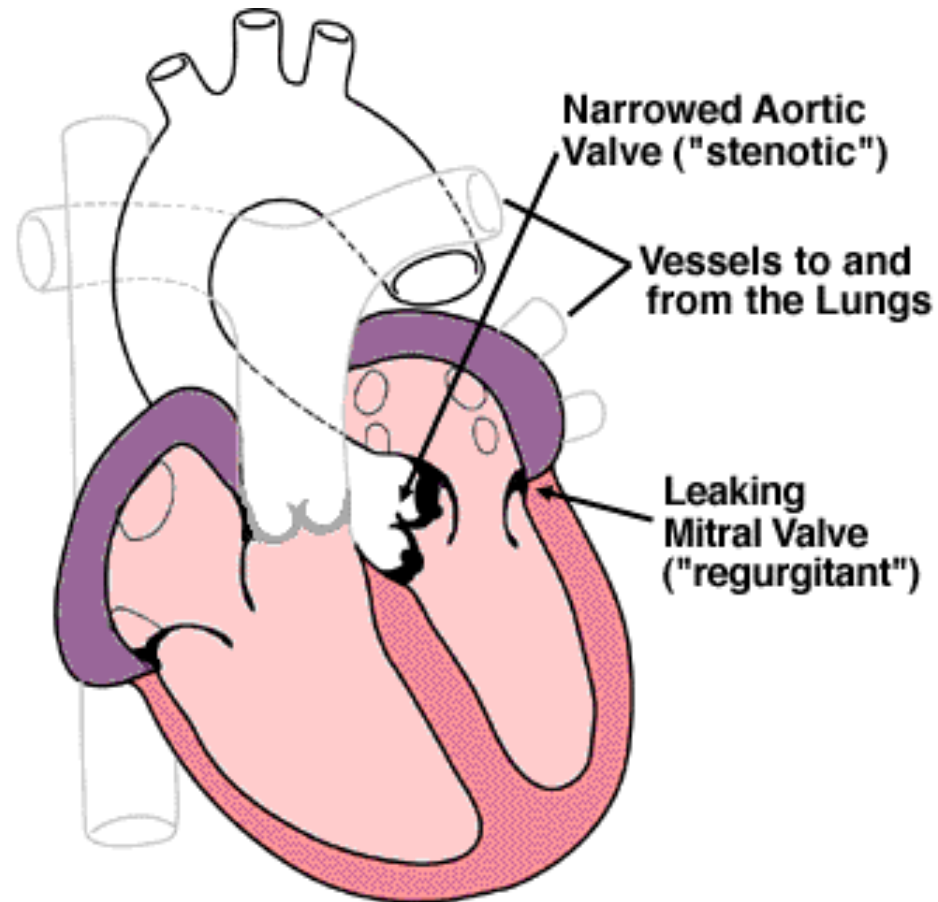
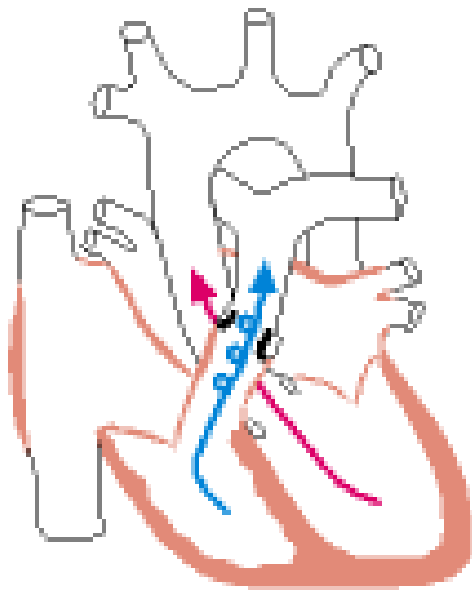
אִיוּשֶׁה סִיסְטוֹלִית

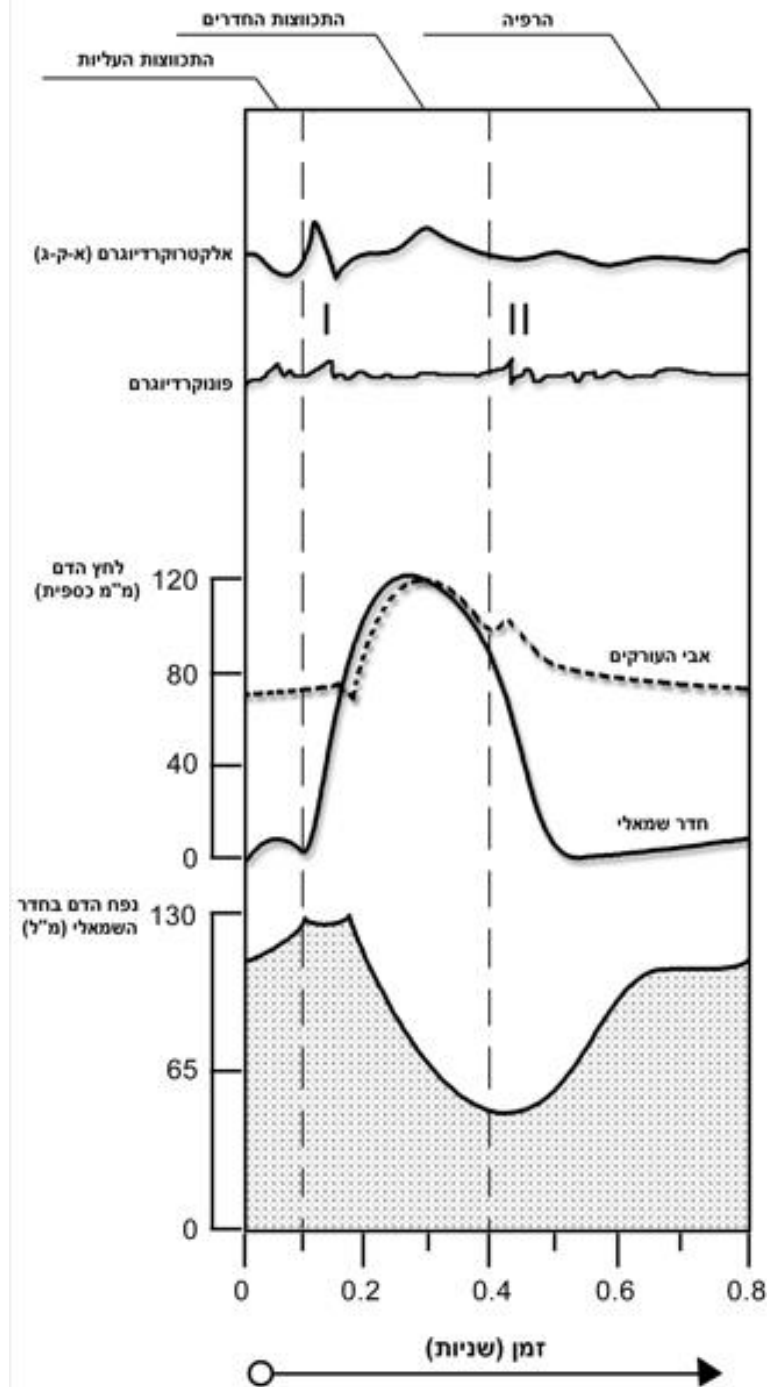


הִיצָרוֹת

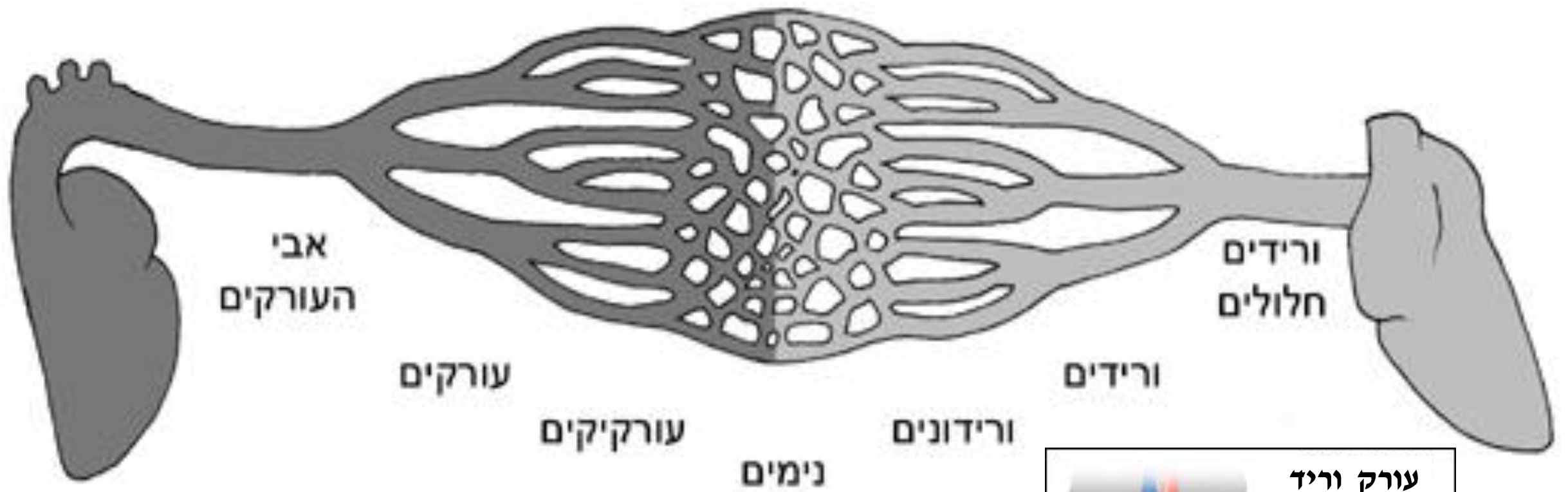
איוושה סיסטולית

- הצרות המסתם הריאתי ומסתם אבי העורקים
- אי ספיקה מסתם עליה שמאל-חדר שמאל

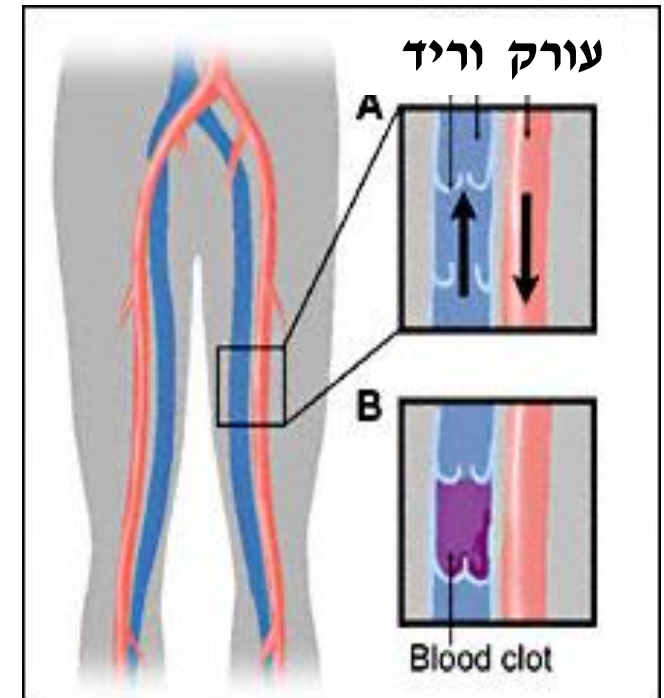




שינויים חשמליים ומכניים בעת מחזור פעילות אחד של הלב



כלי הדם במחזור הדם

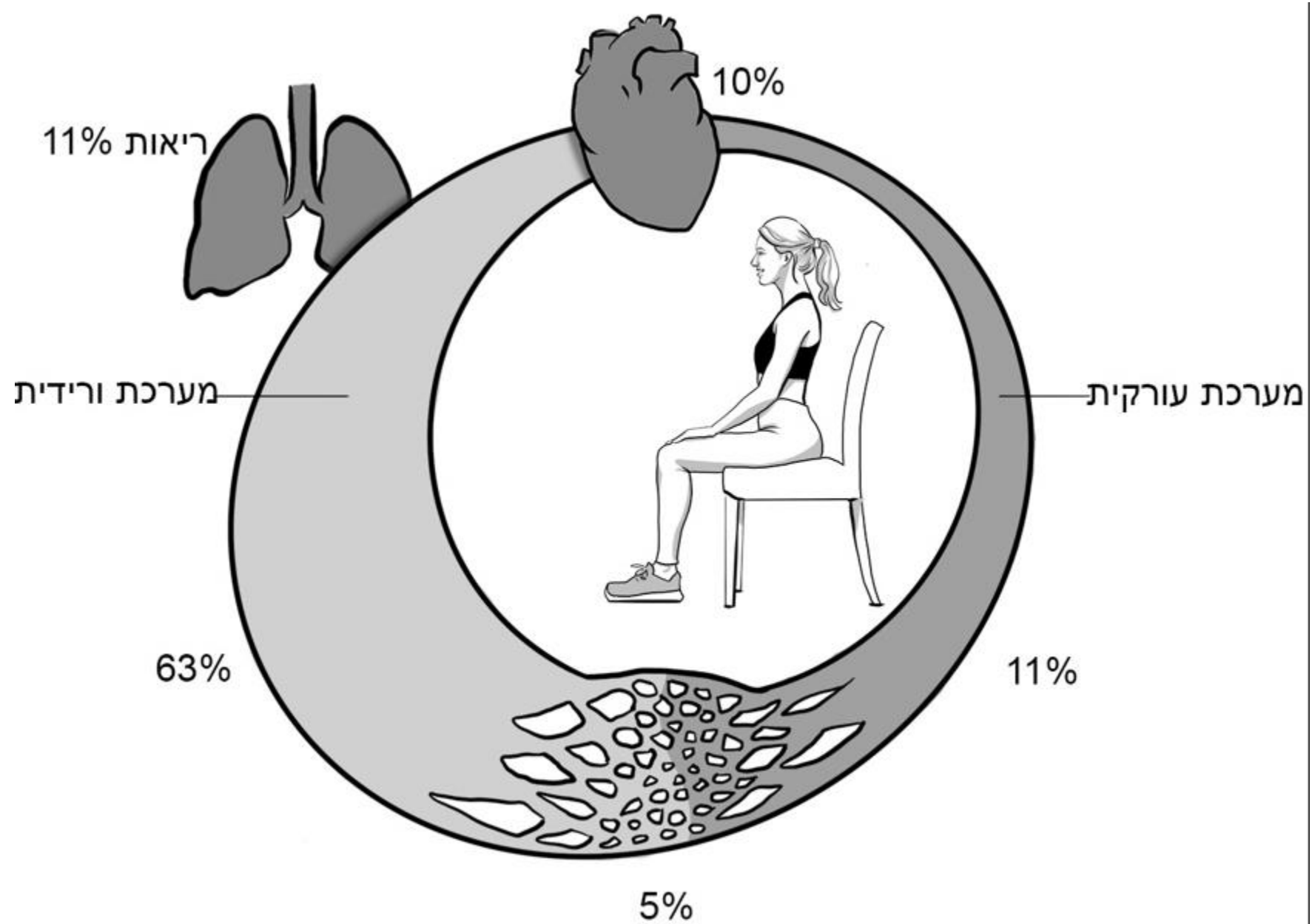


מבנה כלי הדם

עורק

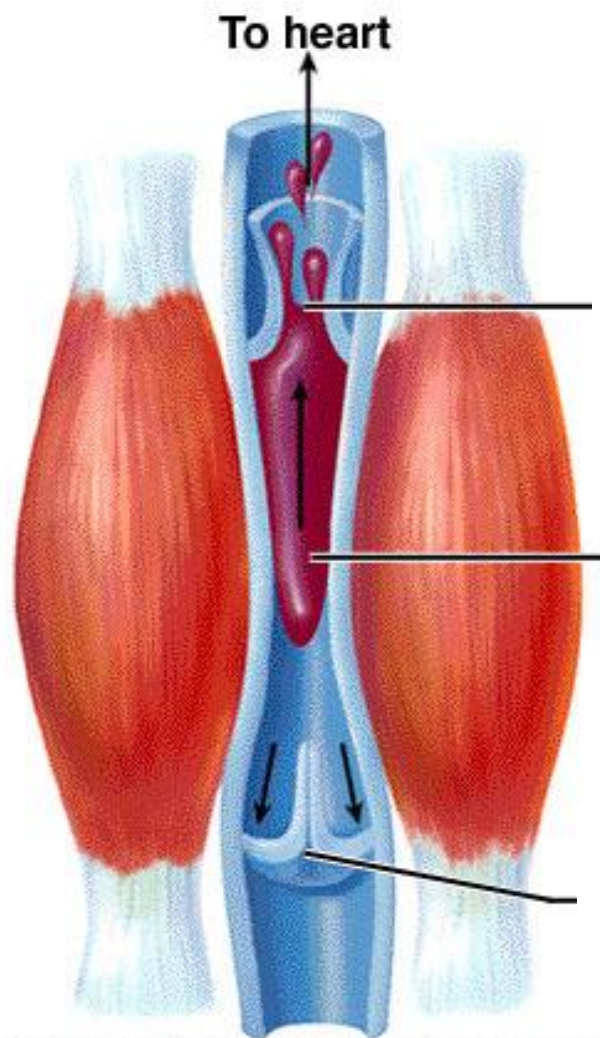
וריד





הוורידים ככלי דם קיבוליים

מסתמי הוורידים

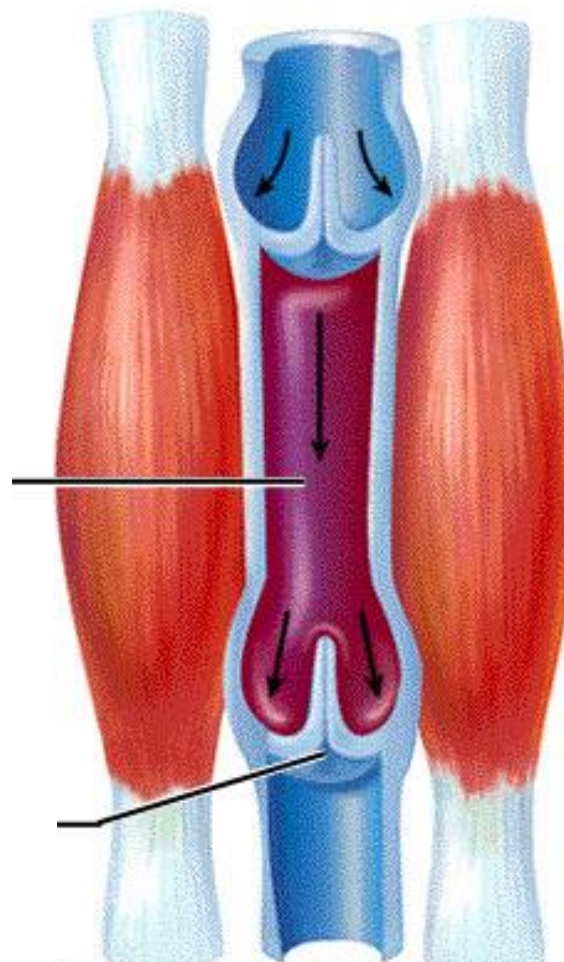


שריר בהתכווצות

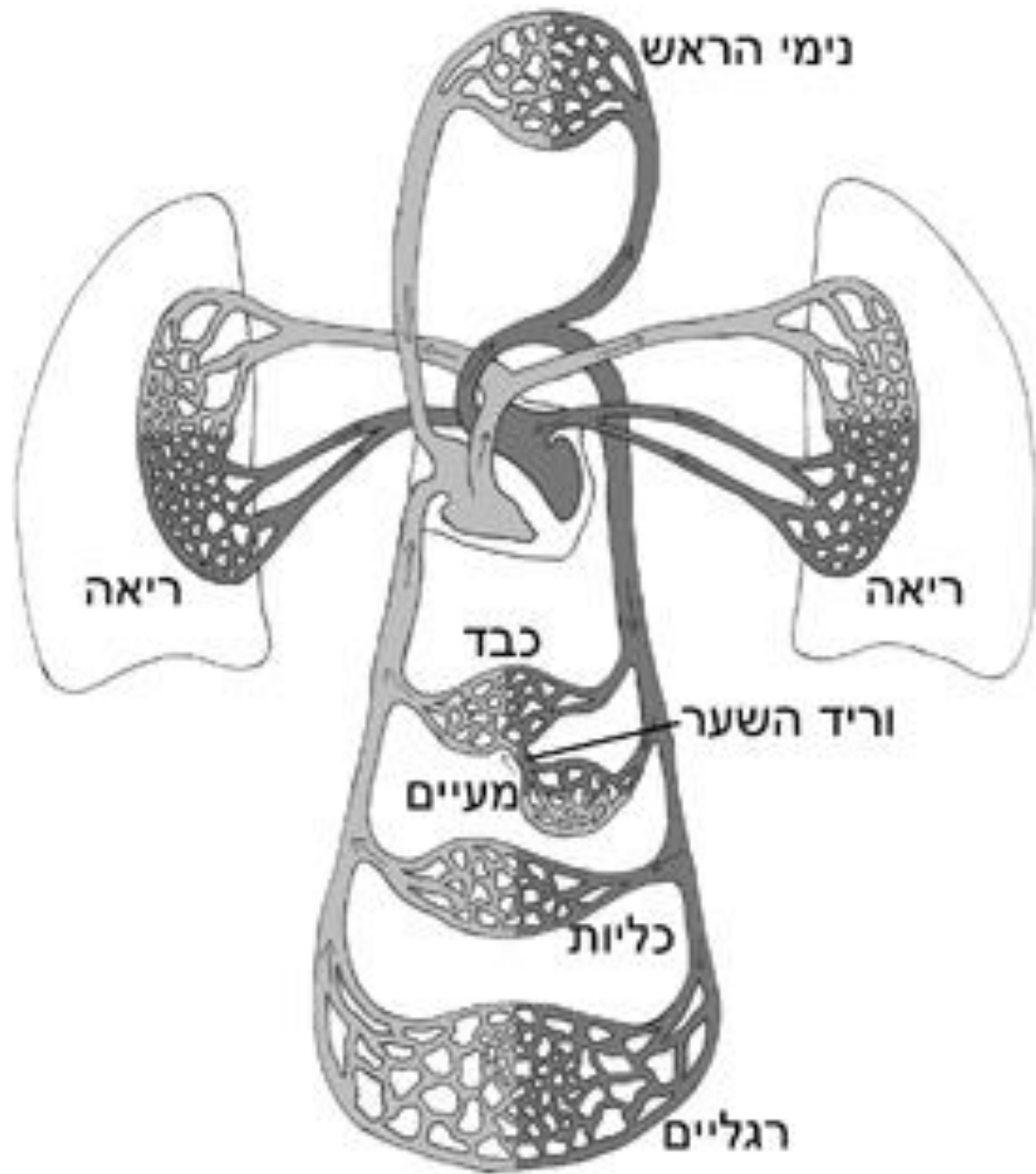
מסתם
פתוח

וריד

מסתם
סגור



שריר בהרפיה

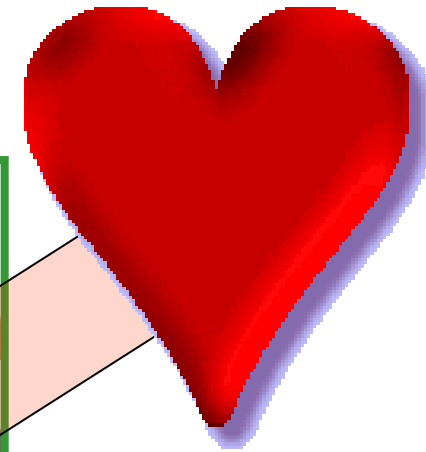


הסידור במקביל של כלי הדם

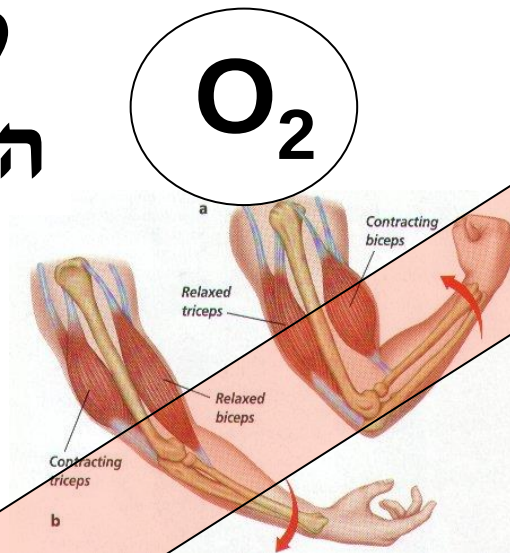
זרימה בטור

כמות החמצן
הולכת ופוחתת

O_2



O_2

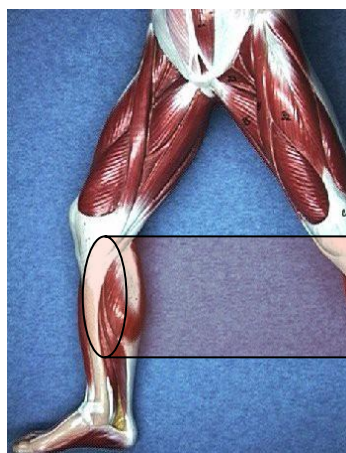
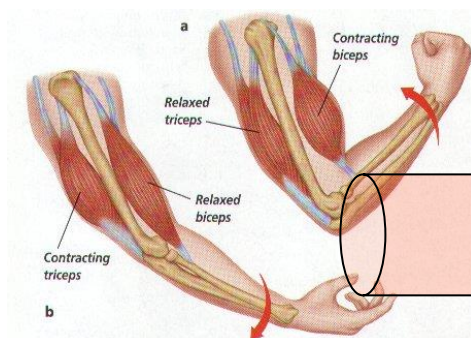
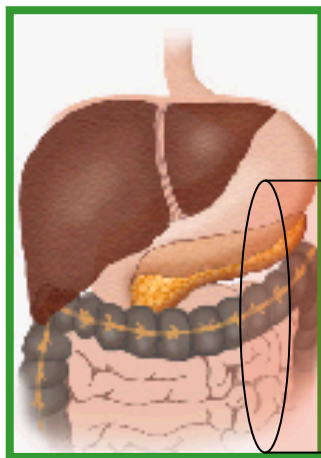


O_2



אין ויסות של כמות
הדם לאיברים השונים
בהתאם לצרכים

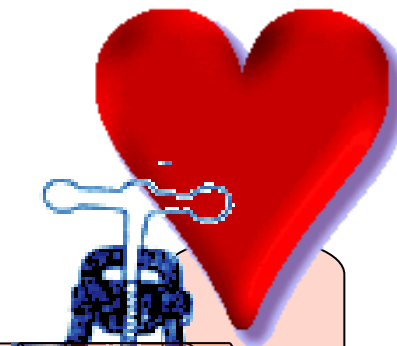
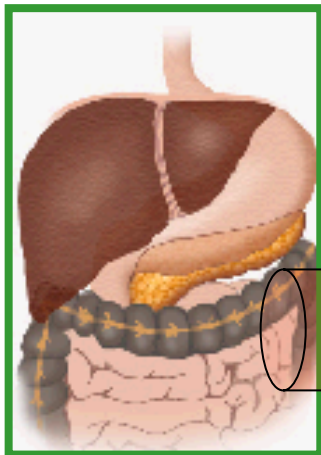




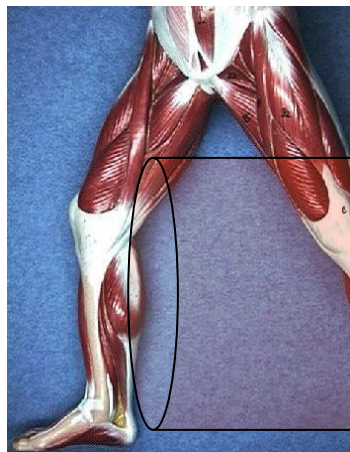
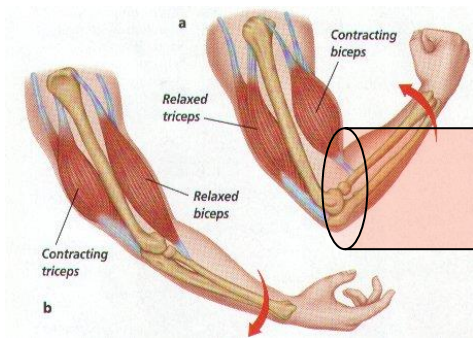
זרימה במקביל



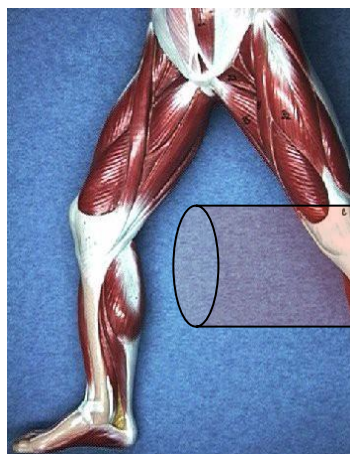
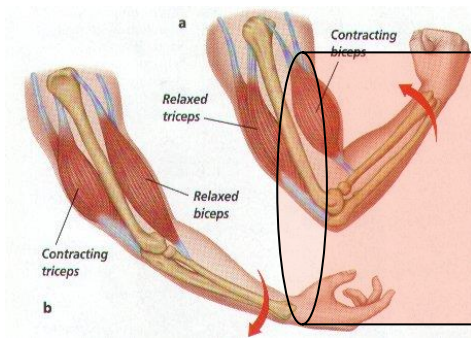
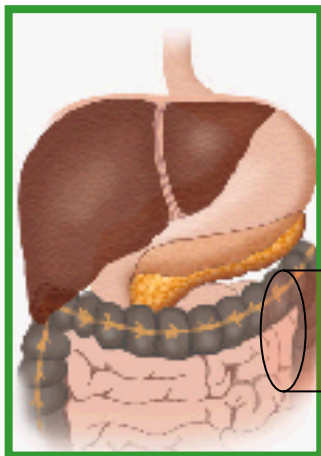
**ויסות כמות הדם
בהתאם לצרכים**



זרימה במקביל



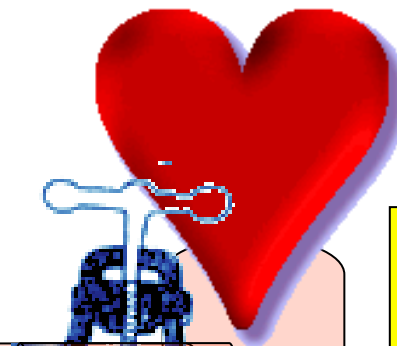
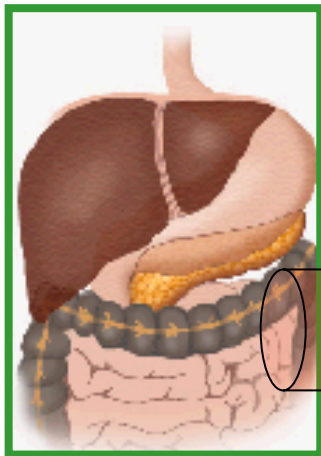
**ויסות כמות הדם
בהתאם לצרכים**



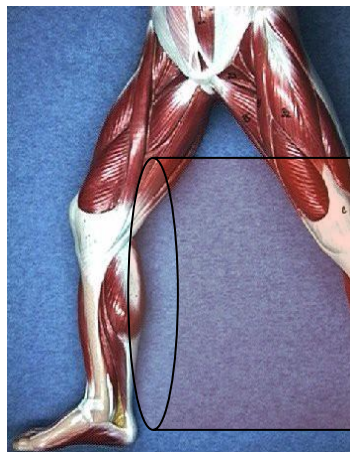
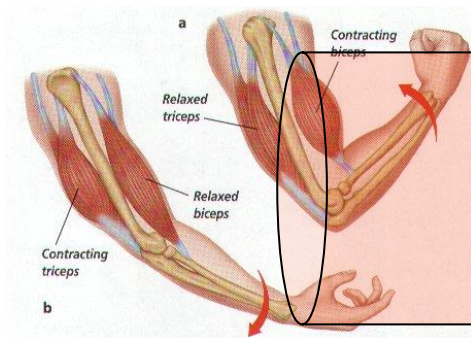
זרימה במקביל



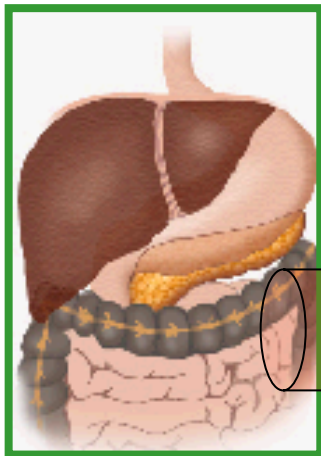
**ויסות כמות הדם
בהתאם לצרכים**



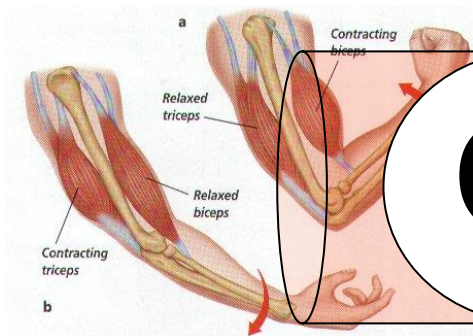
זרימה במקביל



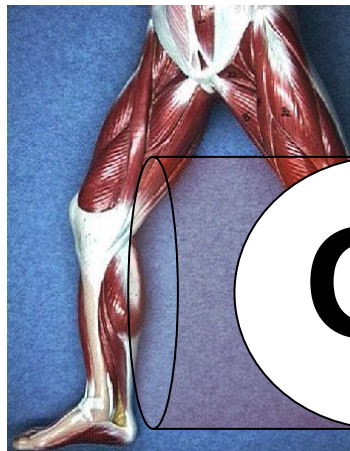
**ויסות כמות הדם
בהתאם לצרכים**



זרימה במקביל



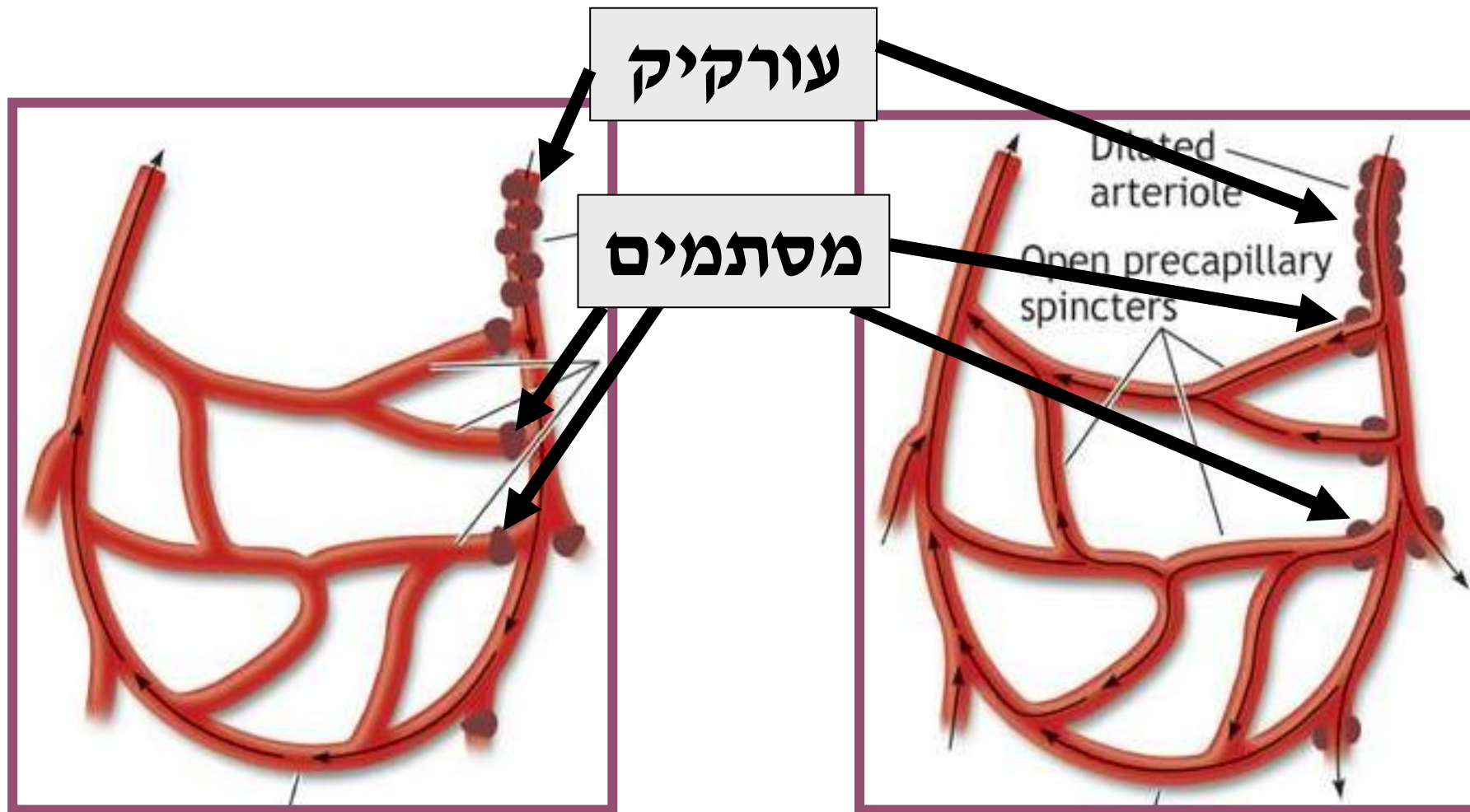
O₂



O₂



**אספקה שווה של
חמצן**

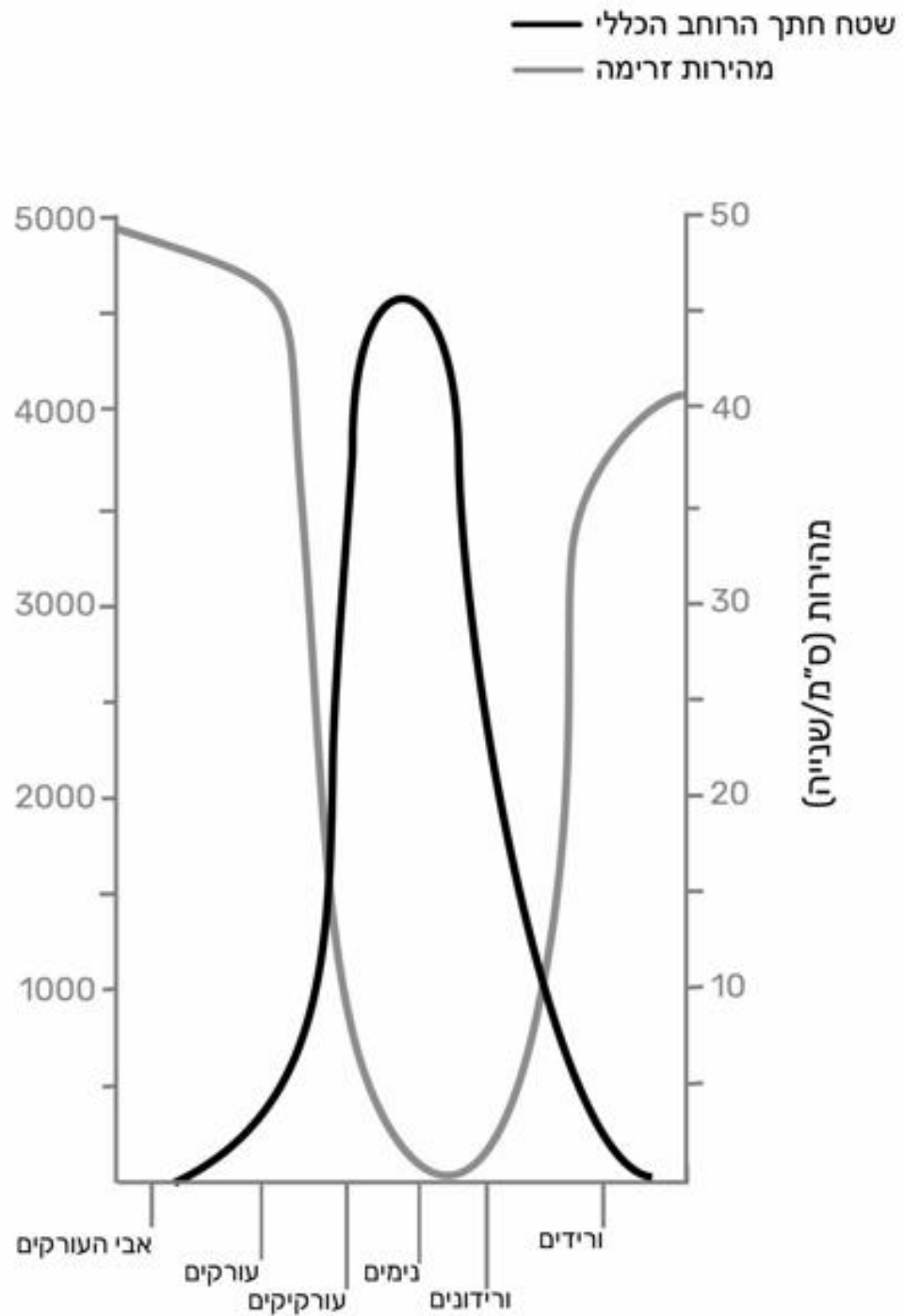


מנוחה

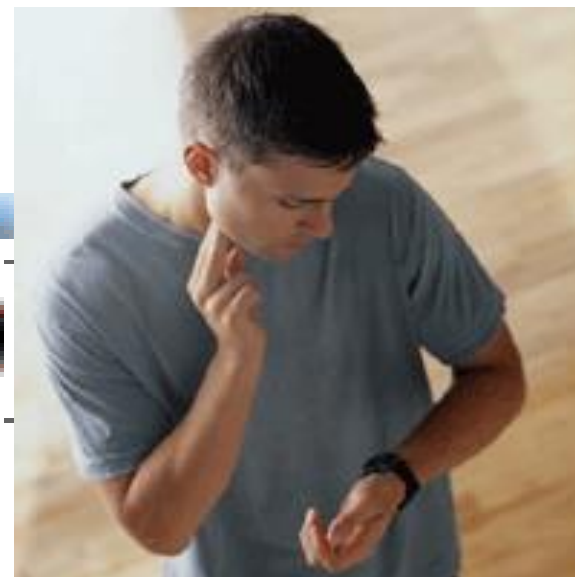
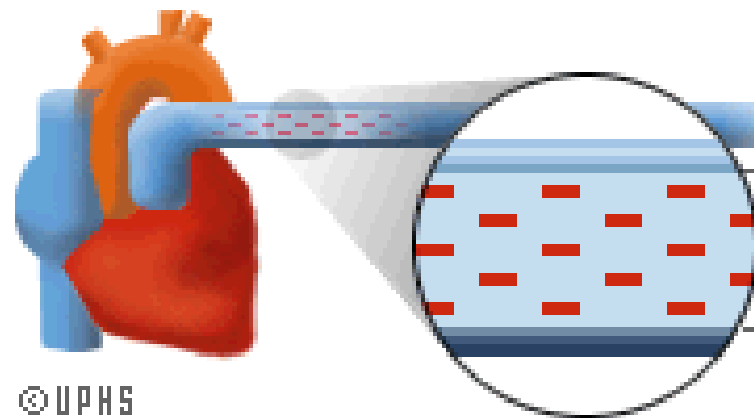
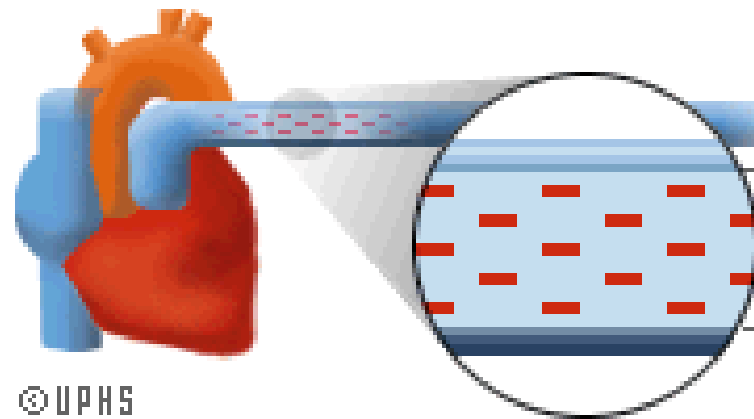
מאמץ

**ויסות זרימת הדם לשרירים ע"י שרירים טבעתיים
בעורקיקים והמסתמים השריריים שבכניסה לנימים**

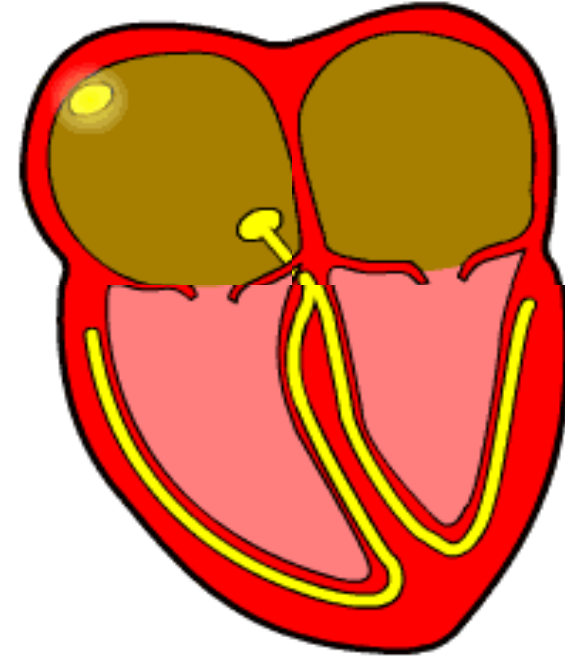
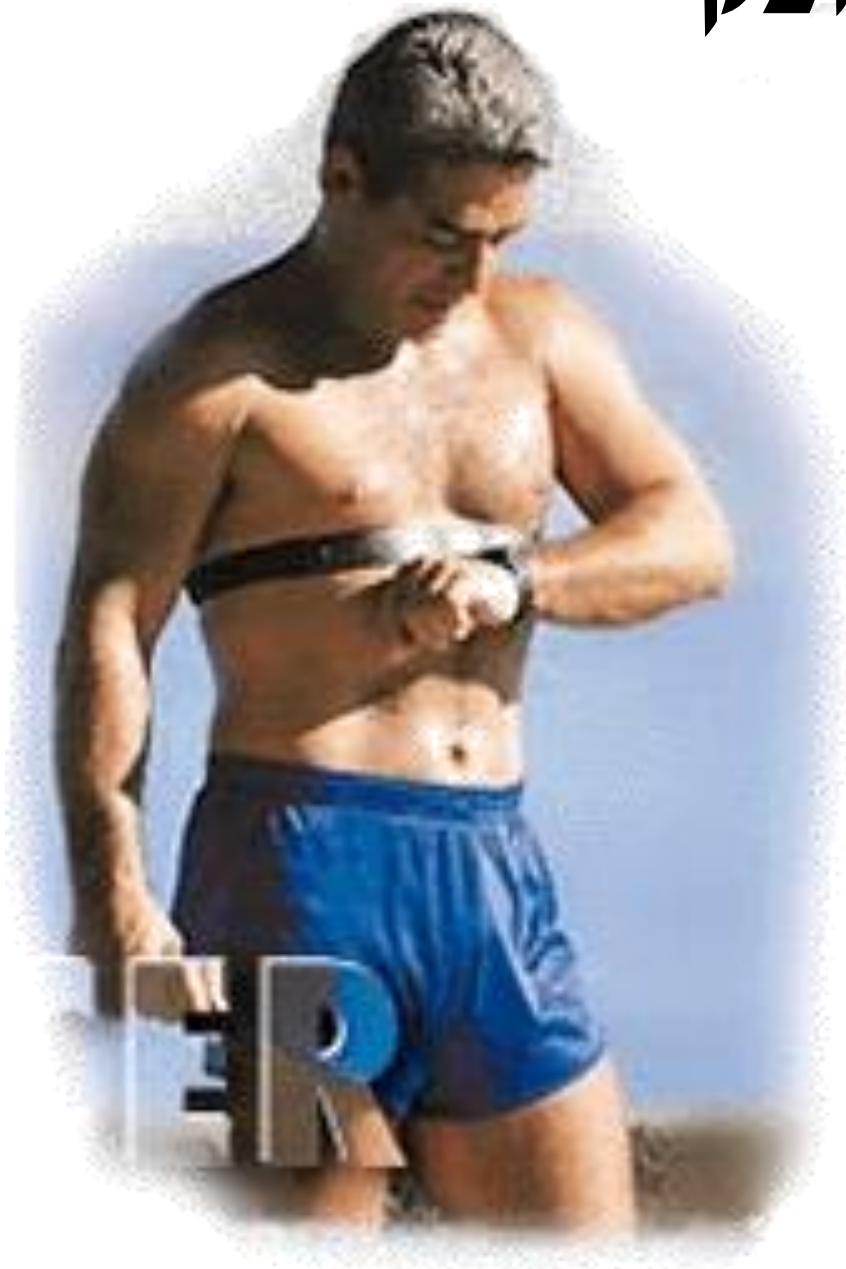
שטח חתך הרוחב של כלי הדם ומהירות זרימת הדם בהם



מדידת קצב הלב - דופק



מדידת קצב הלב - דופק





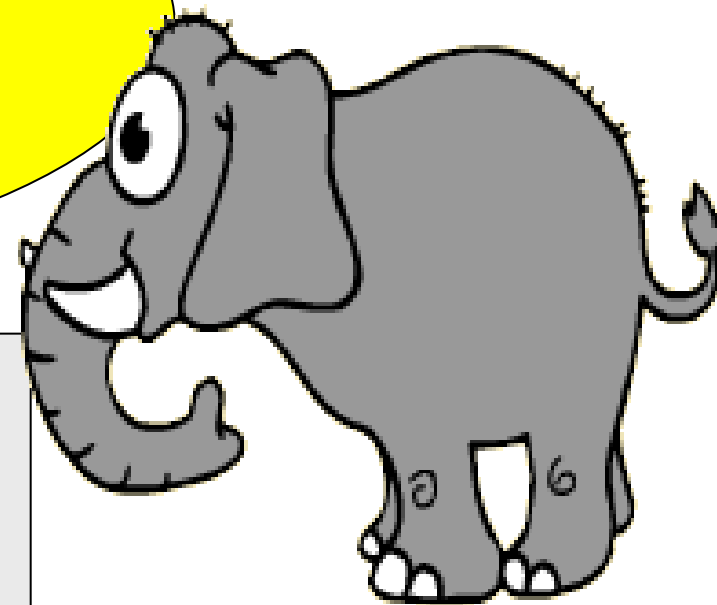
**קצב הלב במנוחה של רוכב האופניים הספרדי מיגיל
אינדוריאן (מנצח הטור-דה-פרנס 5 פעמים 1991-1995)
היה 28 פעימות/דקה**

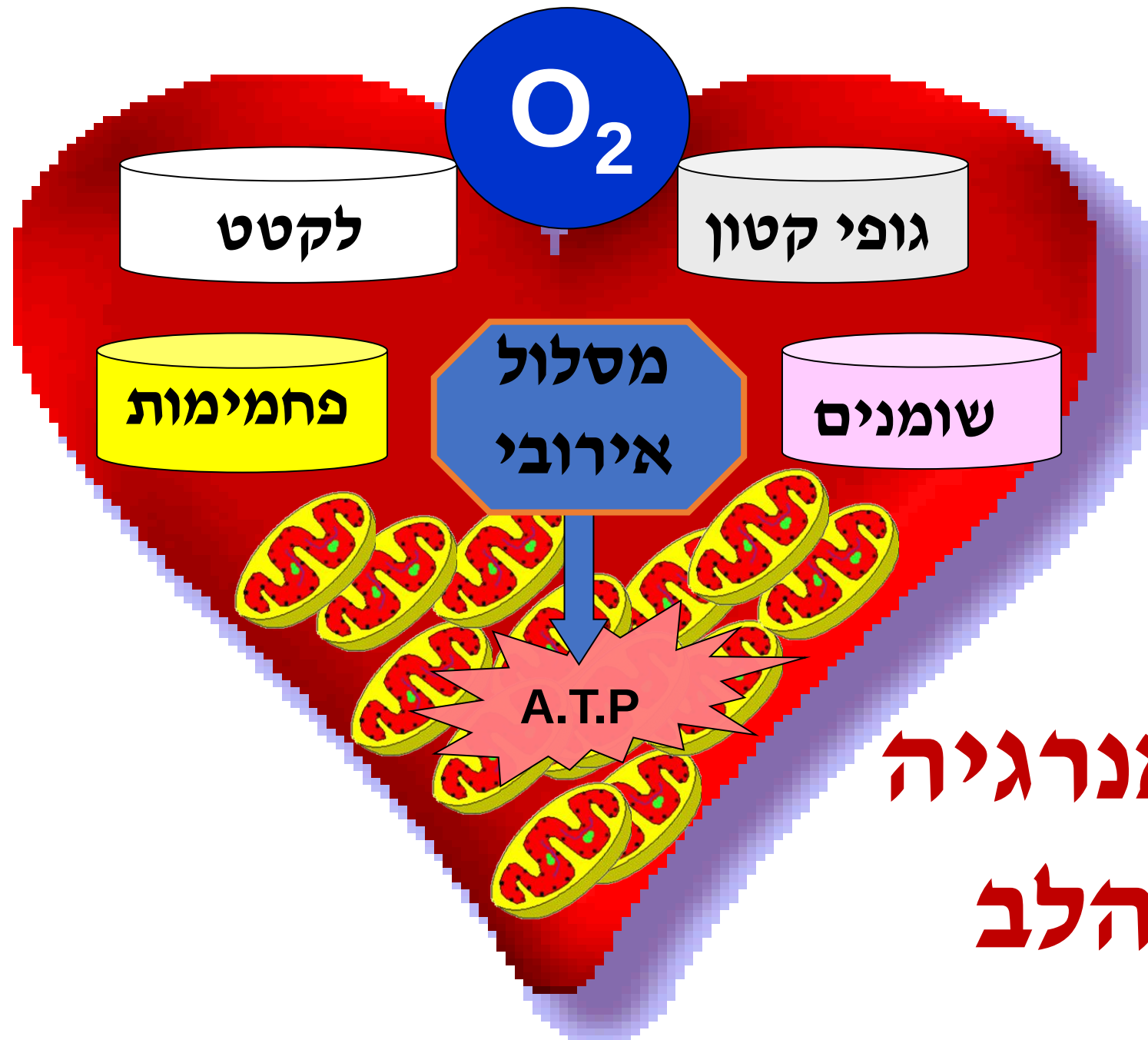
הידעת?!

**הלב של יונקים גדולים פועם
לאט יותר משל יונקים קטנים**

**קצב ליבו של הפיל במנוחה
20-30 פעימות/דקה**

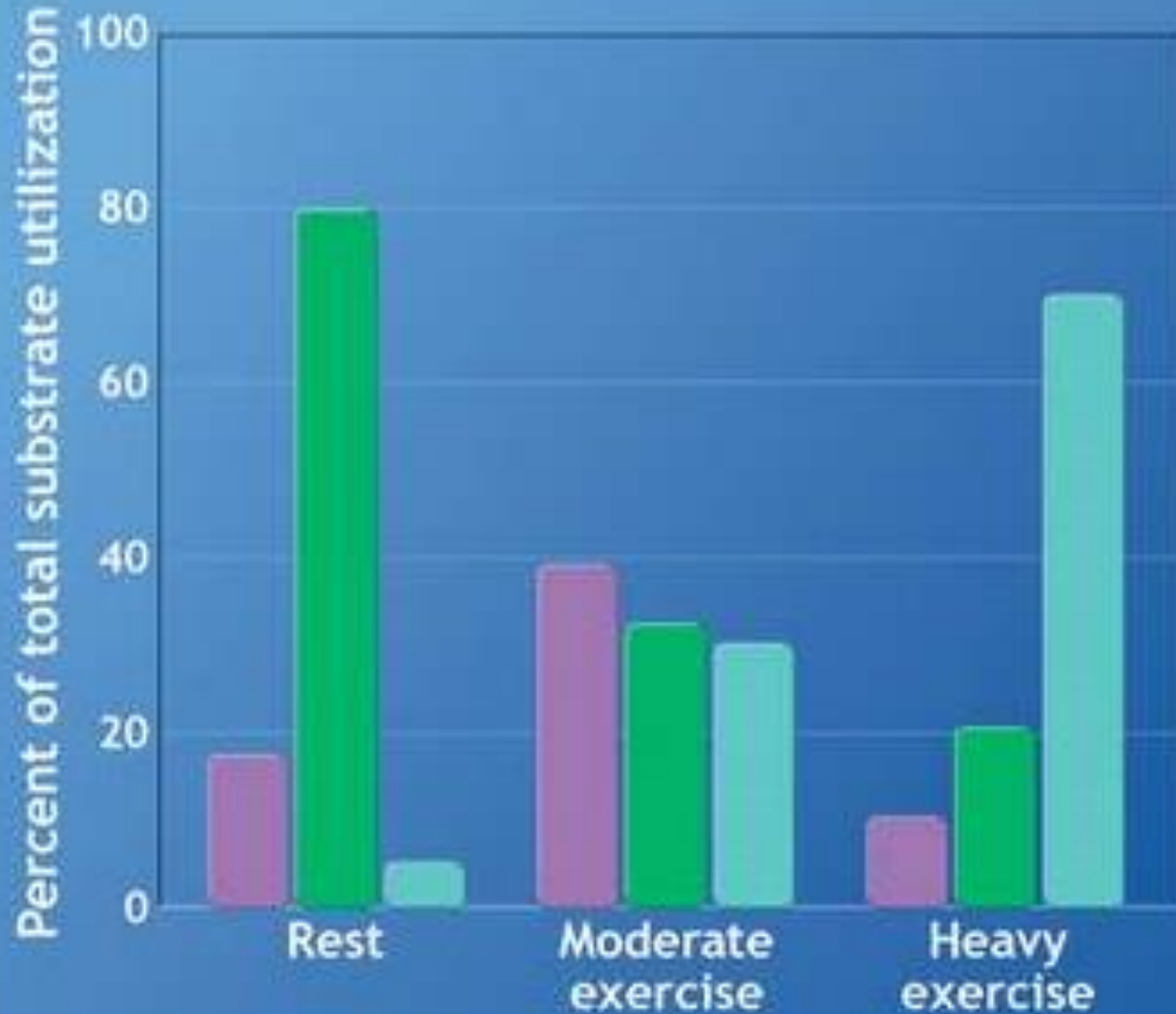
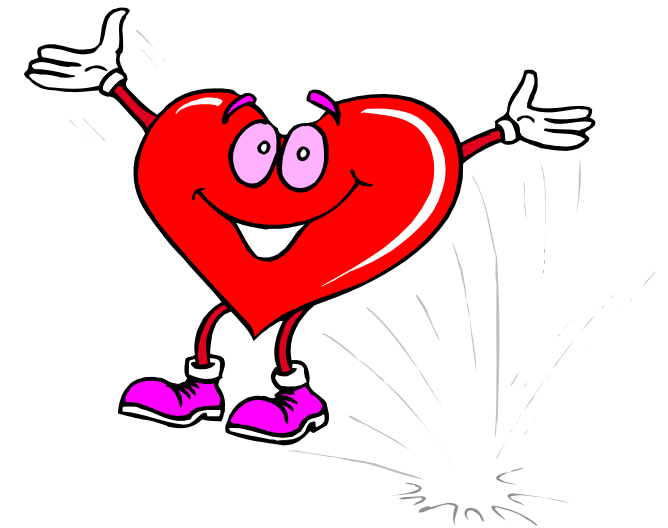
**קצב ליבו של העכבר במנוחה
יותר מ- 500 פעימות/דקה**





אספקת אנרגיה
לשריר הלב

הדלקים המטבוליים
(סובסטרטים) בהם משתמש
שריר הלב לצורך אספקת
אנרגיה במסלול האירובי



Glucose and glycogen Fatty acids Lactate

Figure 15.14. Generalized pattern of substrate use by the myocardium at rest and in relation to exercise intensity.

כלי הדם הכליליים

- אל כל תא שריר בלב מגיע נים אחד
- זרימת הדם הכלילית אינה רציפה
- הזרימה חלה בעת הדיאסטולה
- כאשר השריר בהרפיה



מדדי הלב במנוחה

נפח פעימה

SV

במנוחה כ- 70 מ"ל

קצב לב = דופק

HR

במנוחה כ- 70 פ' / דק'

תפוקת לב

$$Q = SV * HR$$

במנוחה כ- 5 ל' / דק'

נפח הפעימה

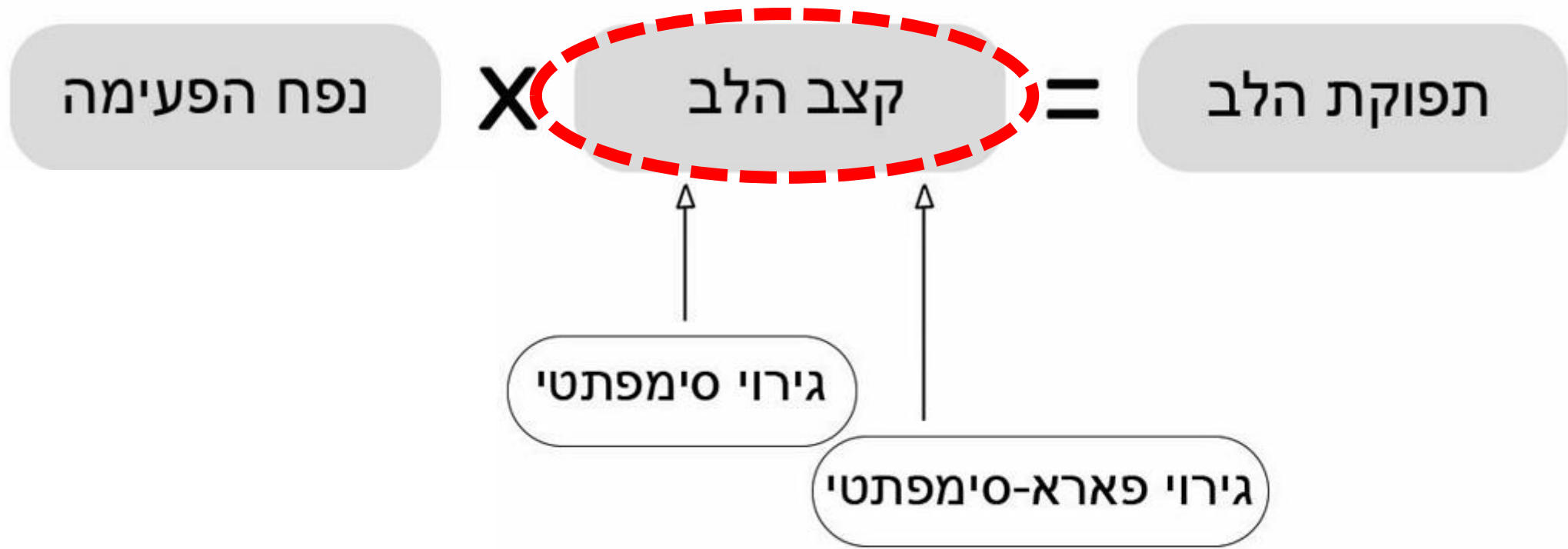
X

קצב הלב

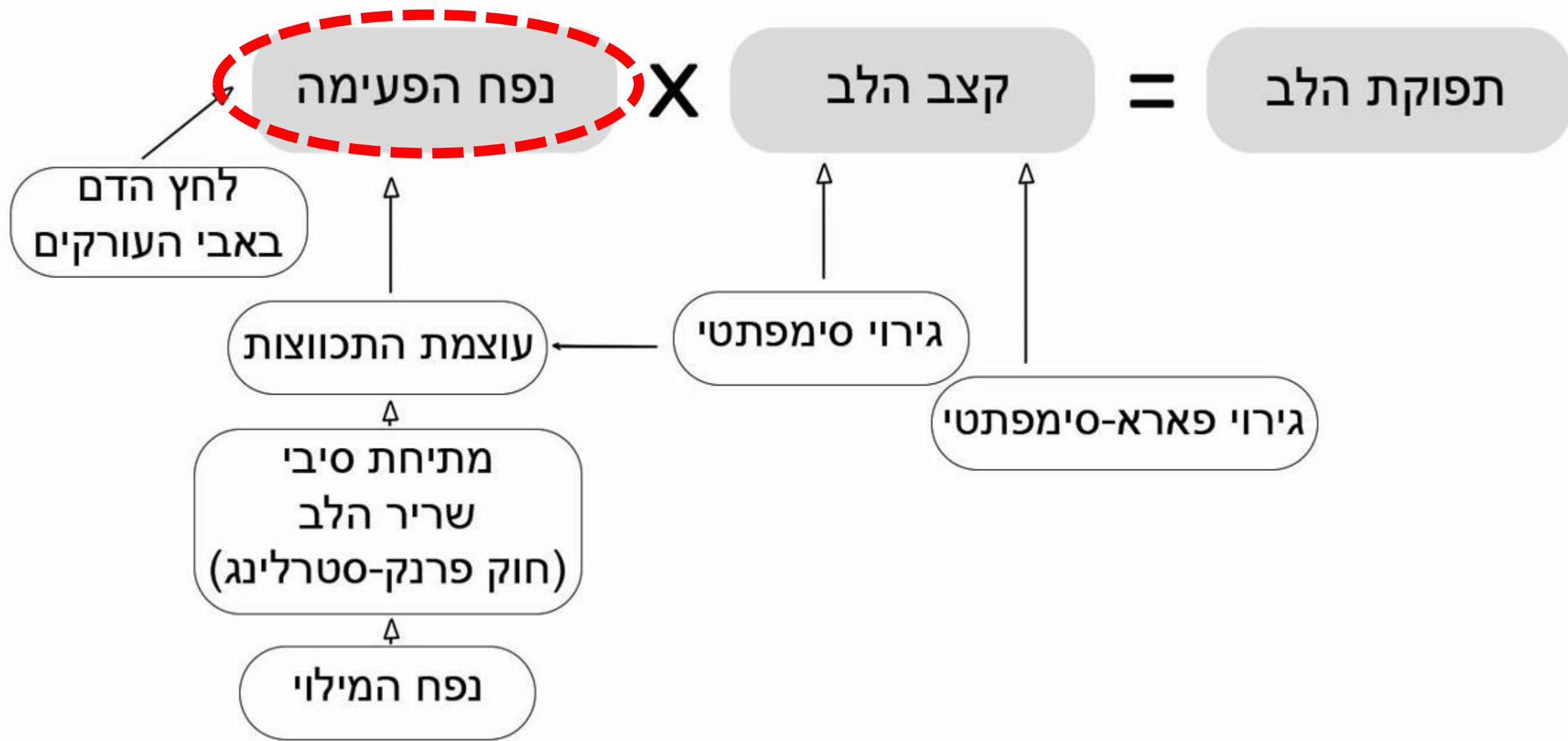
=

תפוקת הלב

- כמות הדם שמוזרקת במשך דקה מכל אחד מחדרי הלב אל העורקים הראשיים (אבי העורקים ועורק הריאה).
- במצב מנוחה תפוקת הלב כ- 5 ליטר/בדקה.
- נקבעת על ידי קצב הלב (HR – heart rate) ונפח הפעימה (SV - Stroke Volume).



- נקבע על-ידי האיזון שבין הזרוע הסימפתטית ובין הזרוע הפארא-סימפתטית דומיננטית ולכן קצב הלב במנוחה נמוך מהקצב העצמי של קוצב הלב הראשי.
- אצל אנשים לא מאומנים 60 - 80 פעימות בדק'. אצל אתלטי סבולת 40 - 55 פעימות בדק'.
- משתנה בהתאם למנח הגוף.
- יש למדוד אותו בסמוך להתעוררות, בישיבה לאחר לפחות 5 דקות של ישיבה נוחה ורגועה.



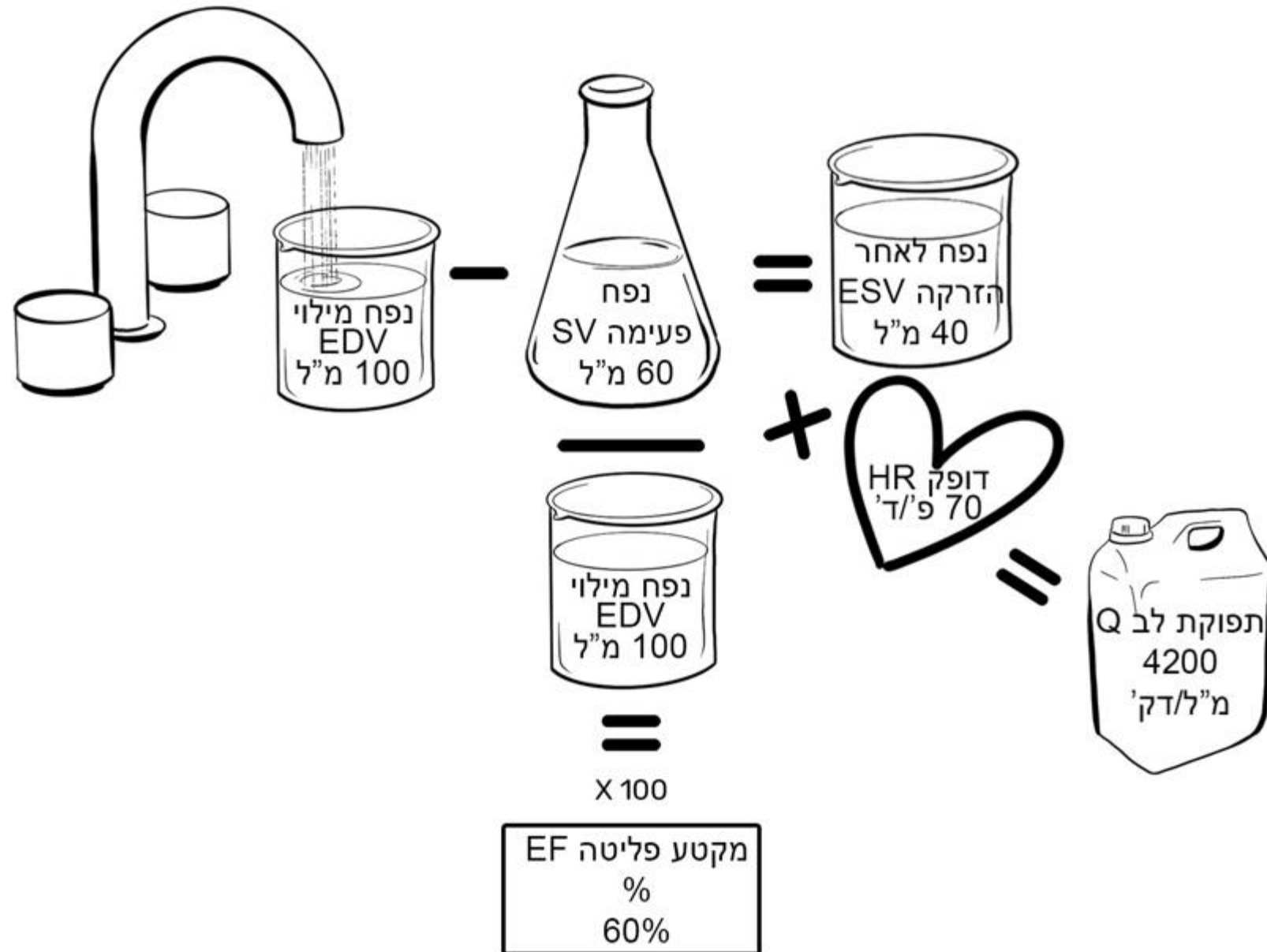
נפח הפעימה

- כמות הדם המוזרקת מחדרי הלב בכל התכווצות של הלב.
- ההפרש שבין נפח המילוי לבין נפח החדר בסוף הסיסטולה
- במצב מנוחה נקבע על-ידי שלושה גורמים:

1. נפח המילוי בסוף שלב הדיאסטולה (החזר ורידי, חוק פרנק שטרלינג)
2. לחץ הדם באבי העורקים (משך הזמן להתפתחות לחץ ההזרקה)
3. יכולת ההתכווצות של שריר הלב (תקינות השריר והגירוי הסימפטי)

- במצב מנוחה בעמידה אצל לא מאומן נפח הפעימה 60 מ"ל. אצל אתלטי סבולת 80 - 110 מ"ל.
- מקטע הפליטה משמש כמדד ליכולת ההתכווצות של הלב. טווח הערכים התקין הינו 50-70%.

חישוב נפח הפעימה, מקטע הפליטה ותפוקת הלב



מדדי הלב במאמץ

נפח פעימה

SV

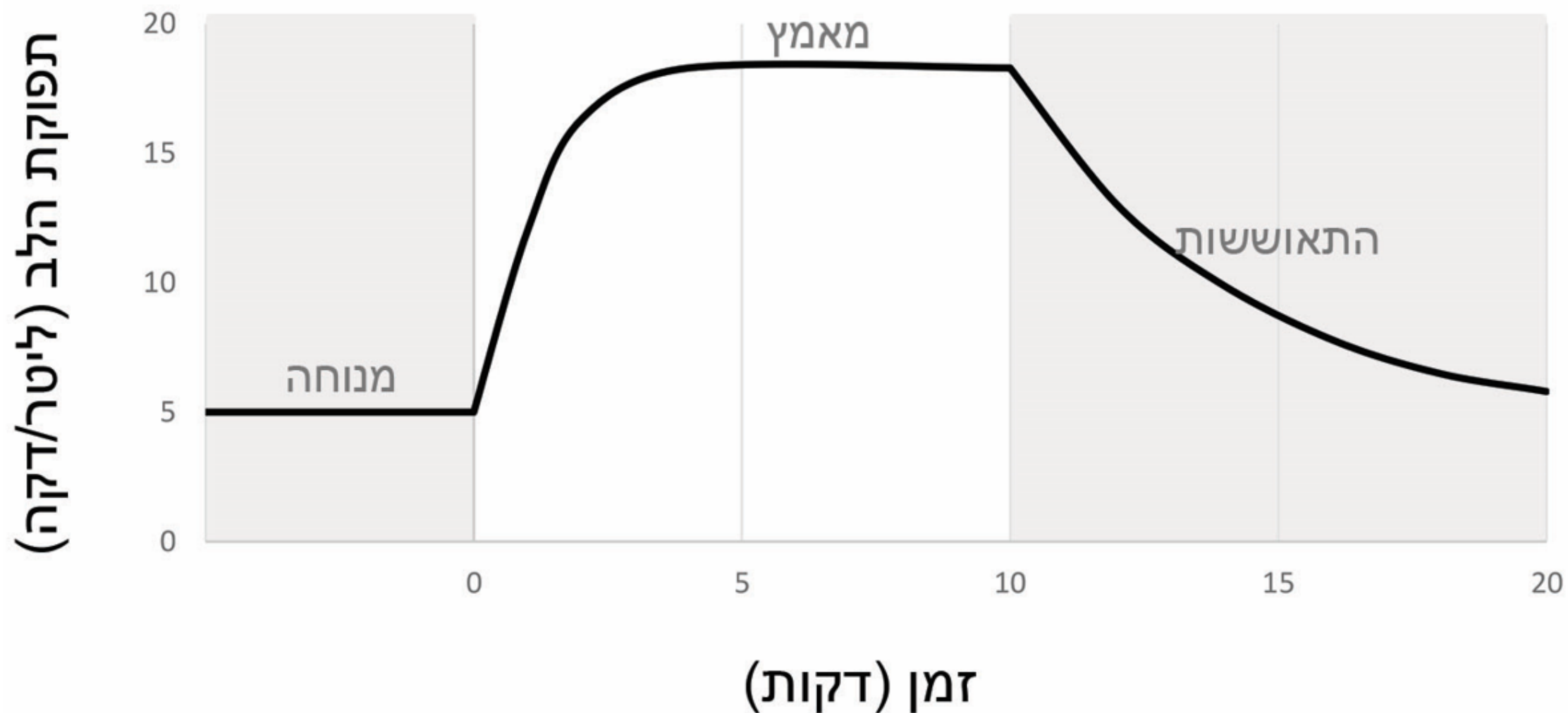
קצב לב = דופק

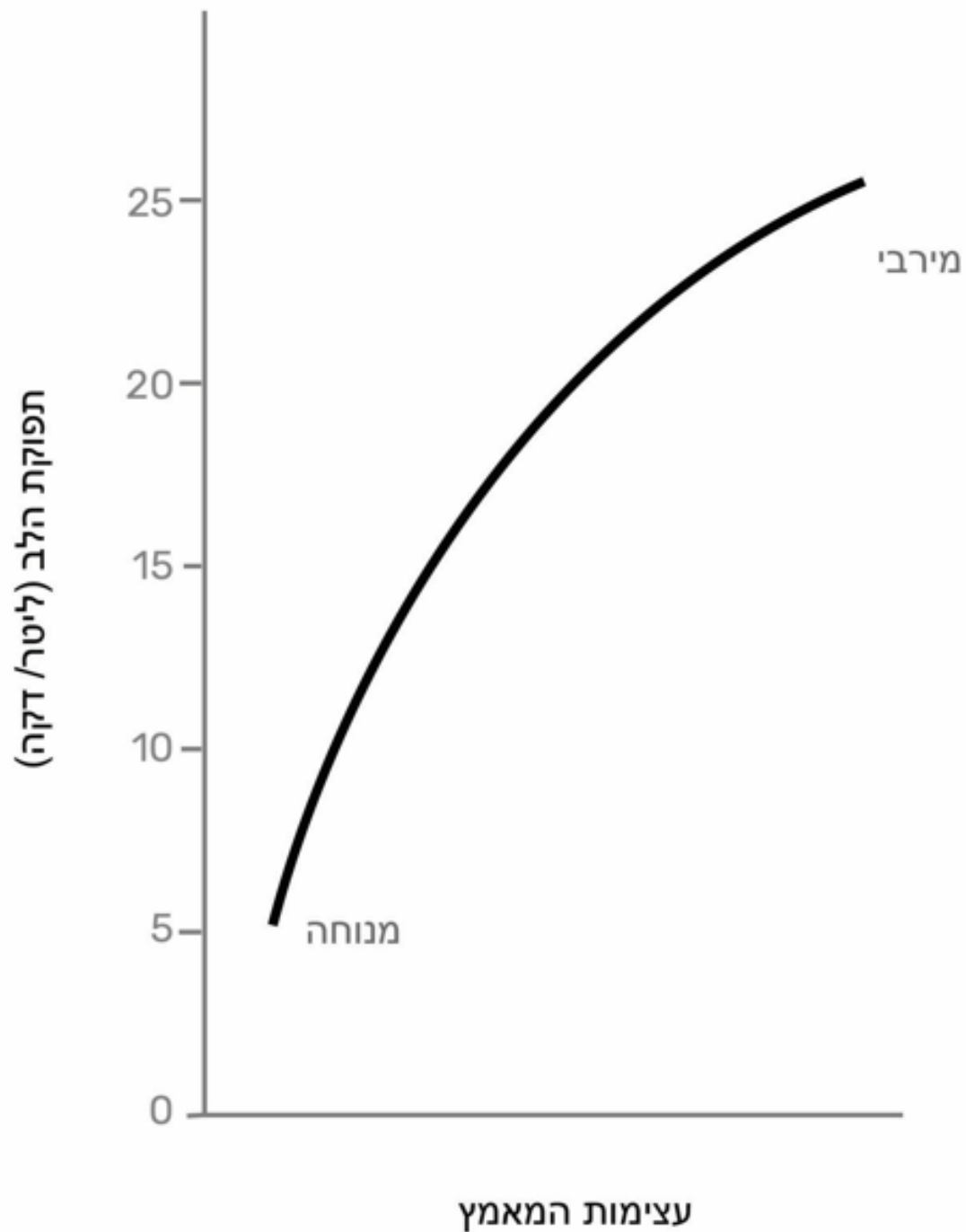
HR

תפוקת לב

$$Q = SV * HR$$

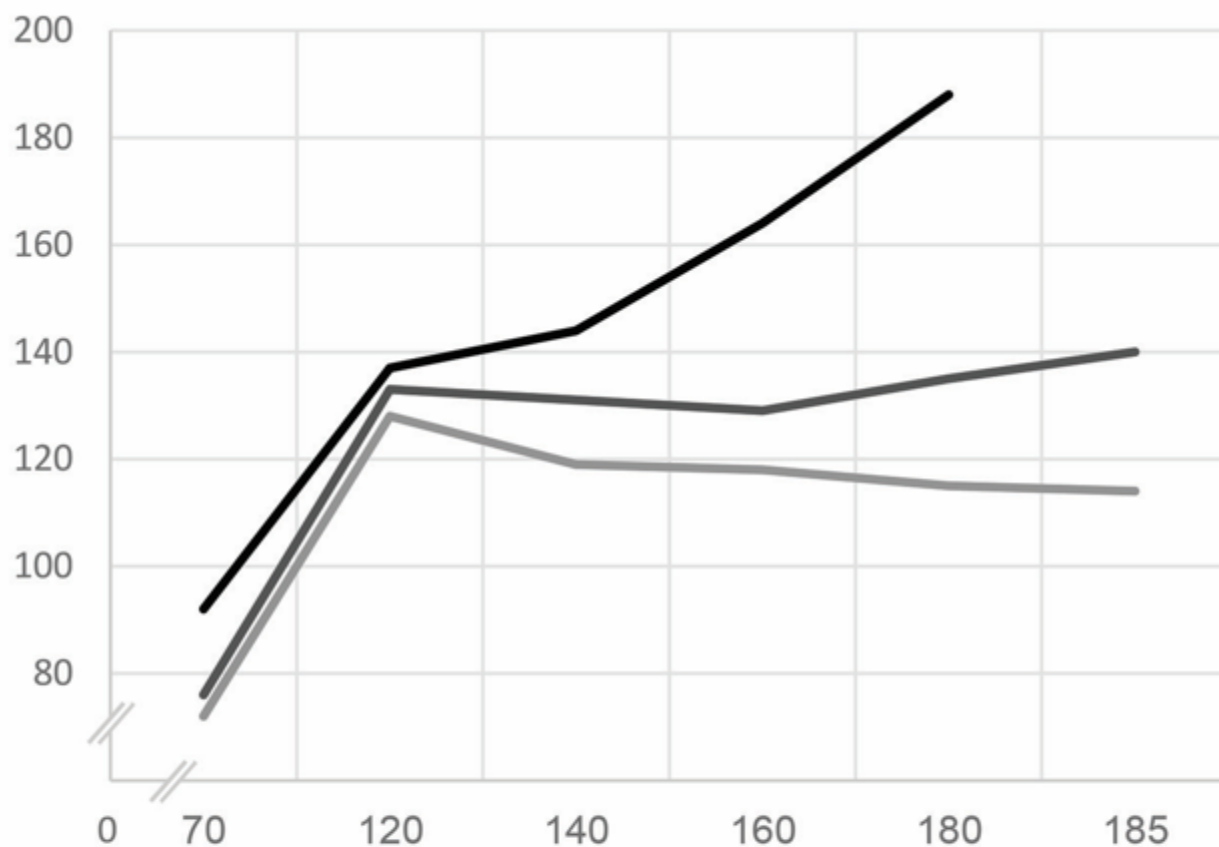
השינוי בתפוקת הלב במהלך מאמץ תת-מרבי





**השינוי בתפוקת הלב בעת
ביצוע מאמץ מדורג עד
למאמץ מרבי**

נפח פעימה (מ"ד)

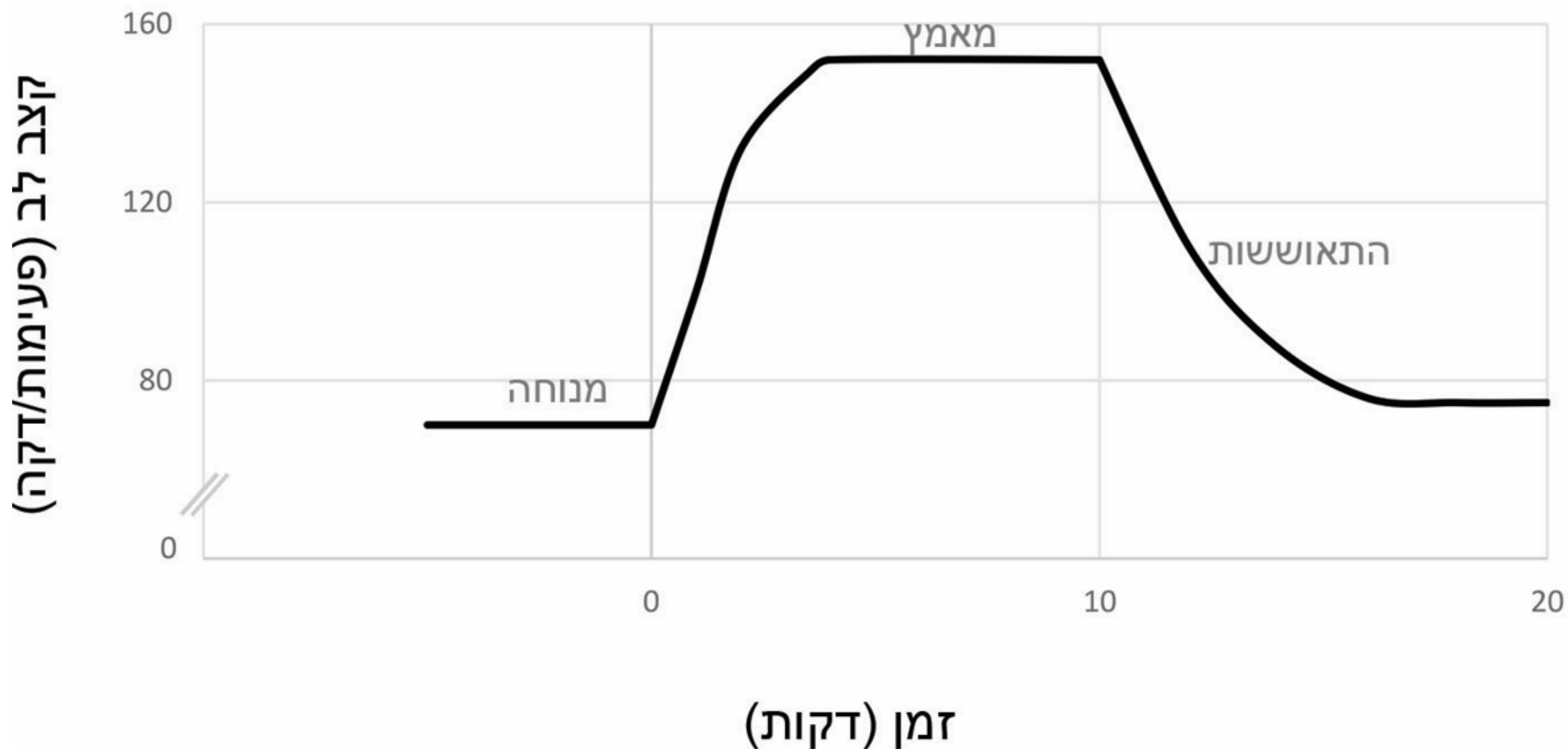


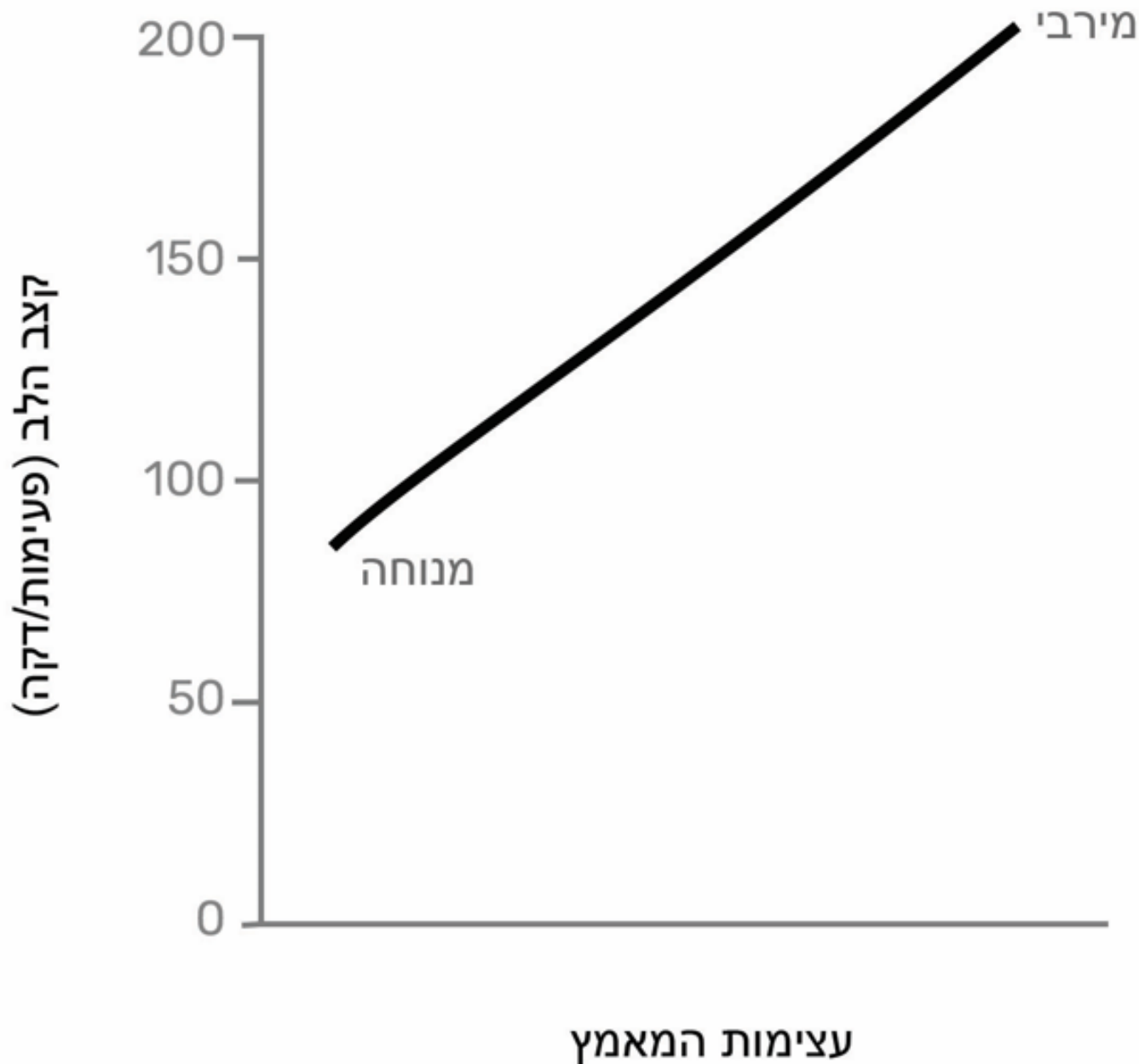
עצימות מאמץ ~ דופק (פעימות/דקה)

— לא מאומן — מאומן — ספורטאי עילית

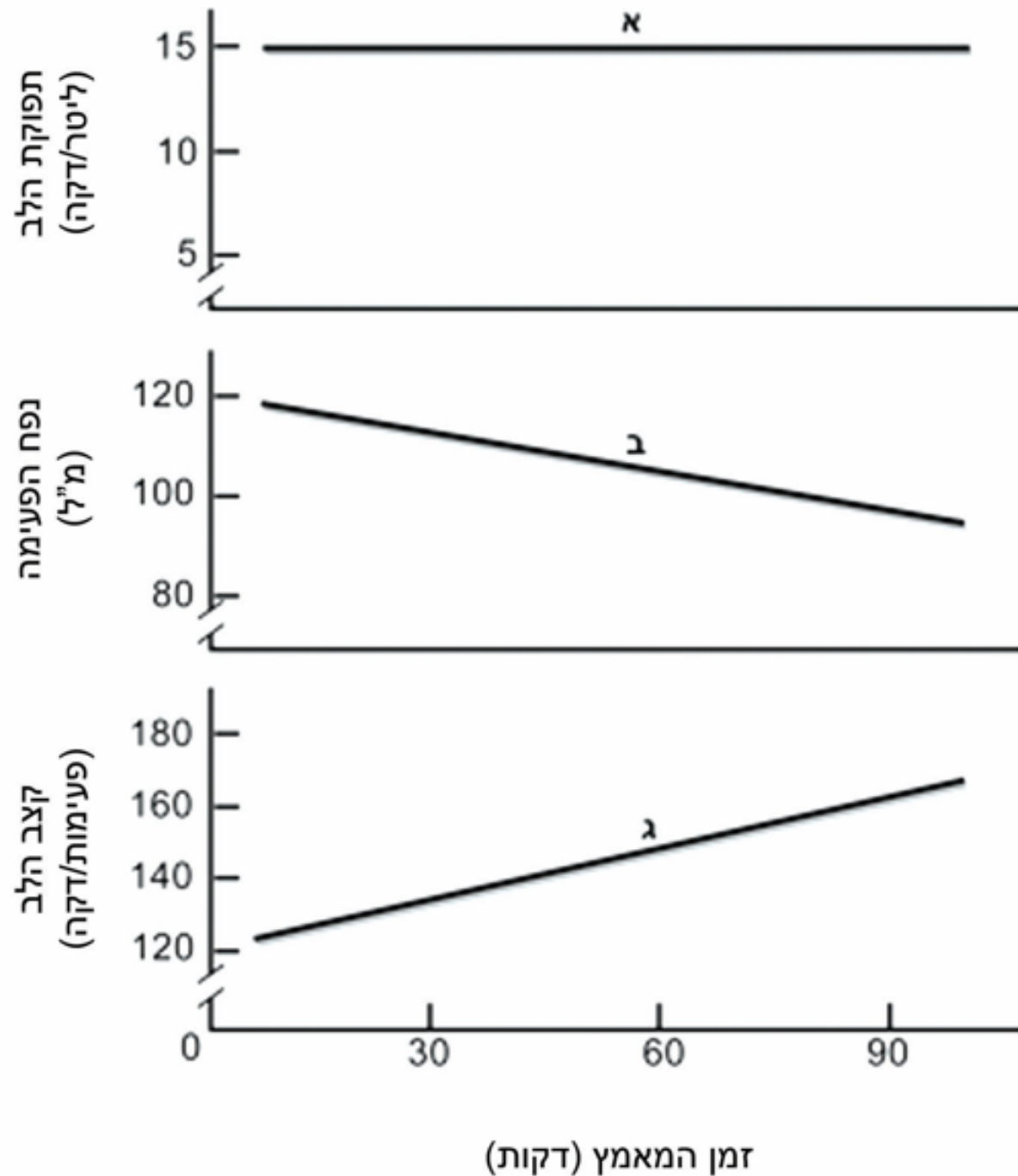
**השינוי בנפח הפעימה
בעת ביצוע מאמץ
מדורג עד למאמץ מרבי**

השינוי בקצב הלב במהלך מאמץ תת-מרבי





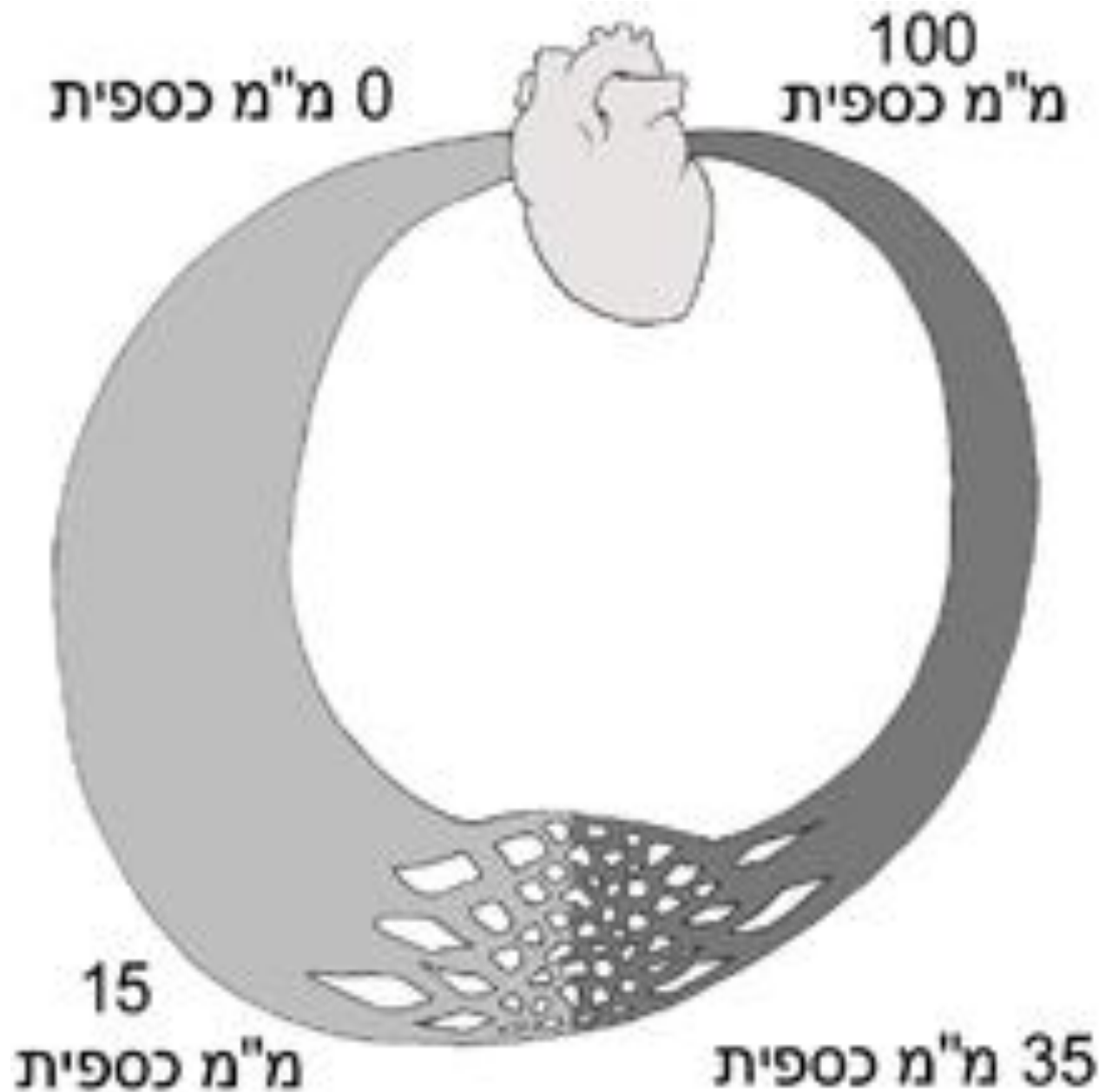
**השינוי בקצב הלב
במהלך מאמץ מדורג
עד מאמץ מרבי**



**תגובת תפוקת הלב,
נפח הפעימה וקצב הלב
במאמץ ממושך**

ההחזר הווריד ללב

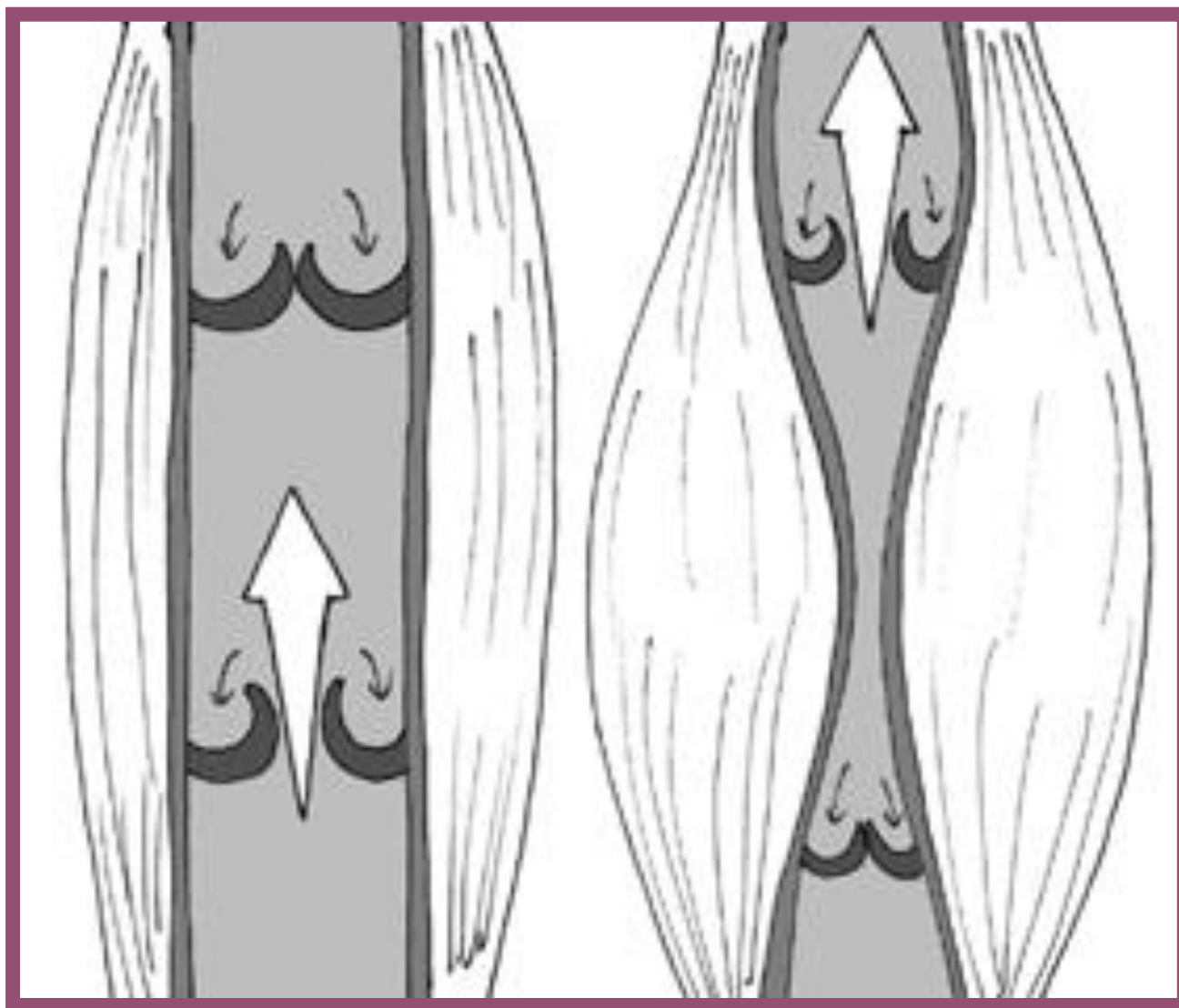
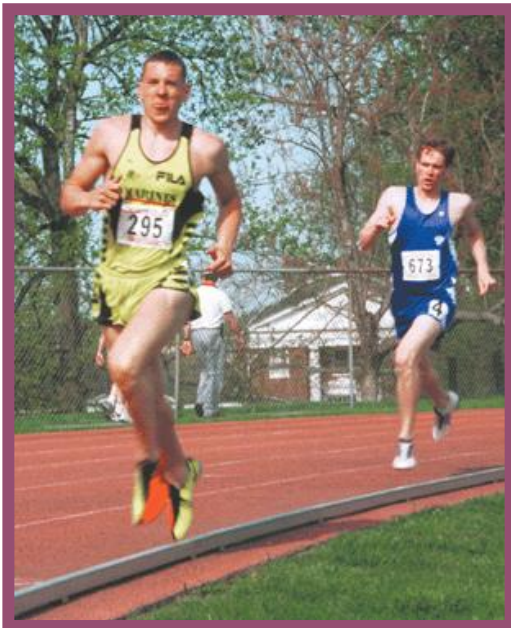
מפל הלחצים בהחזר הווריד



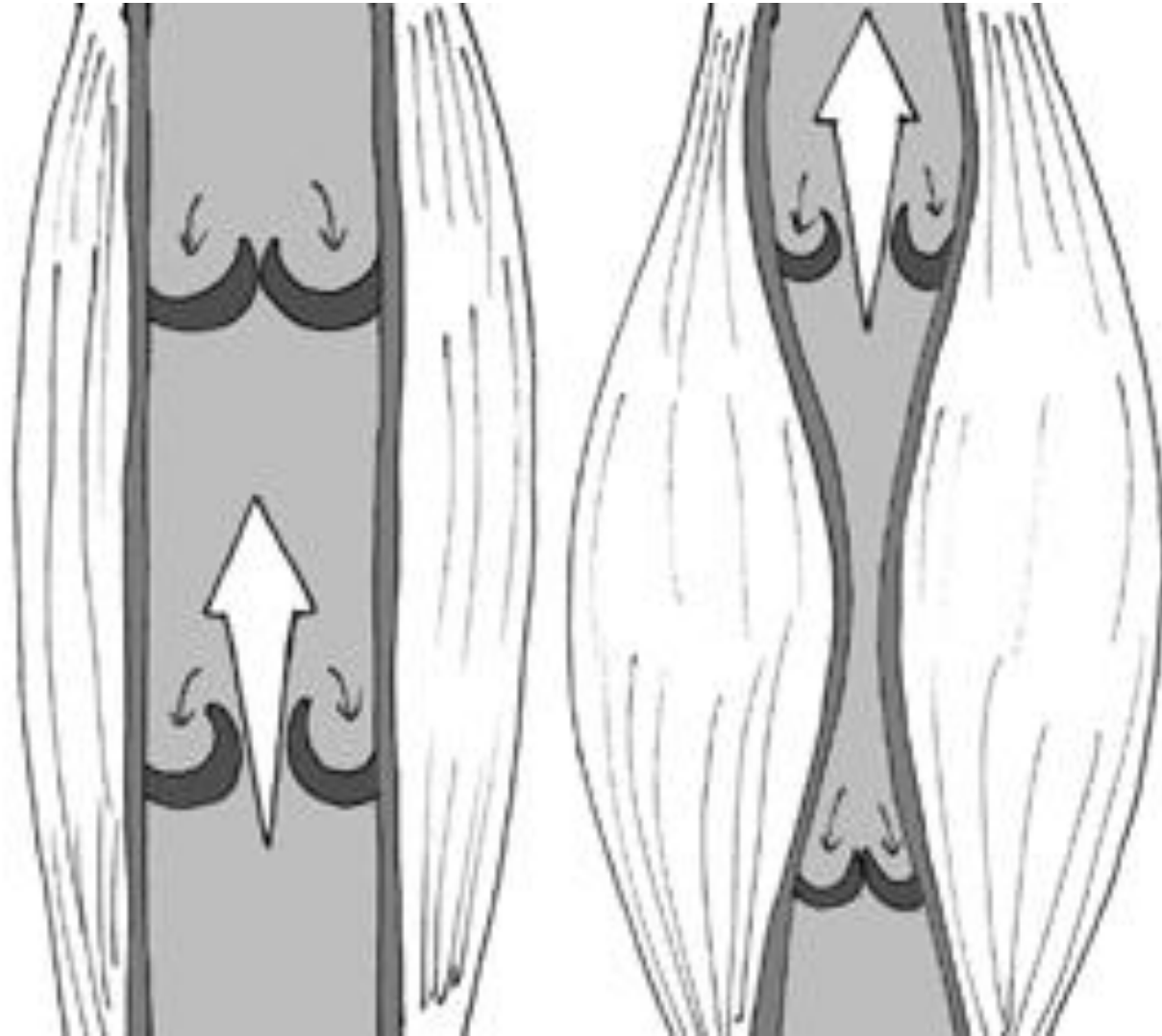
רפלקס התכווצות הורידים-

הקטנת יכולת הקיבול ודחיפת

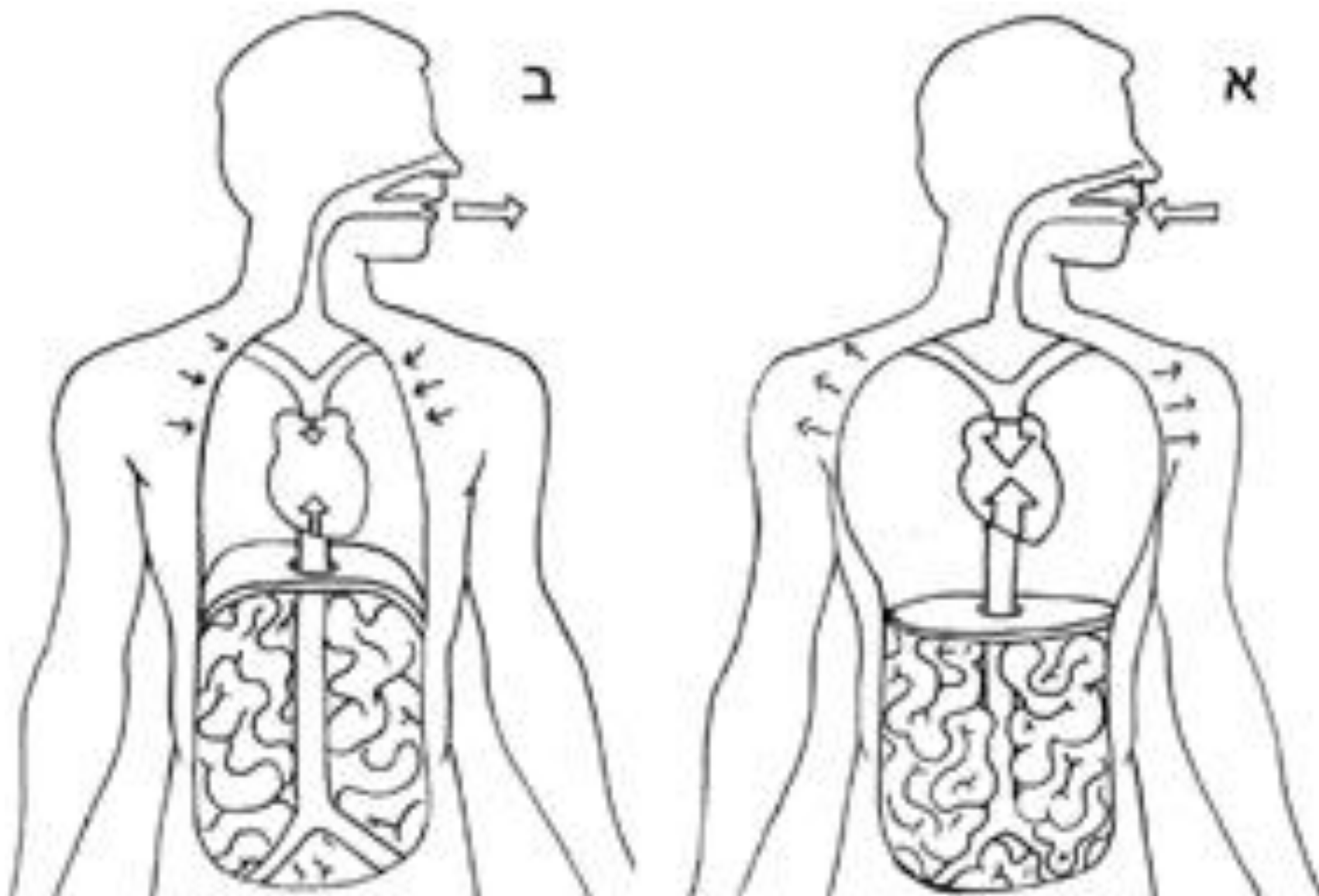
דם לכיוון הלב



משאבת השרירים



משאבת השרירים סחיטה חד-כיוונית של הוורידים באמצעות השרירים



משאבת הנשימה והחזר הוורידים

החזר ורידי במאמץ

בזמן מאמץ חלה עלייה בתפוקת הלב שמחייבת גם עלייה בהחזר הוורידים. המנגנונים הבאים מאפשרים את הגדלת ההחזר הוורידים במאמץ:

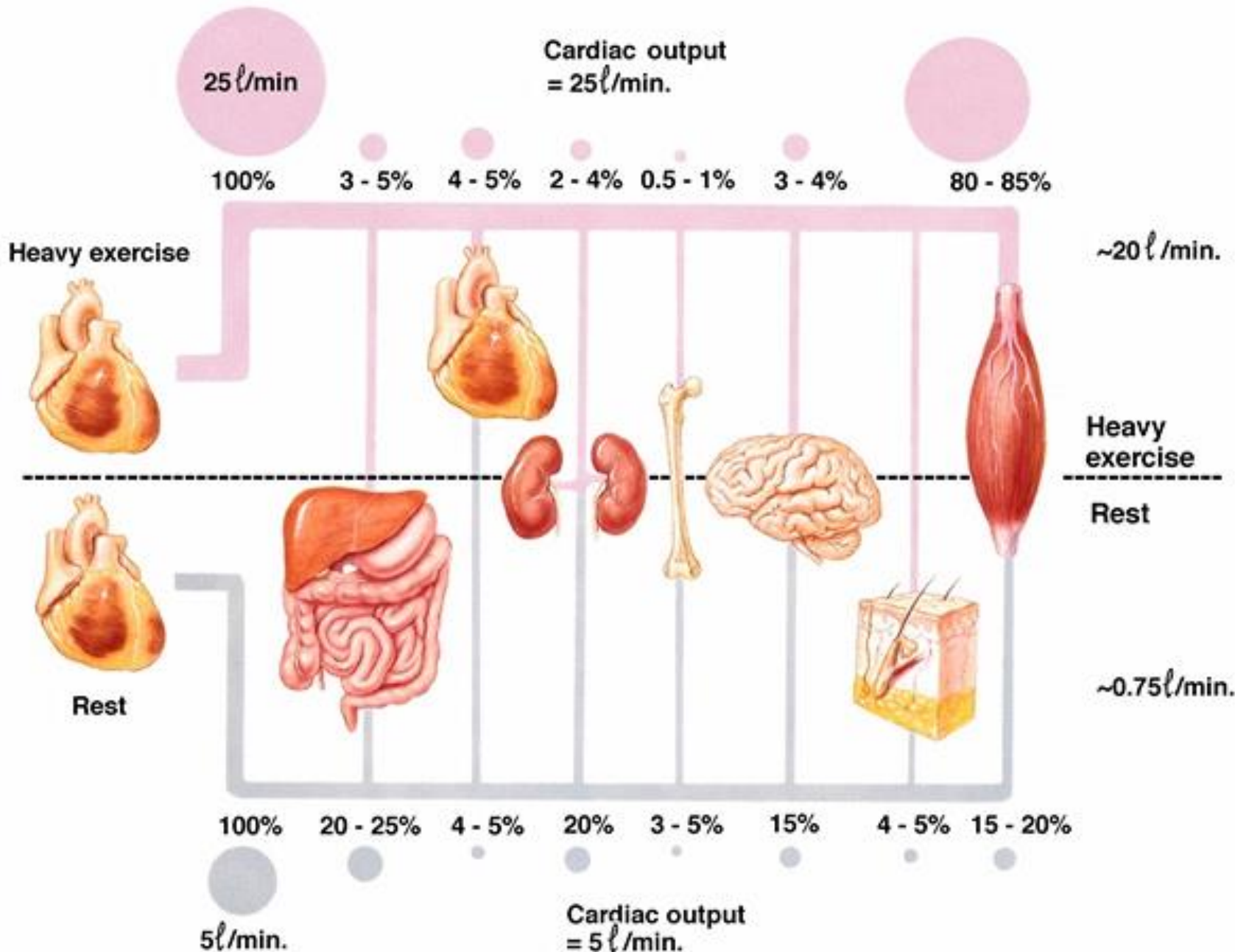
- עליית לחץ הדחף של החדר השמאלי, שמשפיע על כל שאר הלחצים במערכת הדם.
- הגברת קצב ועומק הנשימה שמייעלים את פעולת משאבת הנשימה.
- רפלקס התכווצות הוורידים גורם להפחתת יכולת הקיבול של הוורידונים ולניקוז הדם מהשרירים לכיוון הוורידים הגדולים
- האצת הפעולה של משאבת השרירים מגבירה את תהליך סחיטת הדם מהוורידים לכיוון הלב ומהווה את הגורם הדומיננטי ביותר בהחזר הוורידים בזמן מאמץ.

שינויים בחלוקת תפוקת

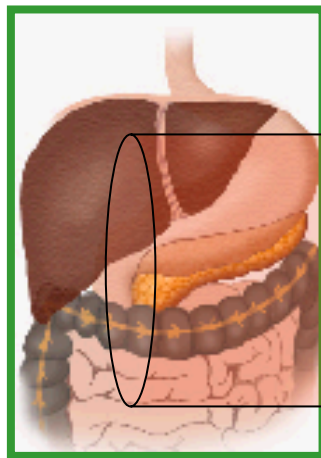
הלב במאמץ מקסימלי

(השרירים מקבלים פי 15-20

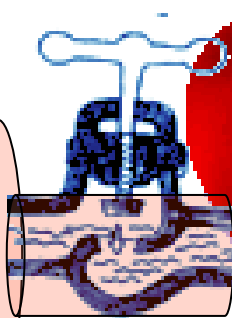
יותר דם בהשוואה למנוחה)



חלוקת תפוקת הלב



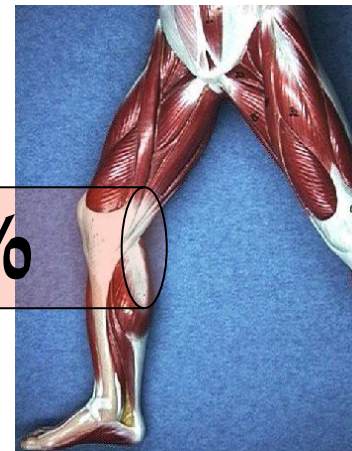
80%



5
ליטר



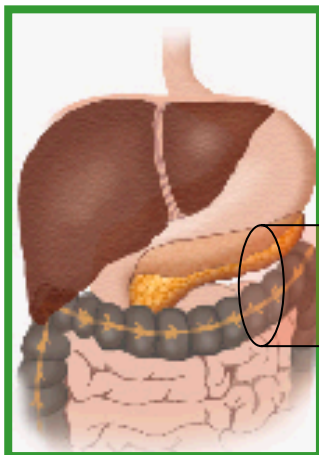
20%



אברים אחרים

מנוחה

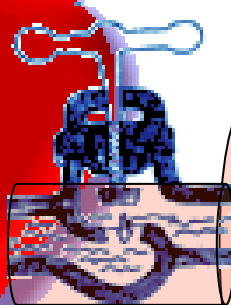
שרירי שלד



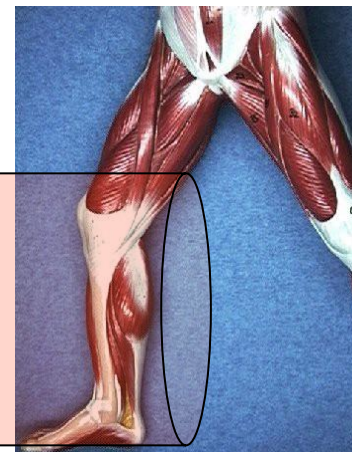
20%



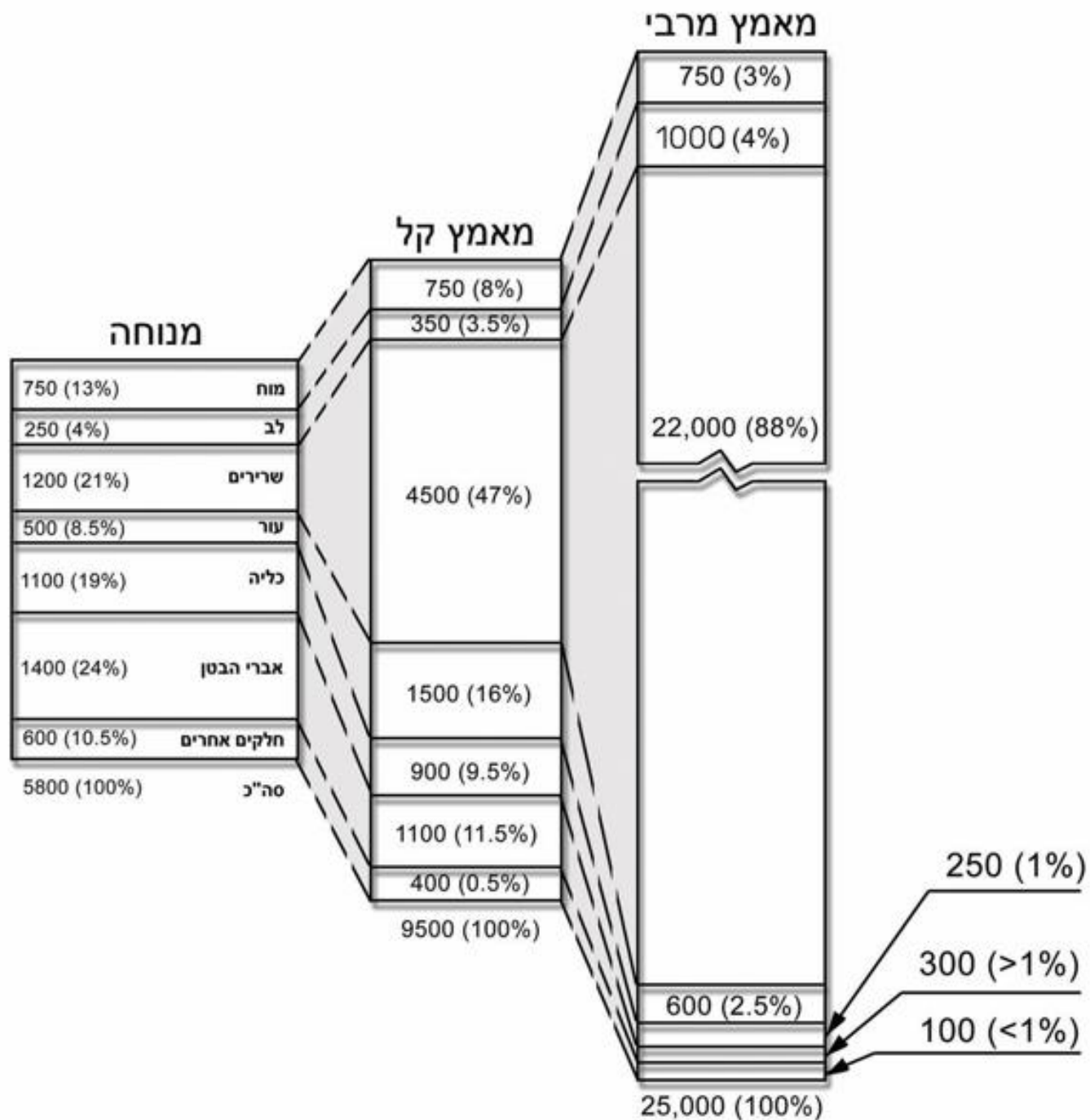
25
ליטר



80%



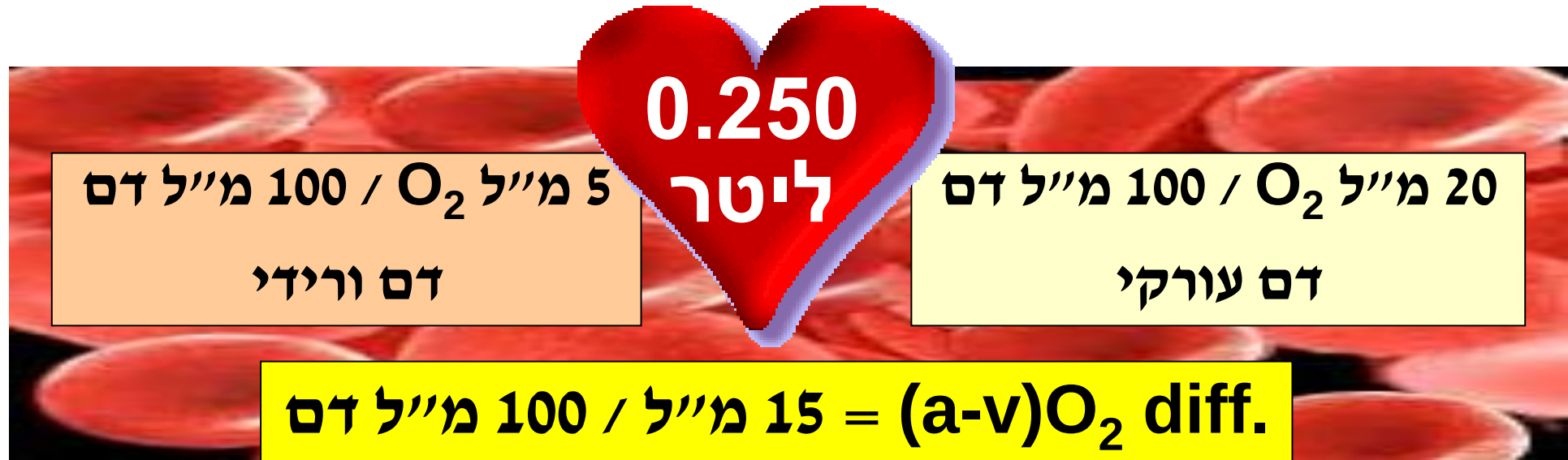
מאמץ



חלוקת תפוקת הלב במנוחה ובמאמץ

TISSUE	RESTING $a-\bar{v}O_2$ DIFFERENCE (ml O_2 PER 100 ml BLOOD)	EXERCISE BLOOD FLOW, ml $\cdot$ min ⁻¹		
		LIGHT	MODERATE	MAXIMUM
Splanchnic	4.1	1100 (12%)	600 (3%)	300 (1%)
Renal	1.3	900 (10%)	600 (3%)	250 (1%)
Cerebral	6.3	750 (8%)	750 (4%)	750 (3%)
Coronary	14.0	350 (4%)	750 (4%)	1000 (4%)
Muscle	8.4	4500 (47%)	12,500 (71%)	22,000 (88%)
Skin	1.0	1500 (15%)	1900 (12%)	600 (2%)
Other		400 (4%)	400 (3%)	100 (1%)
		<u>9500</u>	<u>17,500</u>	<u>25,000</u>

אספקת חמצן/דם ללב במנוחה



אספקת חמצן/דם ללב במאמץ מרבי



5 מ"ל O_2 / 100 מ"ל דם

דם ורידי

20 מ"ל O_2 / 100 מ"ל דם

דם עורקי

$(a-v)O_2 \text{ diff.} = 15 \text{ מ"ל} / 100 \text{ מ"ל דם}$



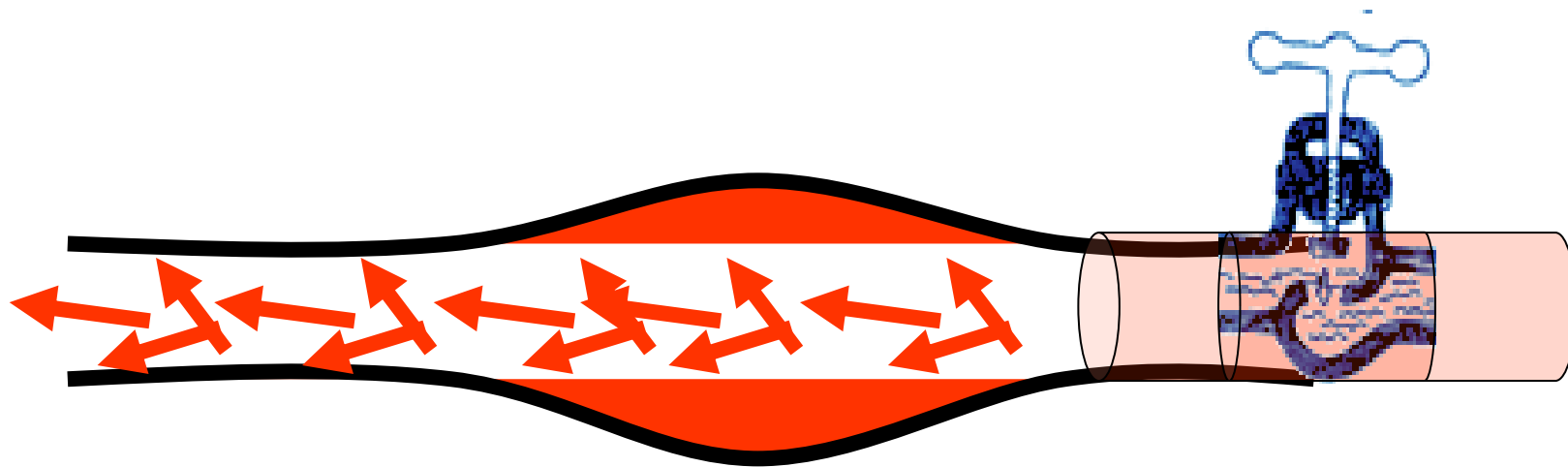
לחץ דם (blood pressure)

הלחץ המופעל על-ידי נוזל הדם על דפנות כלי הדם שבהם הוא זורם והוא זה שגורם לדם לזרום. זרימת הדם מתבצעת בהתאם למפל לחצים ממקום שבו לחץ הדם גבוה למקום שבו לחץ הדם נמוך.

הברז נפתח/נסגר פעם אחת. מתי הלחץ יותר גדול?

• כאשר הברז מזרים 10 ליטר

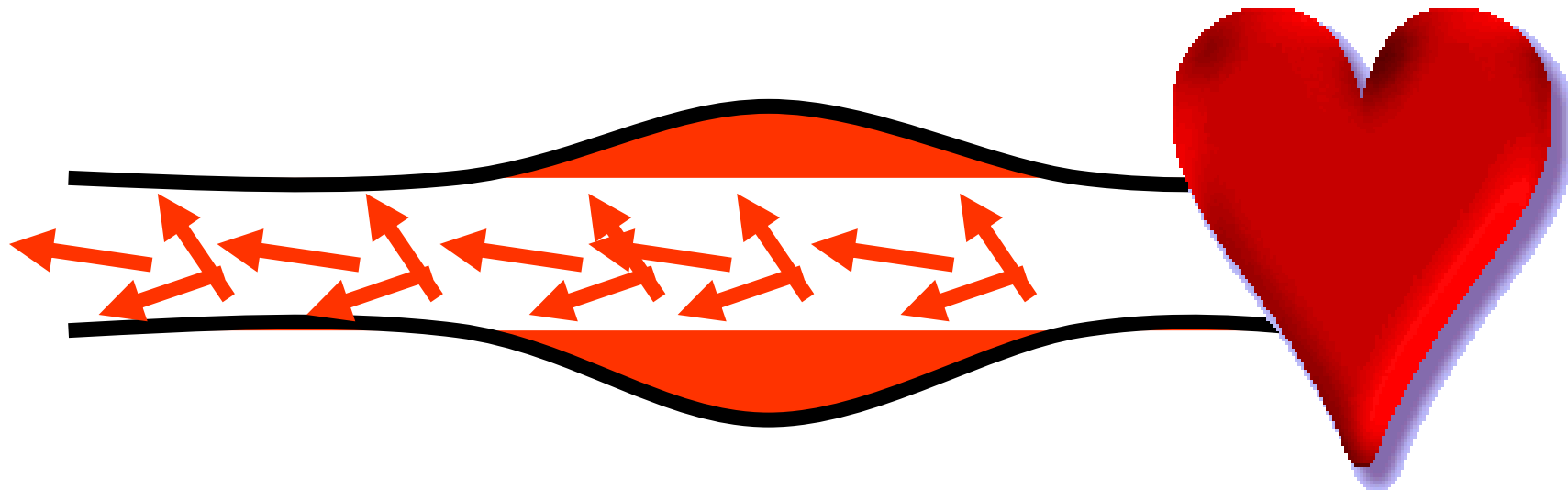
• כאשר הברז מזרים 20 ליטר



לחץ דם - משתנים קובעים

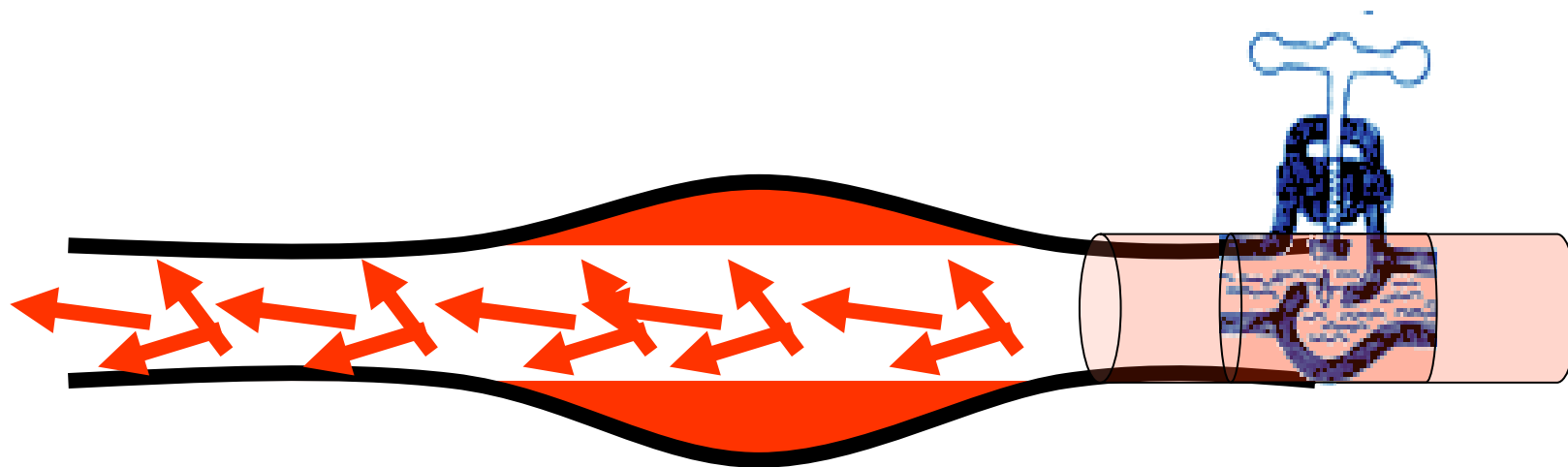
הגדלת/הקטנת נפח הפעימה (תפוקת הלב) הנובעת

מעלייה/הפחתה בכוח ההתכווצות תעלה/תוריד את לחץ הדם



הברז נפתח/נסגר 60/150 פע'/דק' אחת. מתי

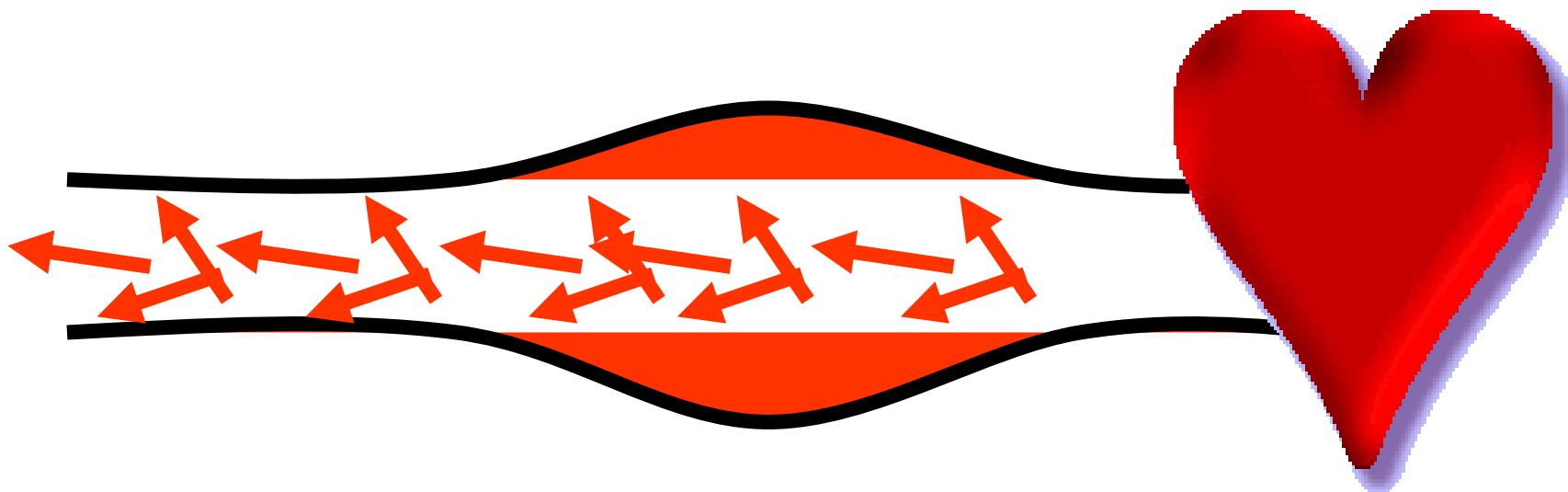
הלחץ יותר גדול?



לחץ דם - משתנים קובעים

האצת/הפחתת קצב הלב (תפוקת הלב)

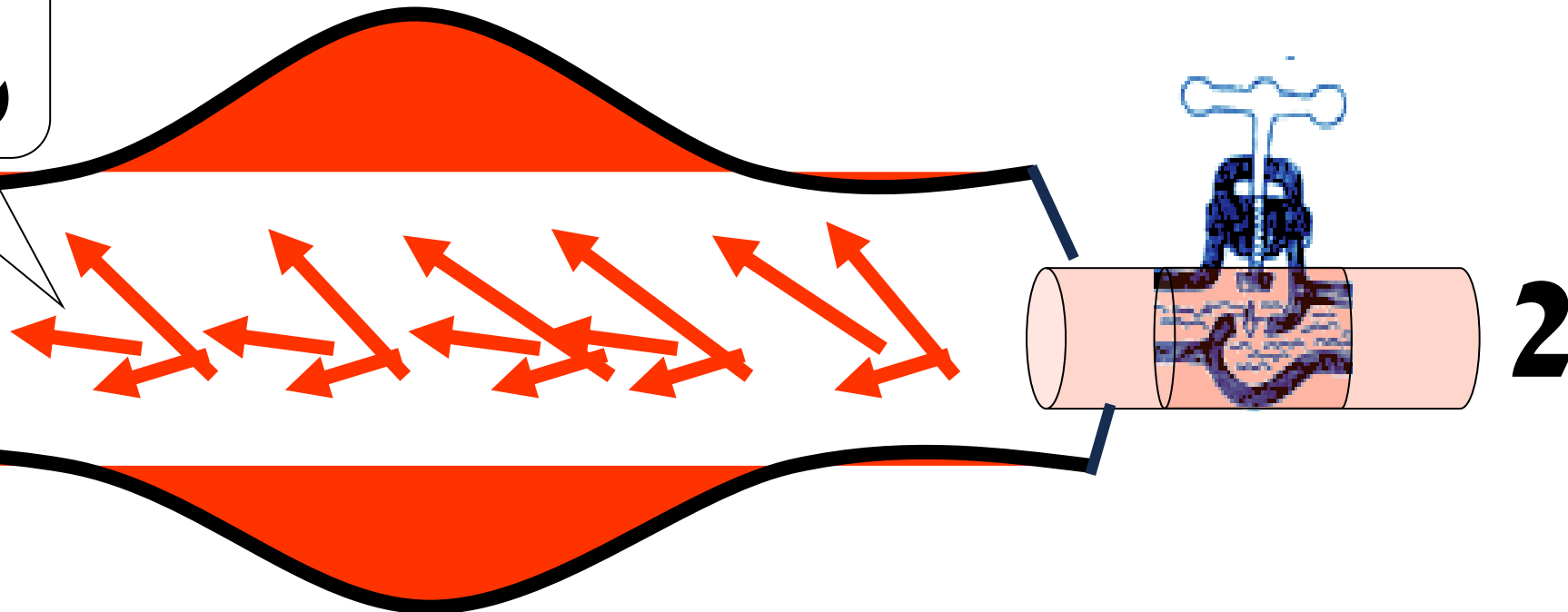
תעלה/תוריד את לחץ הדם



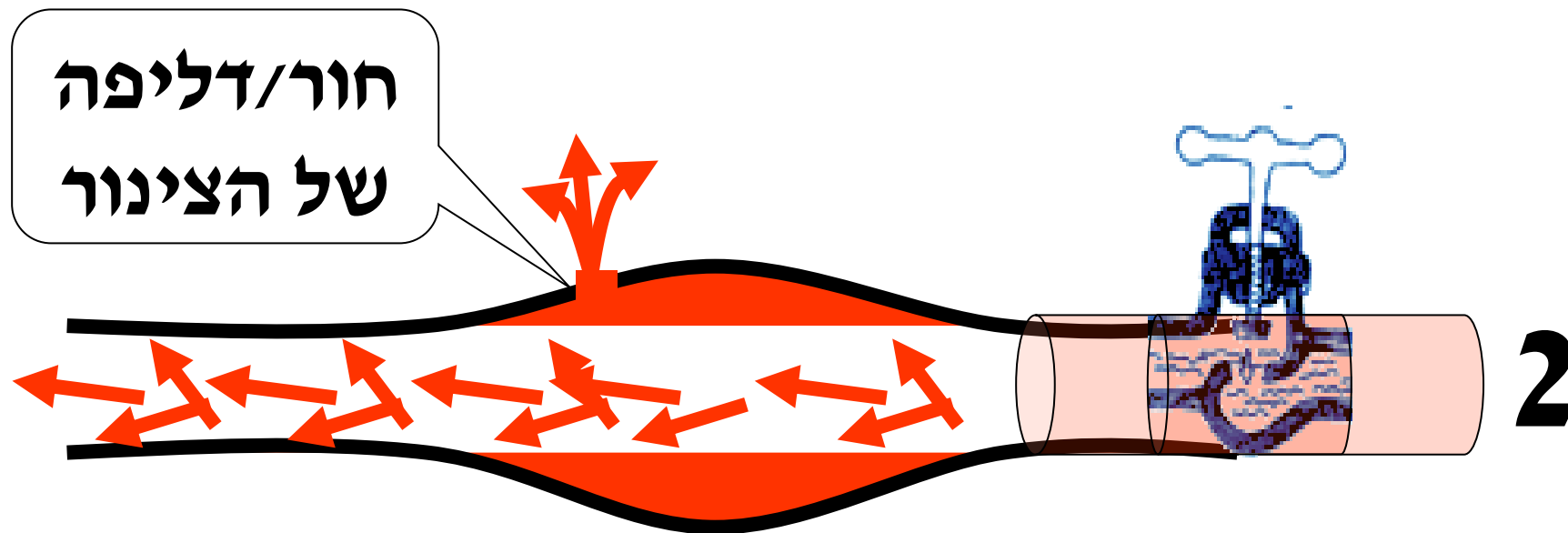
הברז מזרים כמות מים קבועה מתי הלחץ יותר גדול?



התרחבות
של הצינור

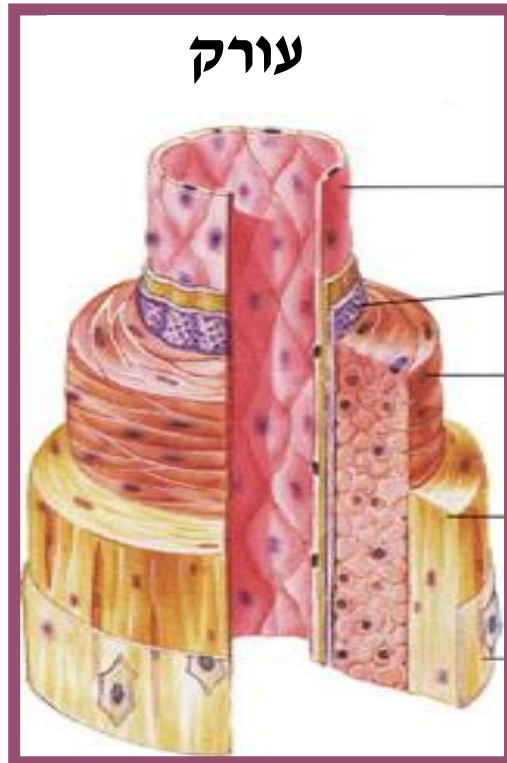


הברז מזרים כמות מים קבועה מתי הלחץ יותר גדול?

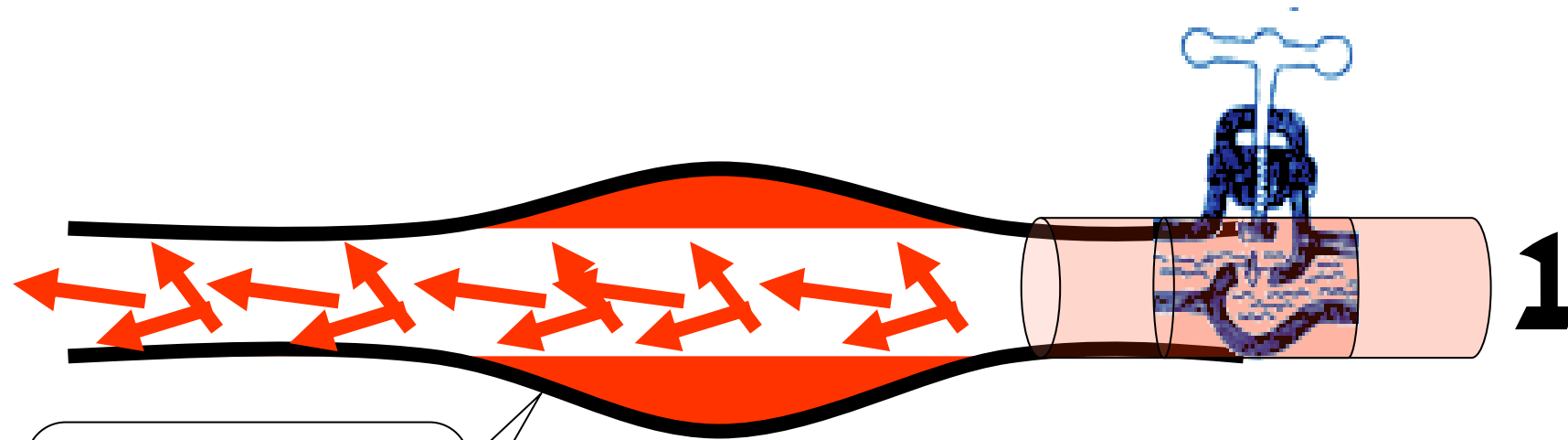


לחץ דם - משתנים קובעים

עלייה/ירידה בנפח הדם ו/או עלייה/ירידה
בנפח כלי הדם משפיעים על לחץ הדם

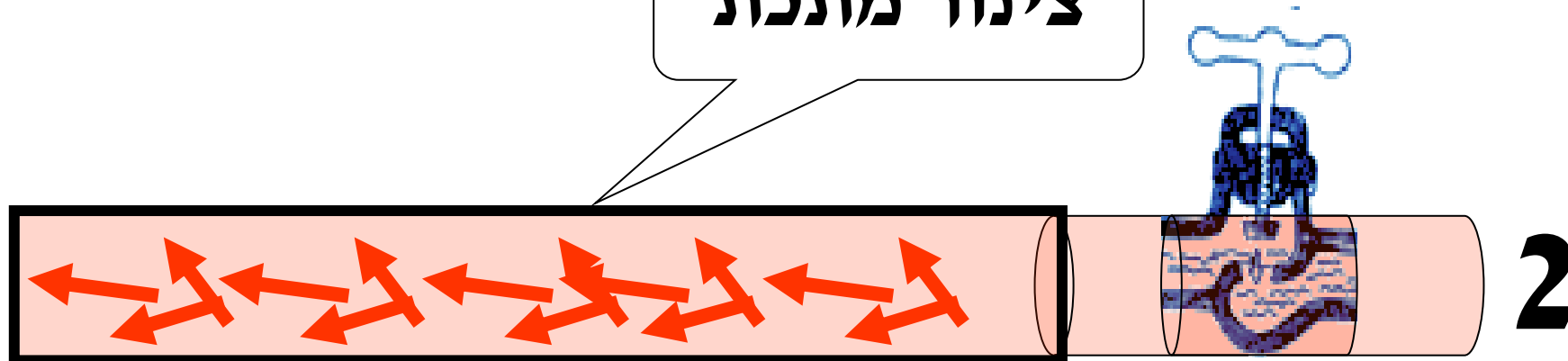


הברז מזרים כמות מים קבועה מתי הלחץ יותר גדול?



צינור מגומי
אלסטי

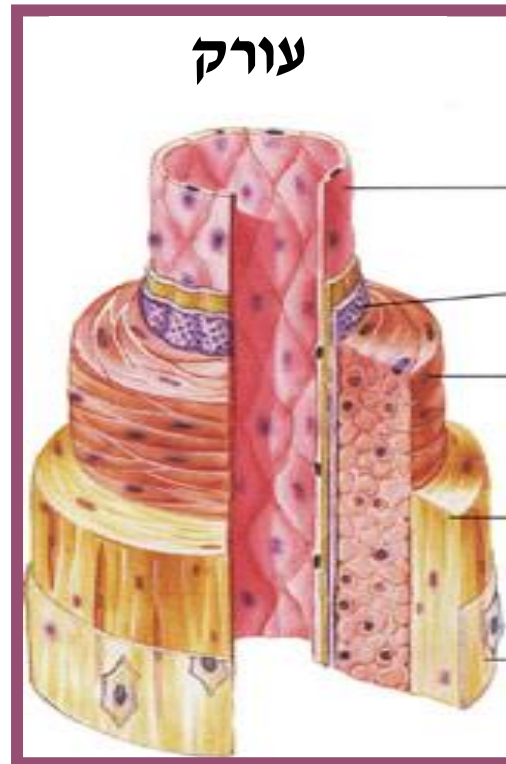
צינור מתכת



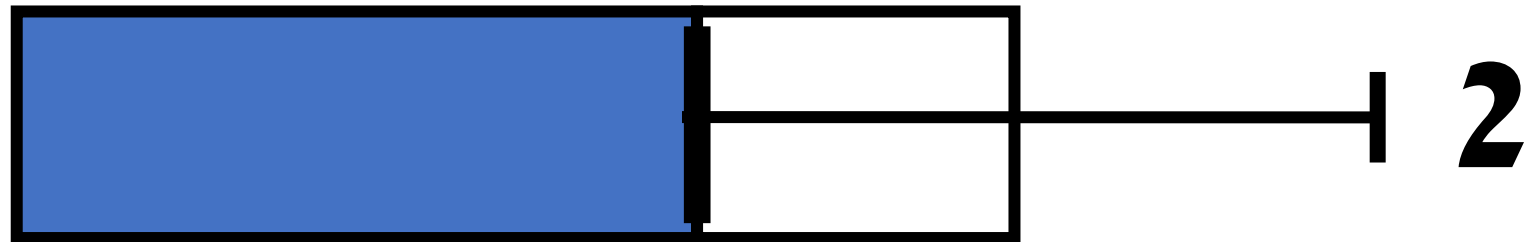
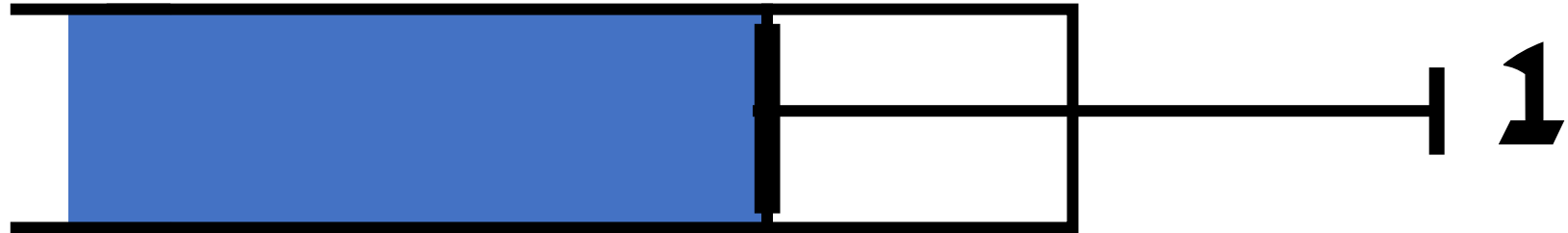
לחץ דם - משתנים קובעים

היענות (גמישות) העורקים עולה - ירידה בלח"ד

היענות (גמישות) העורקים יורדת - עלייה בלח"ד



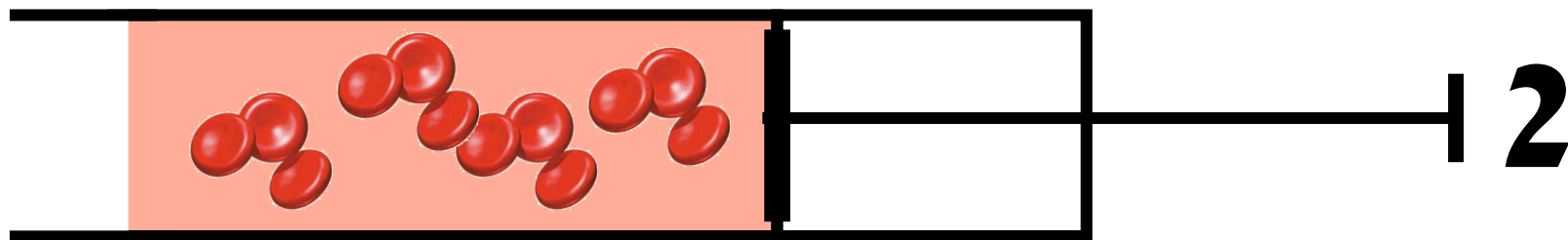
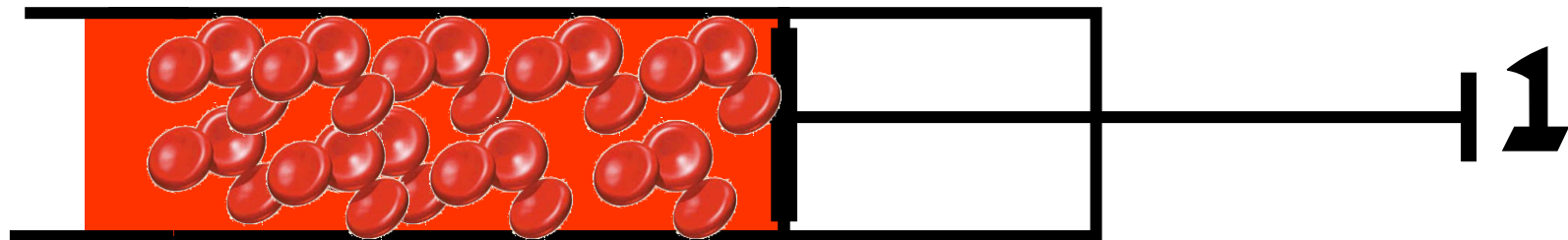
באיזה מזרק הלחץ יותר גדול?



התנגדות לזרימה גוברת - לחץ הדם עולה

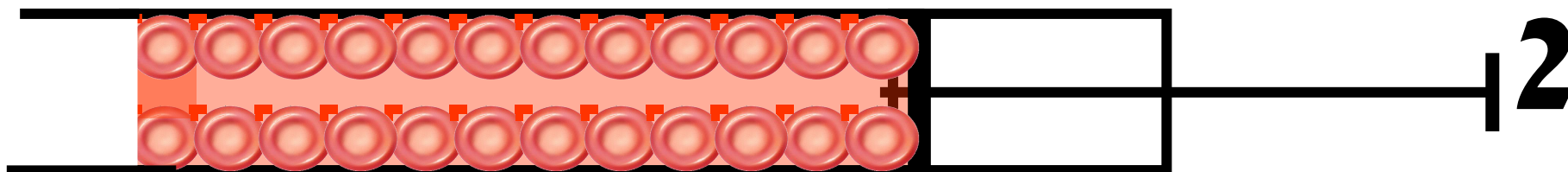
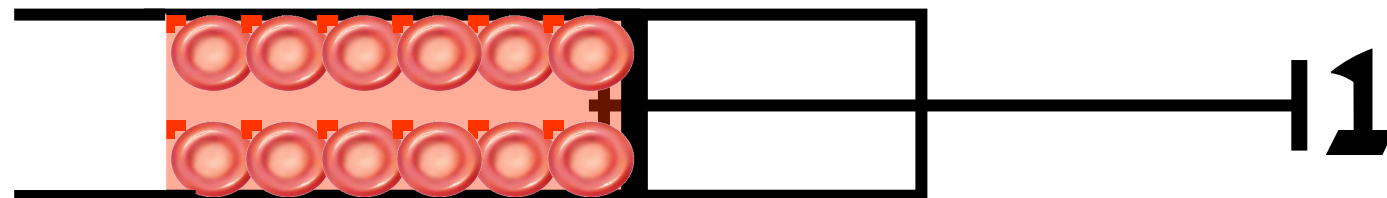
התנגדות לזרימה פוחתת - לחץ הדם יורד

באיזה מזרק ההתנגדות לזרימה יותר גדולה ?



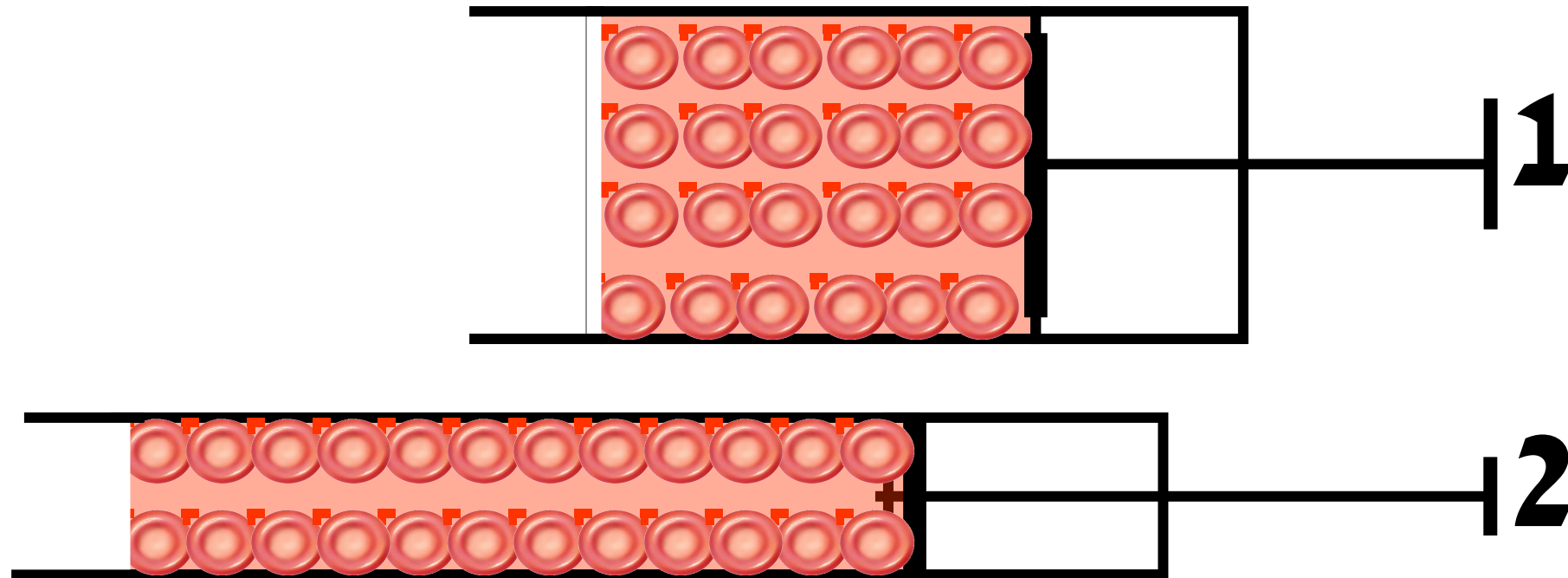
**צמיגות הדם עולה - החיכוך בדפנות גדל - ההתנגדות לזרימה
עולה ולחץ הדם גדל**

באיזה מזרק ההתנגדות לזרימה יותר גדולה?



כלי דם ארוך - יותר דם מתחכך בדפנות - ההתנגדות לזרימה ולחץ הדם עולים

**במזרקים אותה כמות דם, באיזה מזרק ההתנגדות
לזרימה יותר גדולה?**



**קוטר קטן - יותר דם (באופן יחסי) מתחכך בדפנות - ההתנגדות
לזרימה ולחץ הדם עולים**

↓ תפוקת לב
(דופק, נפח, פעימה)

↓ נפח הדם

↑ היענות העורקים

↓ צמיגות הדם

↓ אורך כלי הדם

↑ קוטר כלי הדם

↓ לחץ דם ↑

↑ תפוקת לב
(דופק, נפח, פעימה)

↑ נפח הדם

↓ היענות העורקים

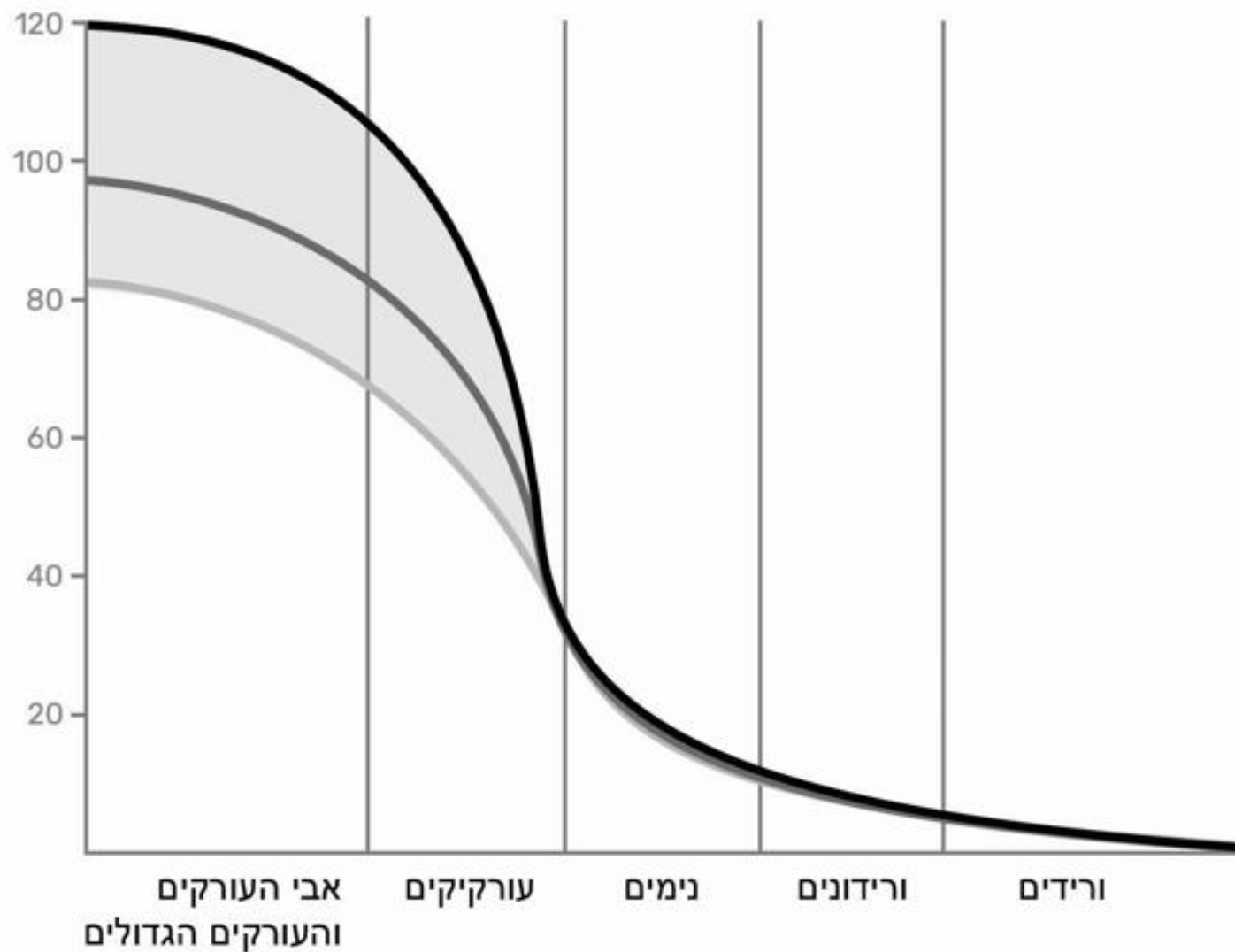
↑ צמיגות הדם

↑ אורך כלי הדם

↓ קוטר כלי הדם

↑ עלייה בערכי המשתנה ↓ ירידה בערכי המשתנה

לחץ דם (מ"מ כספית)



— לח"ד סיסטולי — לח"ד ממוצע — לח"ד דיאסטולי

**ערכי לחץ הדם בכלי
הדם השונים**

לחץ דם עורקי ממוצע

$$0.33 \times (\text{pulse pressure}) + \text{DBP} = \text{Mean}$$

Mean - לחץ דם עורקי ממוצע

DBP - לחץ דם דיאסטולי

pulse pressure - לחץ הדופק (סיסטולי - דיאסטולי)

נתון:

לחץ דם סיסטולי - 125 מ"מ כספית

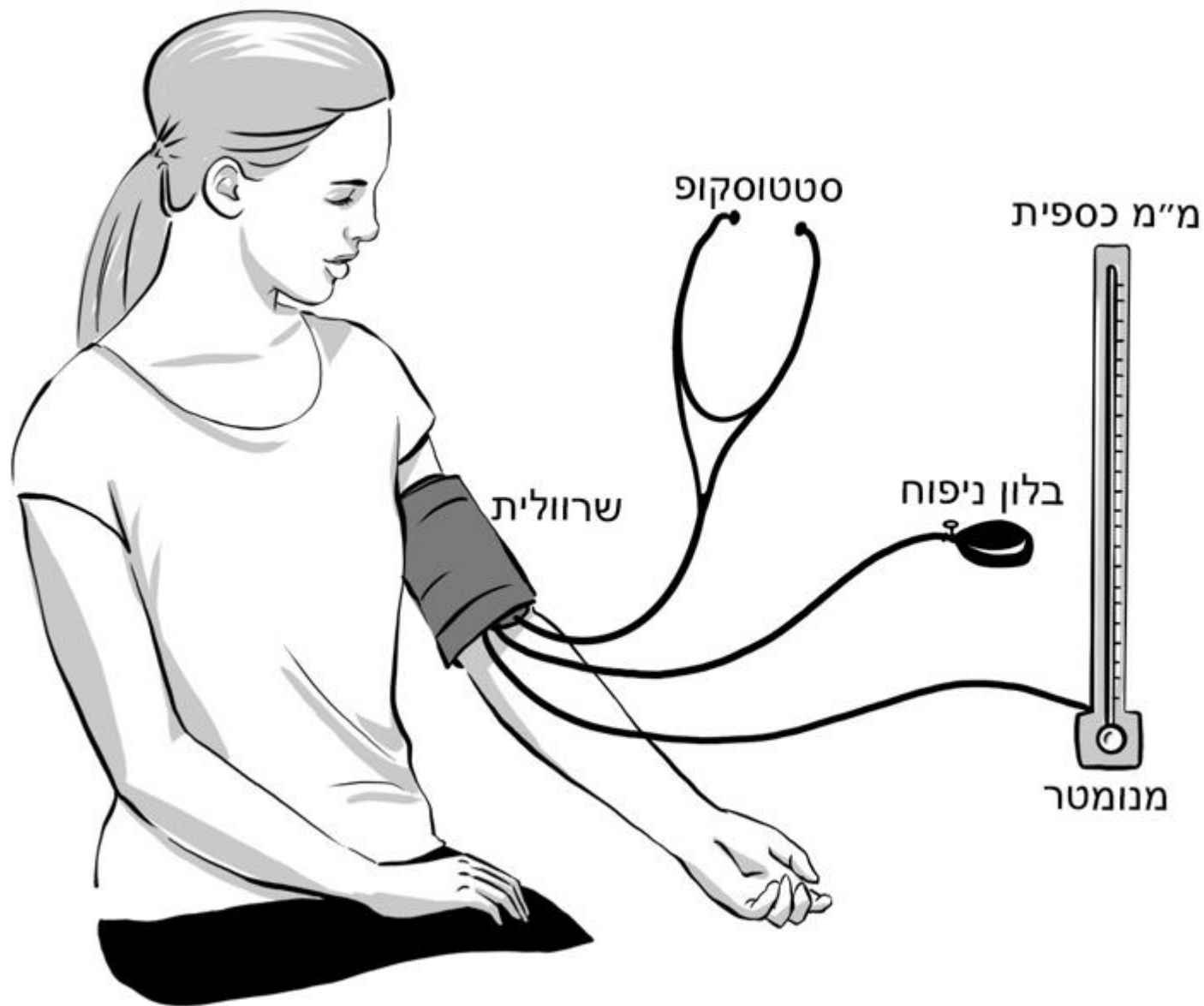
לחץ דם דיאסטולי - 80 מ"מ כספית

חישוב:

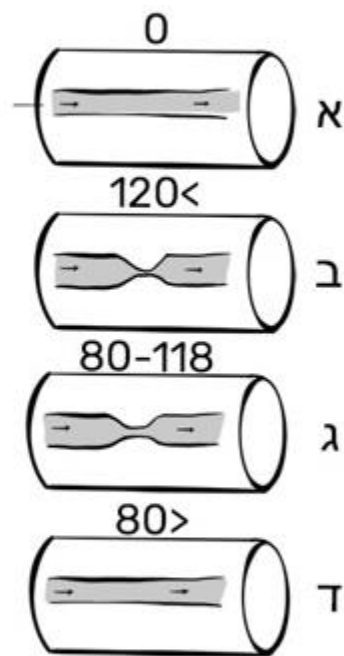
לחץ הדופק = 45 מ"מ כספית (125 - 80 = 45)

לחץ עורקי ממוצע = 95 מ"מ כספית (0.33 x 45 + 80 = 95)

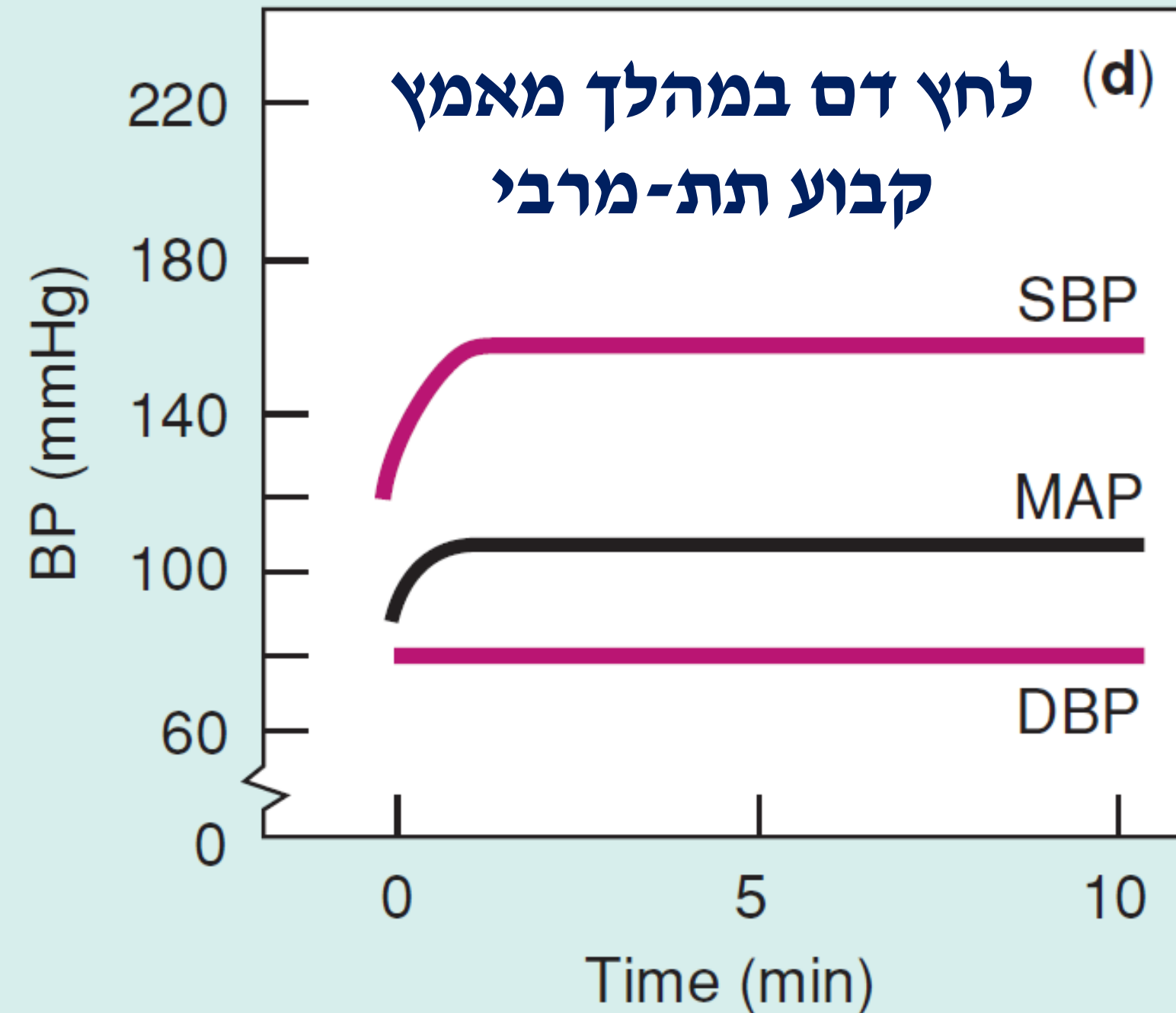
מדידת לחץ דם בשיטה העקיפה

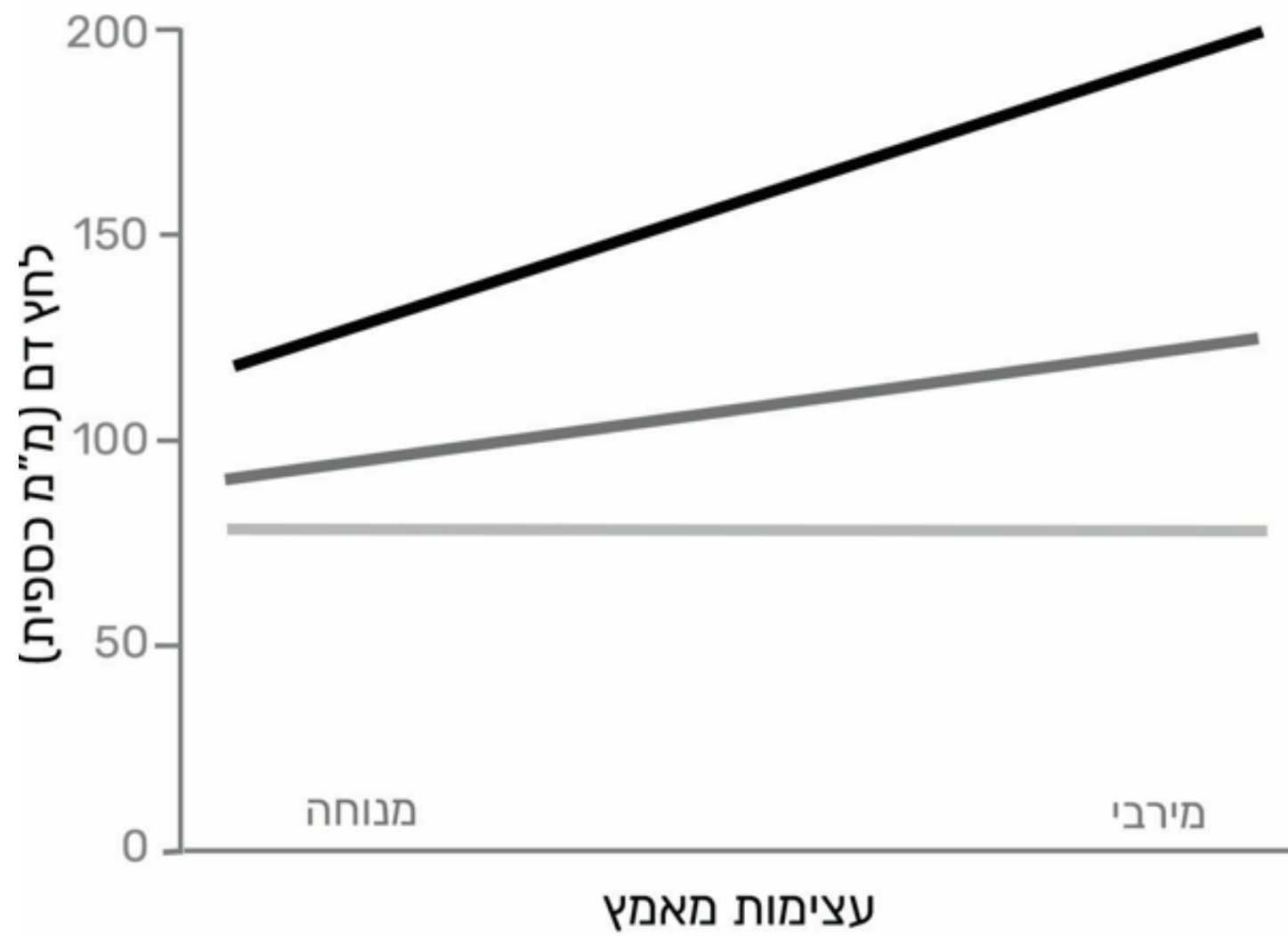


הלחץ שהשרוולית
מפעילה



(d) לחץ דם במהלך מאמץ
קבוע תת-מרבי





**השינוי בלחץ הדם
במאמץ מדורג עד
מאמץ מרבי**

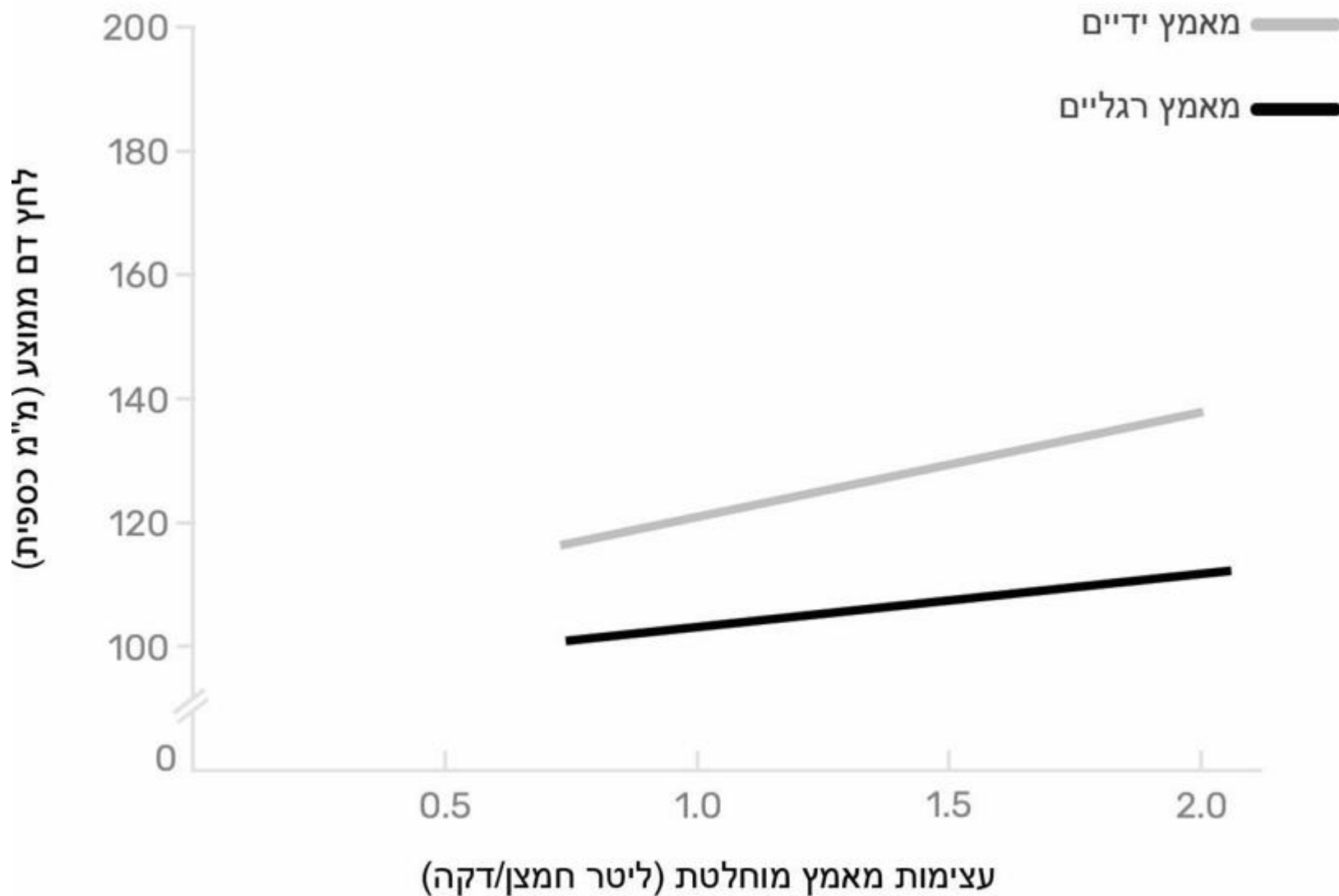
סיסטולי ממוצע דיאסטולי

השינוי בהתנגדות לזרימת הדם במעבר ממנוחה למאמץ מדורג עד מאמץ מרבי



השינוי בלחץ הדם הממוצע בעת מאמץ ידיים מדורג ובעת

מאמץ רגליים מדורג.

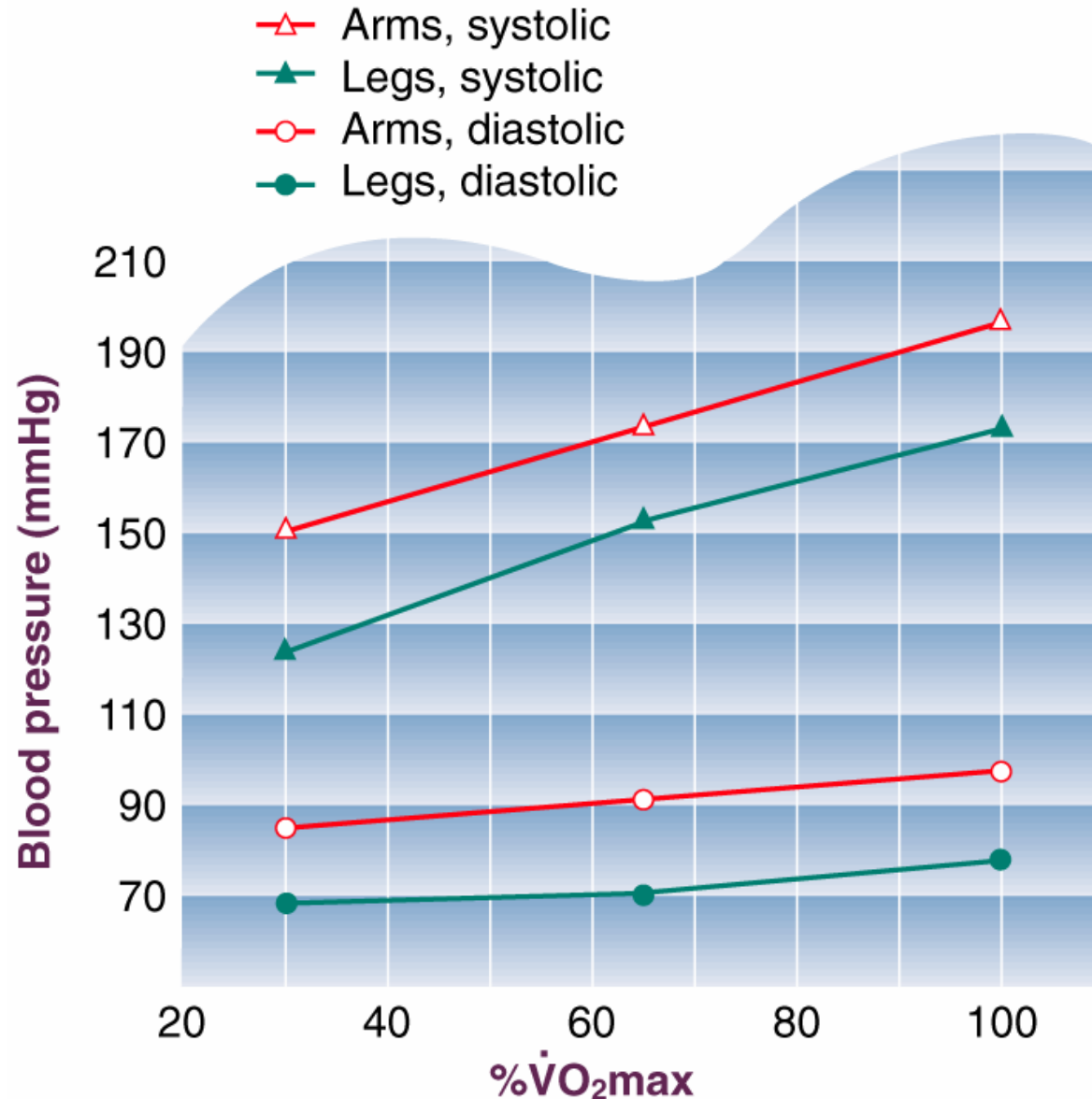


PERCENT $\dot{V}O_{2\max}$	SYSTOLIC PRESSURE (mm Hg)		DIASTOLIC PRESSURE (mm Hg)	
	ARMS	LEGS	ARMS	LEGS
25	150	132	90	70
40	165	138	93	71
50	175	144	96	73
75	205	160	103	75

*From Åstrand, P. O., et al.: Intra-arterial blood pressure during exercise with different muscle groups. *J. Appl. Physiol.*, 20:253, 1965.

השינוי בלחץ הדם הממוצע בעת מאמץ ידיים מדורג ובעת

מאמץ רגליים מדורג.



תגובת לחץ

- בעת ביצוע מאמצי כוח דינמיים עצימים ומאמצים איזומטריים שמערבים קבוצות שרירים גדולות, חלה עלייה מהותית בלחץ הדם הדיאסטולי.
- הצורך לדחוף את הדם בסיסטולה כנגד לחץ דם דיאסטולי גבוה מגביר את המאמץ, הדרישות המטבוליות וצריכת החמצן של שריר הלב.
- אי לכך יש להגביר את זרימת הדם בעורקים הכליליים על-ידי העלאת תפוקת הלב.
- העלאת תפוקת הלב מחייבת הגברת קצב לב ו/או כוח התכווצות (הגדלת נפח הפעימה), שמעלים בעצמם את הדרישות המטבוליות, צריכת החמצן וזרימת הדם הקורונרית...
- שרשרת התגובות שתוארו, מכונה **תגובת לחץ**.



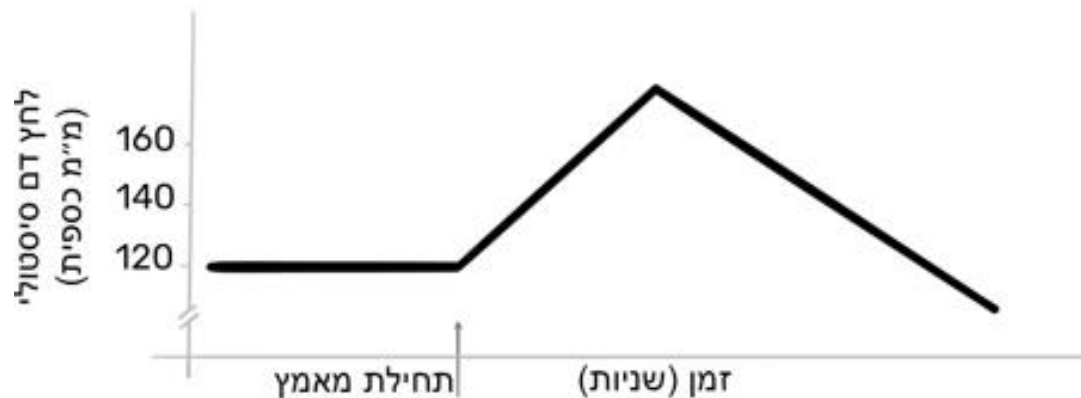
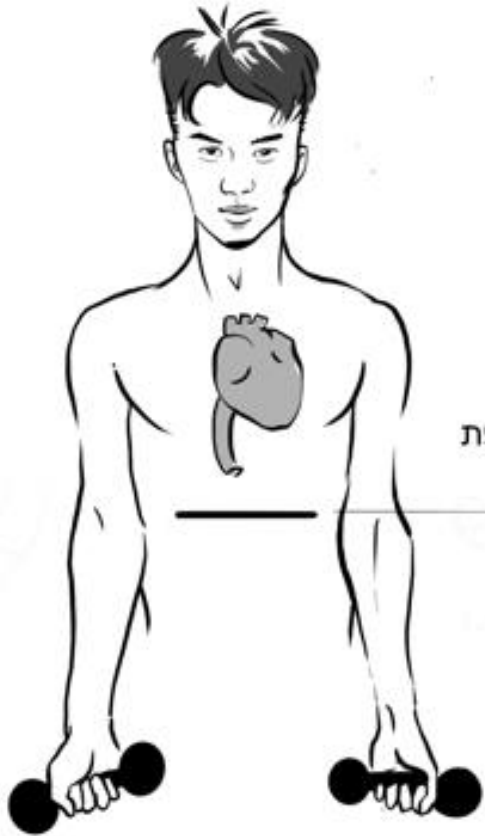
פעולת ולסלווה

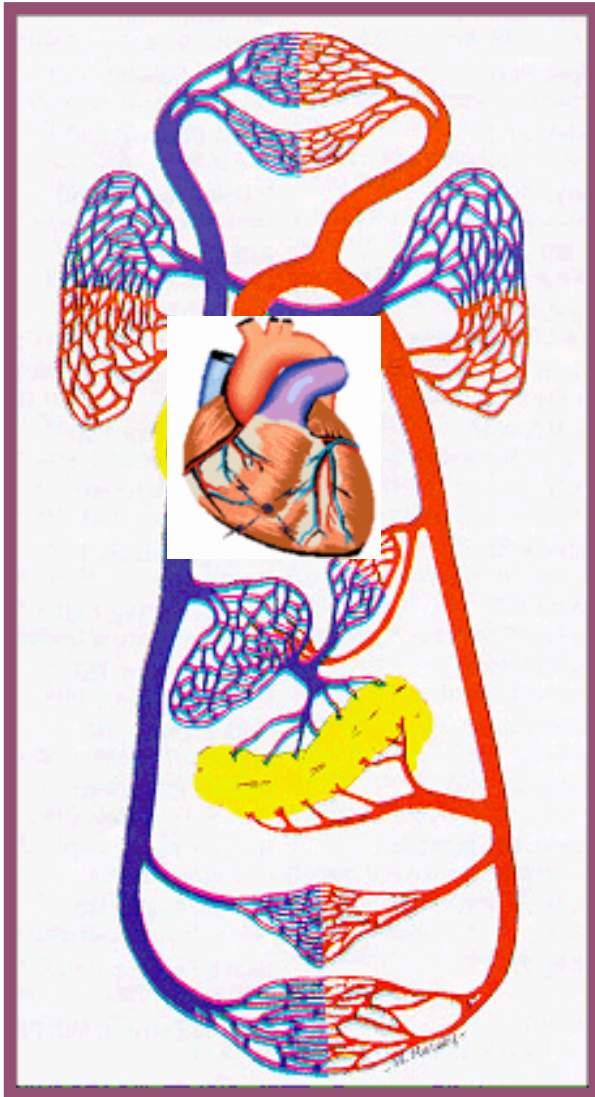
- שאיפה עמוקה של אוויר לריאות, שלאחריה נסגר קנה הנשימה, ומתבצעת התכווצות איזומטרית של שרירי הבטן.
- הפעולה גורמת לייצוב ולקיבוע של הגו ולהארכת שרירי החזה לצורך הפקת כוח רב יותר.
- ספורטאים מבצעים אותה בעת הרמת משקולות, היאבקות וביצוע מאמצים איזומטריים שונים.
- מבוצעת בפעילויות יומיומיות, כגון הרמת משאות וריקון המעייים בשירותים.

בעת מאמץ



לפני מאמץ





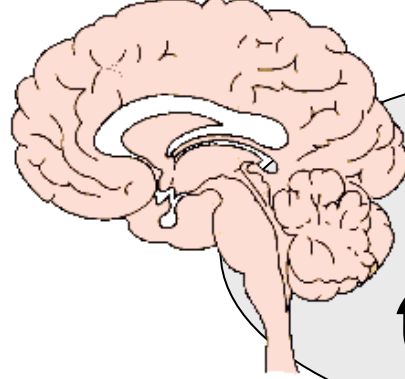
בקרה עצבית

בקרה מקומית

בקרה הורמונלית

ויסות ובקרה של הלב ומחזור הדם

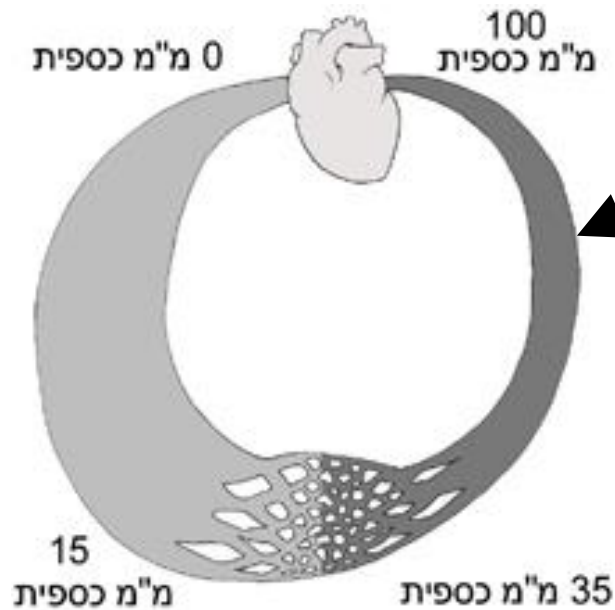
בקרה עצבית



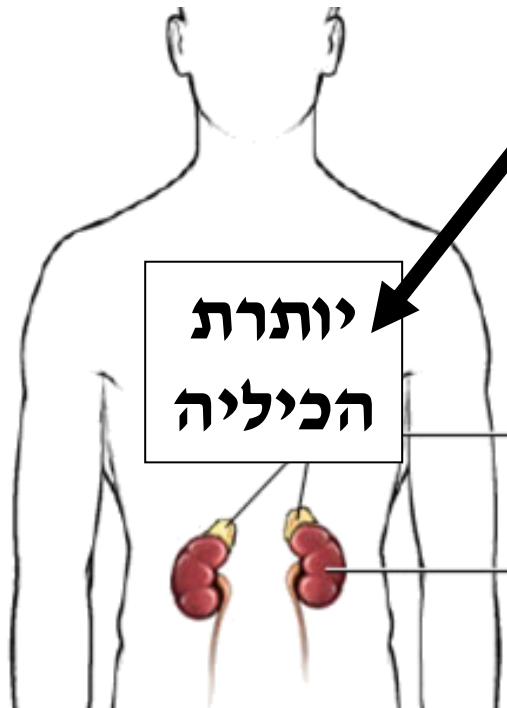
מרכז בקרת
הלב וכלי הדם

מ.ע. אוטונומית

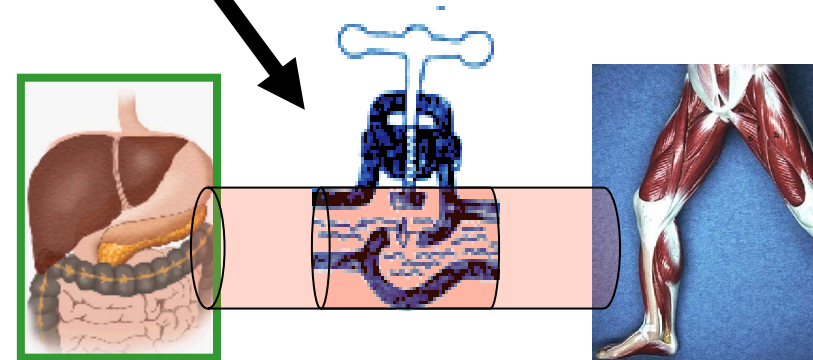
סימפתטית והפארא-סימפתטית



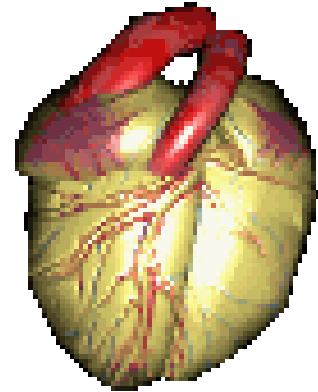
החזר ורידי



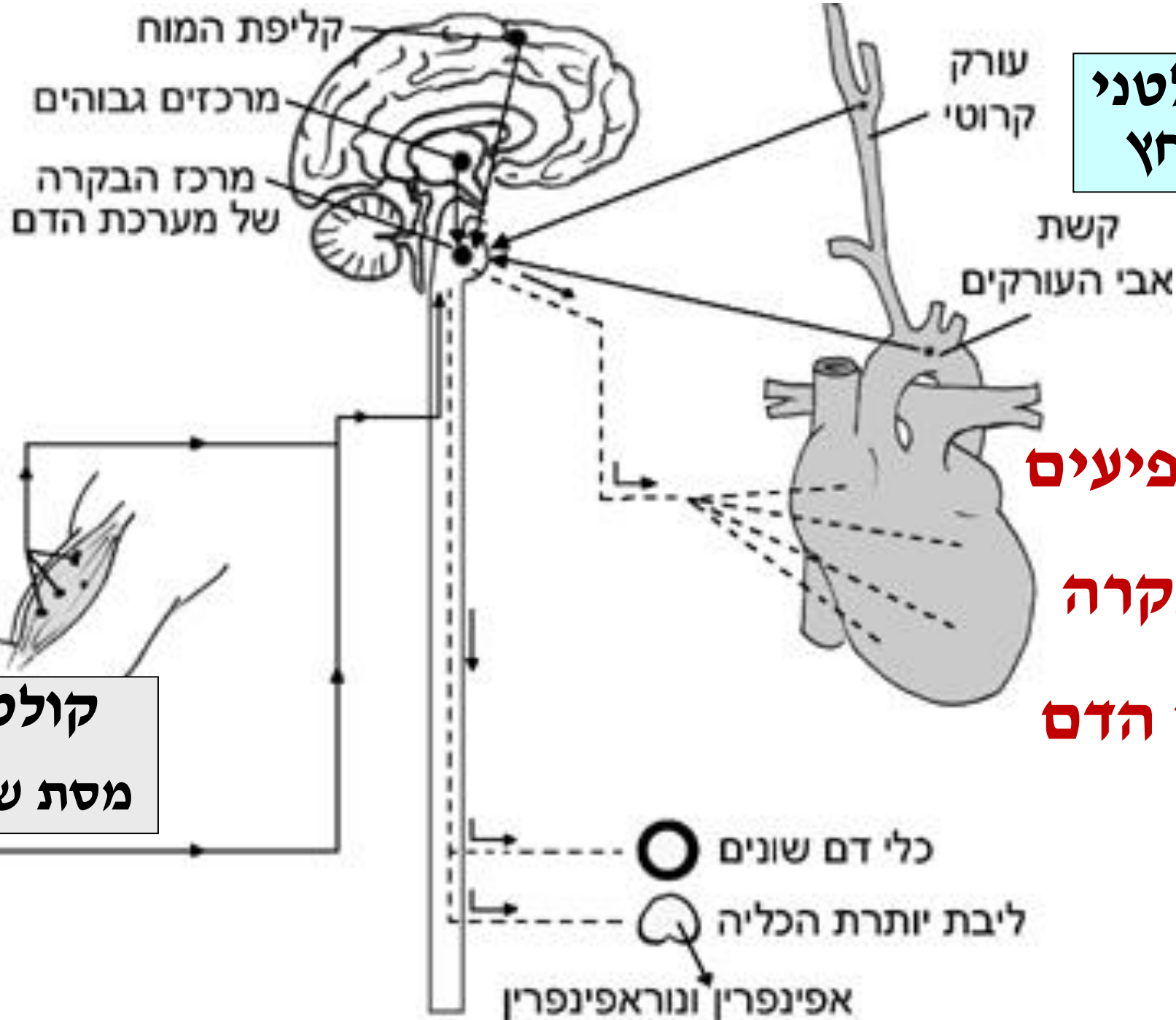
יותרת
הכיליה



חלוקת תפוקת הלב



מרכזים
עצביים
גבוהים

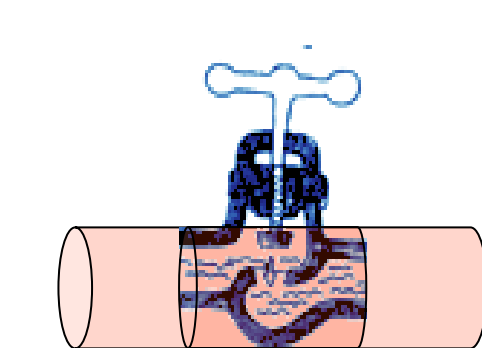
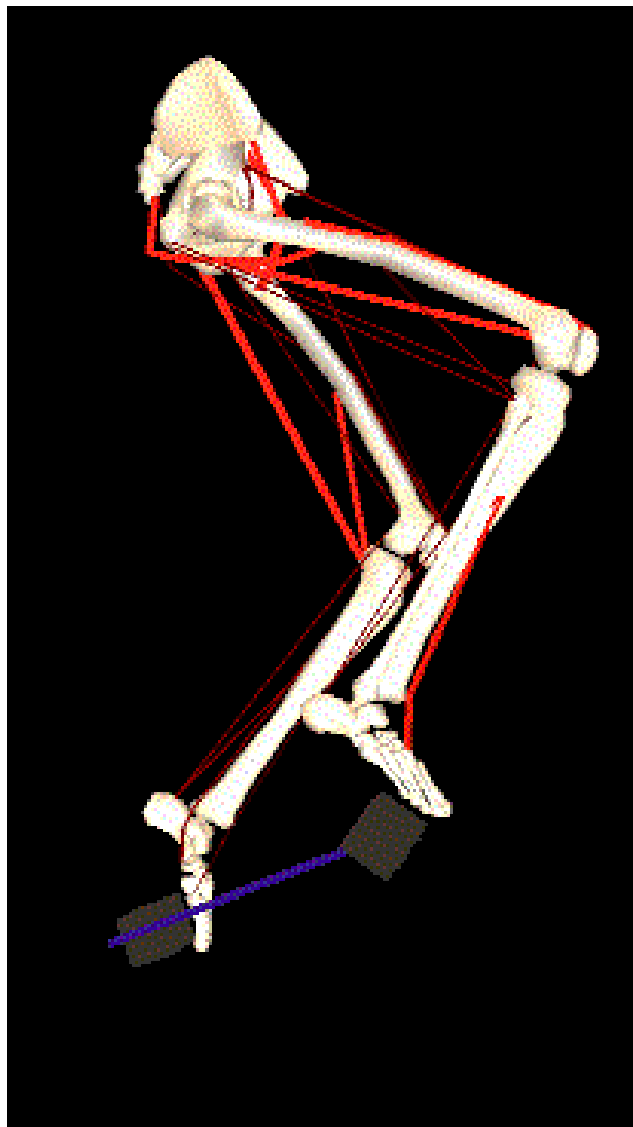


קולטני
לחץ

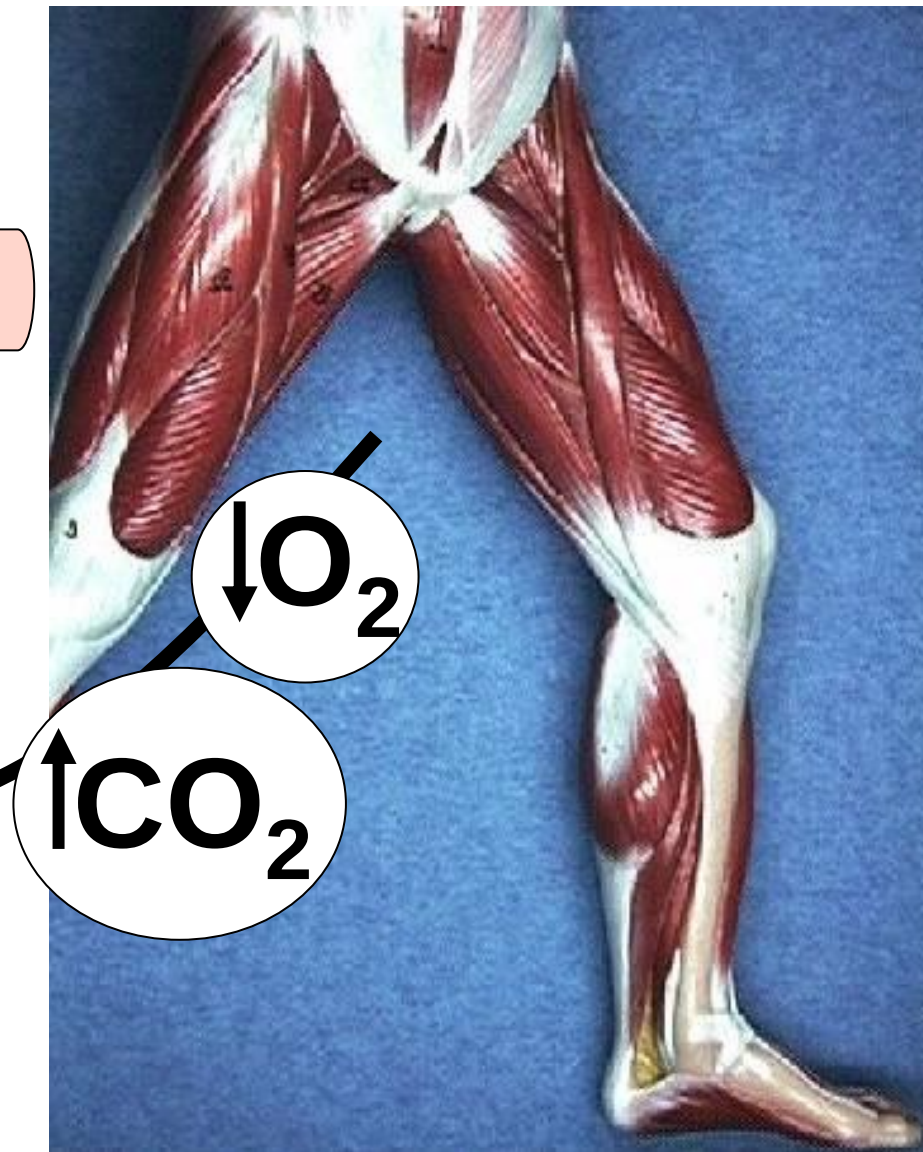
גורמים המשפיעים
על מרכז הבקרה
של הלב וכלי הדם

קולטנים בשרירים
מסת שרירים, זרימת דם

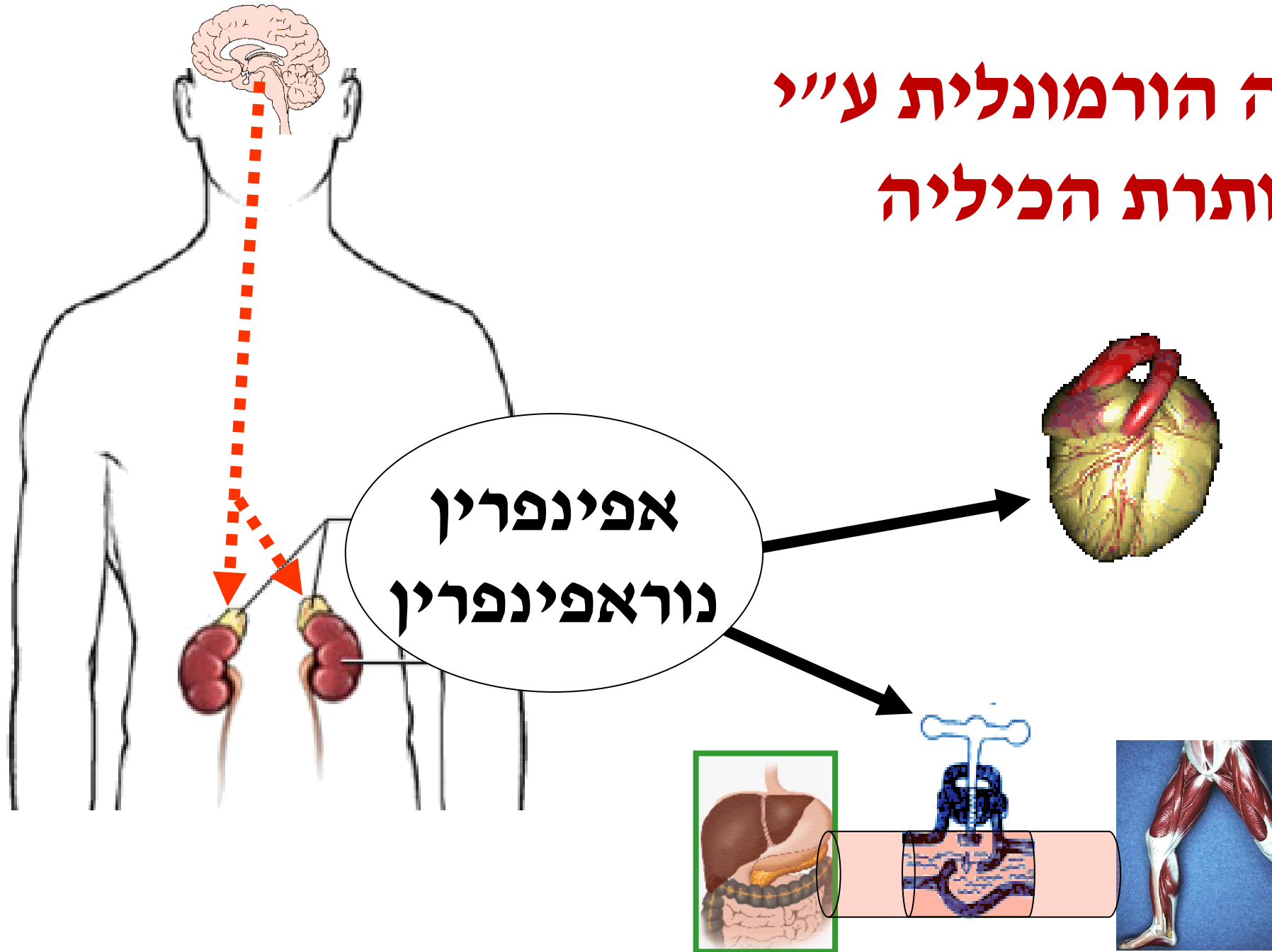
בקרה מקומית



חומציות
לקטט



בקרה הורמונלית ע"י יותרת הכליה



מחלות לב וכלי דם

- הגורם העיקרי לתחלואה ולתמותה בחברה המערבית.
- מחלות כלי הדם השכיחות הן יתר לחץ דם וטרשת העורקים.
- מחלת לב מוגדרת כליקוי בשריר הלב שבעקבותיו נפגמת יעילות פעולתו.

- השכיחה מבין מחלות הלב היא מחלת הלב הכלילית
- מחלת לב כלילית עלולה לגרום להתפתחות אירועים לבביים הנקראים בשם הכללי התקף לב

יתר לחץ דם

- לחץ דם גבוה באופן קבוע מעל הערכים הנורמליים (סיסטולי מעל 140 מ"מ כספית, ודיאסטולי מעל 90 מ"מ כספית).
- יתר לחץ דם ראשוני - לא נמצאה סיבה ספציפית להתפתחותו
- יתר לחץ דם שניוני - תוצאה של הפרעה מסוימת, כגון מחלת כליות.
- יל"ד מגדיל את העומס על הלב, מעלה את הסיכון למחלת לב כלילית, לשבץ מוחי, לאי ספיקת לב, למחלת כלי דם פריפרית, לאי ספיקה כלייתית ולפגיעה בעיניים.
- מכונה "הרוצח השקט", מאחר שבמקרים רבים אין לו תסמינים נראים לעין.

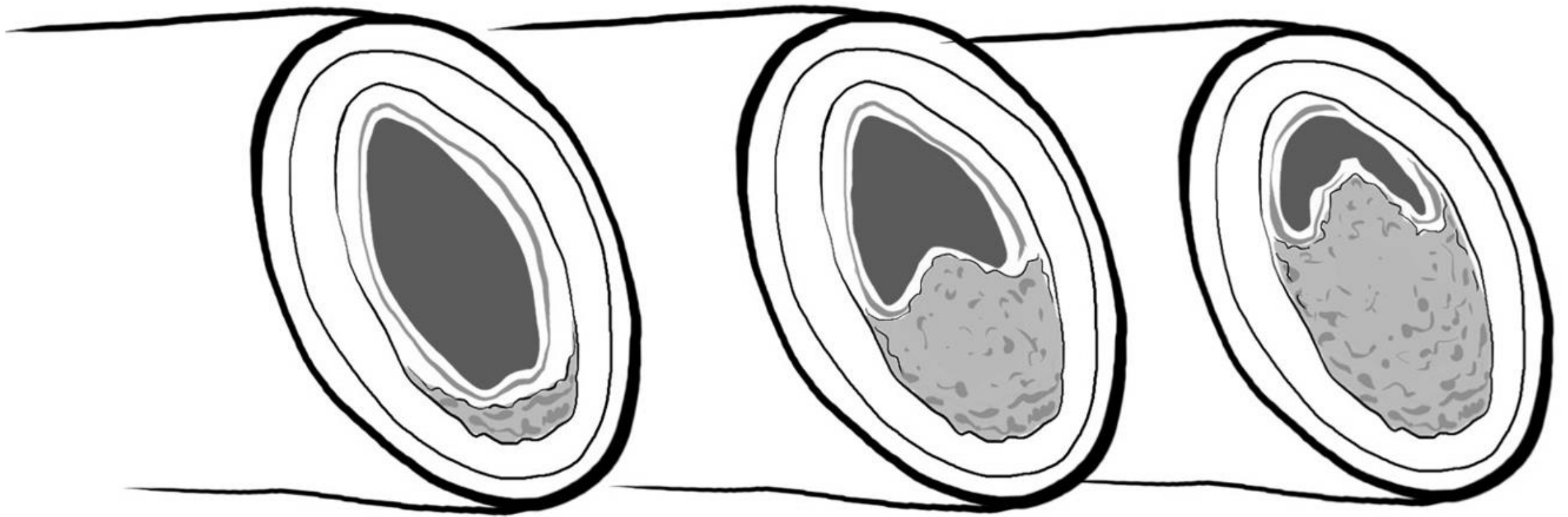
יתר לחץ דם ואימון גופני

- אימון גופני מהווה רכיב חשוב בטיפול הלא תרופתי המומלץ כטיפול ראשוני לאנשים הלוקים ביתר לחץ דם קל או מתון.
- השפעתו המיטיבה של אימון גופני בעצימות מתונה אינה נופלת מזו של אימון בעצימות גבוהה. עובדה זו חשובה במיוחד מבחינתן של אוכלוסיות דוגמת: קשישים, שמנים ואנשים המוגבלים בתפקודם עקב בעיות בריאות נלוות.
- אימון כוח אינו בעל השפעה עקבית וברורה של הפחתת ערכי לחץ הדם, ואינו מומלץ כצורה הראשונית או הבלעדית של אימון לאנשים הלוקים ביתר לחץ דם.

טרשת עורקים

- נובעת מפגיעה בשכבה הפנימית של דופן העורקים שגורמת להתעבותה ולבליטה שלה לכיוון חלל העורק ולהיצרות כלי הדם.
- גורמת להקשחת דפנות כלי הדם הפוגעת באלסטיות שלהם וביכולתם לשנות את קוטרם בהתאם לצורך בחמצן ולכמות הדם המוזרמת בהם.
- כאשר מתרחשת בעורקים ההיקפיים נקראת מחלת כלי דם פריפרית
- היצרות חלל העורק מגבירה את הסיכון להיווצרות חסימה מוחלטת (אוטם).
אוטם באחד מעורקי הלב, המוח או אחד האיברים הפנימיים החיוניים, עלול לגרום לגוף כולו נזק חמור עד כדי מוות.

תהליך היווצרות רובד טרשתי בעורקים



מחלת לב כלילית

- נובעת מטרשת בעורקים הכליליים שבעקבותיה מתרחשת היצרות העורקים עם סכנה גוברת לחסימה מוחלטת על-ידי קריש דם.
- גורמי סיכון:
 - גיל - גברים מגיל 45 ונשים מגיל 55.
 - תורשה - התקף לב, צנתור טיפולי, או מוות פתאומי לפני גיל 55 של אב או גבר קרוב משפחה מדרגה ראשונה או לפני גיל 65 של אם או אישה קרובת משפחה מדרגה ראשונה.
- עישון סיגריות
- היעדר פעילות גופנית - לא ביצע פעילות גופנית במשך 30 דק' לפחות, בעצימות בינונית, בתדירות של 3 פעמים בשבוע במהלך שלושת החודשים האחרונים.

- **השמנה** - מדד מסת הגוף של מעל 30 ק"ג/מ"ר או היקף מותניים של מעל 102 ס"מ לגברים ו-88 ס"מ לנשים.
- **יתר לחץ דם** – לחץ דם סיסטולי שווה או גבוהה מ-140 מ"מ כספית ו/או לחץ דם דיאסטולי שווה או גבוה מ-90 מ"מ כספית או שמטופל בתרופות להורדת לחץ דם.
- **רמות גבוהות של כולסטרול בדם** - רמה של LDL כולסטרול מעל 130 מ"ג/100 מ"ל דם או רמות של HDL כולסטרול מתחת ל-40 מ"ג/100 מ"ל דם. אם יש מדידה של רמת כולסטרול כללית בדם בלבד ערכים של מעל 200 מ"ג/100 מ"ל דם מהווים גורם סיכון. רמת HDL כולסטרול מעל ל-60 מ"ג/100 מ"ל דם נחשבת לגורם סיכון "שלילי" כלומר, "מאזנת" - מבטלת" גורם סיכון אחר.
- **מחלת הסכרת** - רמת גלוקוז בצום ששווה או גבוהה ל-126 מ"ג/100 מ"ל דם או המוגלובין מסוכרר שווה או גבוה מ-6.5%.

מחלת לב כלילית עלולה לגרום להתפתחות אירועים לבביים הנקראים **התקף לב**:

- **תעוקת חזה** - מצב של חוסר איזון בין הדרישה לחמצן של שריר הלב לכמות החמצן המסופקת על-ידי העורקים החסומים חלקית מכונה איסכמיה. בזמן האיסכמיה חשים בתעוקת חזה המאופיינת בתחושת לחץ בחזה המלווה בכאב חד או עמום המוקרן לעתים לצוואר, לכתף השמאלית ולאורך הזרוע השמאלית. הכאב נפסק עם היעלמות הגורם, שהביא להעלאת צריכת החמצן של הלב.
- **אוטם שריר הלב** - נגרם עקב חסימה מלאה ופתאומית על-ידי קריש דם של עורק כלילי שהייתה בו היצרות טרשתית מוקדמת. החסימה מונעת מאזור מסוים אספקת דם וגורמת להיווצרות נמק. הנזק לשריר הלב יכול לגרום לאי-ספיקת לב. במקרים מסוימים האוטם עלול לפגוע בהולכה החשמלית ובפעולת ההתכווצות של הלב, שתוצאותיה עלולות להיות חמורות עד כדי מוות.

מחלות לב נוספות

- **אי-ספיקת לב** - מצב שבו משאבת הלב אינה מסוגלת להזרים את הדם לגוף בצורה יעילה. אי-ספיקת לב יכולה לנבוע מחולשת שריר הלב מפאת מחלה, מאוטם בשריר הלב, או ממום מכני במסתמי הלב. כאשר נפגמת פעולתו התקינה של הלב, מצטבר דם בוורידים המוליכים אליו. ברוב המקרים אי-ספיקה פוגעת בשני חדרי הלב. אבל ישנם מצבים שבהם אי-ספיקת הלב היא חד-צדדית. באי-ספיקת לב שמאלי הדם חוזר לעלייה השמאלית ולריאות, ומתפתחת בצקת בריאות. אי-ספיקת לב ימני מאופיינת בבצקת בכבד ובבטן ובנפיחות בקרסוליים.
- **הפרעות קצב** - שינויים בקצב הלב הנובעים מבעיות במערכת ההולכה שניתנים לזיהוי באמצעות רישום הפעילות החשמלית המתרחשת בלב (א-ק-ג).

פעילות הגופנית והפחתת סיכון למחלת לב כלילית (מניעה ראשונית)

- קיים קשר הפוך בין פעילות גופנית בעצימות בינונית לבין תחלואה במחלת לב כלילית. לפעילים ביותר נמצא סיכון נמוך ב-50% ללקות במחלת לב כלילית בהשוואה לניחים ביותר.
- השינויים הבאים הם שאחראים לאפקט החיובי של הפעילות הגופנית בהיבט הבריאותי לבבי:
 - הגדלת נפח הפעימה מייעלת את פעולת הלב במאמץ נתון
 - העלייה ביכולת המיצוי של החמצן מהדם ע"י הרקמות מייעלת את פעולת הלב במאמץ נתון
 - שיפור באספקה הדמית לשריר הלב
 - הקטנת פרק הזמן הנדרש להתאוששות לאחר מאמץ נתון מפחיתה את העומס מהלב.
 - מניעה או עיכוב התפתחות של יתר לחץ דם.
 - הפחתה בקרישיות הדם.

פעילות הגופנית והפחתת סיכון למחלת לב כלילית (מניעה ראשונית)

- שיפור בתפקוד תאי האנדותרל הנמצאים בשכבה הפנימית של כלי הדם, ועקב כך סיכוך טוב יותר של שטח הפנים שבא במגע עם זרימת הדם והפחתת התהליך הטרשתי.
- ירידה בכולסטרול הכללי, עלייה ברמת כולסטרול HDL, ירידה ברמת כולסטרול LDL והפחתה ברמת השומנים בדם.
- הפחתה ברמת האינסולין ושיפור בסבילות לגלוקוז, עקב עלייה ברגישות הקולטנים לאינסולין, שמפחיתים סיכון להתפתחות סוכרת וטרשת עורקים.
- שחרור ממתחים ולחצים נפשיים.
- שמירה על משקל תקין והרכב נכון של רקמות הגוף.
- רכישת הרגלי התנהגות בריאים יותר הכוללים בין השאר גמילה מעישון.

תוכניות שיקום לחולי לב (מניעה שניונית)

תכניות רב-תחומיות העוסקות בהערכה רפואית, בהתאמת אימון גופני, בהפחתת החשיפה לגורמי סיכון, בחינוך ובייעוץ.

שלב שיקומי ראשון (Phase I)

התערבות טיפולית בתקופת האשפוז, לאחר אירוע כלילי חד או ניתוח לב, הכוללת תנועה מבוקרת למניעת נזקים שעלולים להתרחש כתוצאה משכיבה ממושכת.

שלב שיקומי שני (Phase II)

שלב זה מתחיל זמן קצר ככל האפשר (כ-3 שבועות) לאחר השחרור מבית החולים, נמשך 3 עד 6 חודשים. הפעילות הגופנית מבוקרת ומפוקחת ומתקיימת במרכזי שיקום מוכרים.

שלב שיקומי שלישי (Phase III)

דורש בקרה מזערית. מטרתו לשפר ולשמר את ההישגים משלבי השיקום הקודמים.

מוות פתאומי במאמץ

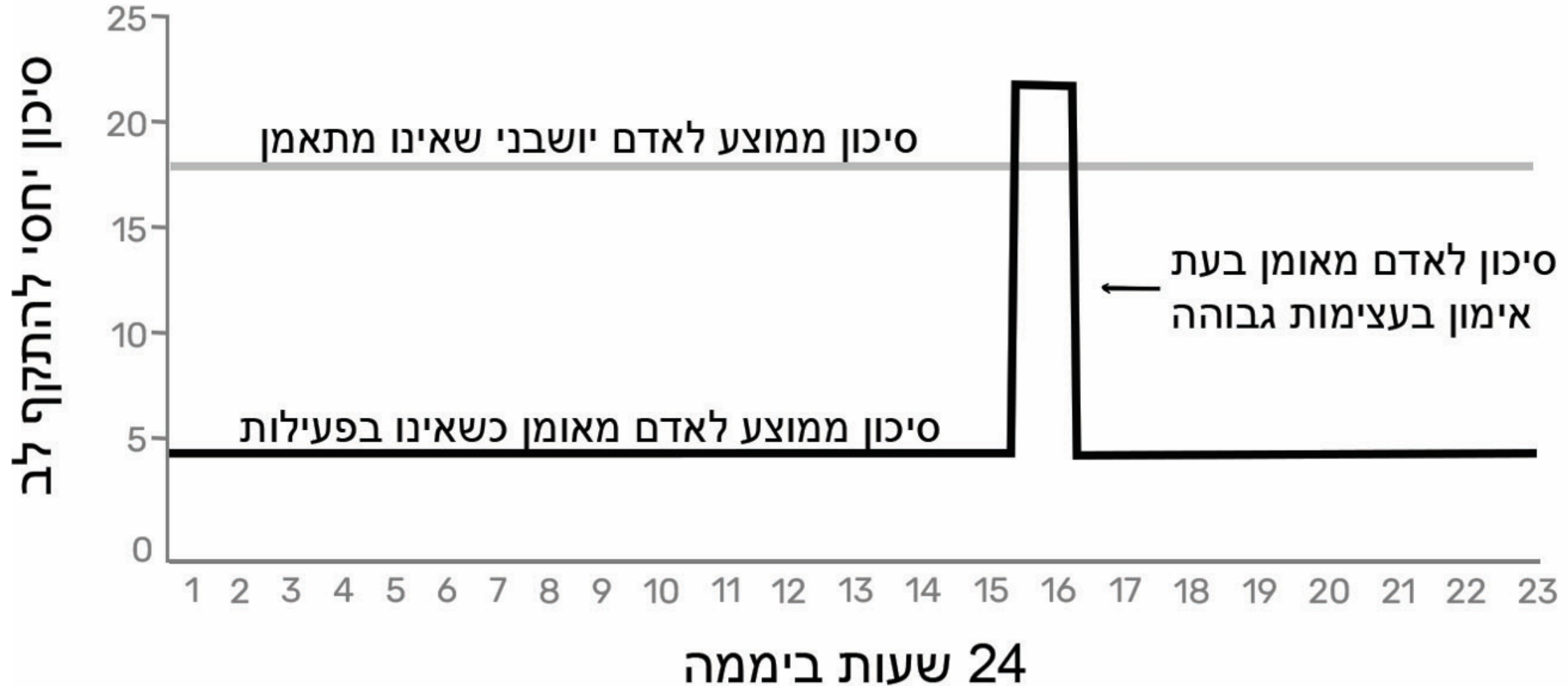
- מוגדר כמוות פתאומי ובלתי צפוי, אשר ארע תוך פעילות גופנית או בסמוך לסיומה.
- כ- 85% ויותר מהסיבות למוות פתאומי במאמץ הן ממקור קרדיאלי
- הסיבות השכיחות למוות פתאומי ממקור לבבי בצעירים:
- קרדיומיופטיה היפרטרופית
- אי תקינות (אנומליה) במוצא העורקים הכליליים
- דלקת בשריר הלב
- פגם מבני באבי העורקים

המאמץ כטריגר לאירוע לבבי

- הסיכון לאירוע לבבי במאמץ נמוך ביותר באנשים בריאים עם מערכת לב וכלי דם תקינה, השומרים על שגרת אימונים שבועית ומבצעים פעילויות בעצימות קלה עד בינונית.
- רמת הסיכון לאירוע לבבי בעת מאמץ תלויה בעצימות המאמץ, בקיומן של מחלות לב (שאובחנו או שהיו סמויות) ובהיקף הפעילות הגופנית השגרתית.
- פעילות גופנית מסודרת ועקבית בעצימות בינונית מפחיתה משמעותית את הסיכון להתקף לב במהלך שעות היום כולל שעת האימון בקרב אנשים עם מחלת לב כלילית.
- ככל שתדירות האימונים גבוהה יותר הסיכון להתקף לב בעת מאמץ עצים נמוך יותר.
- "לוחמי סוף השבוע" נמצאים בסיכון גבוה יחסית להתקף לב בעת מאמץ עצים.

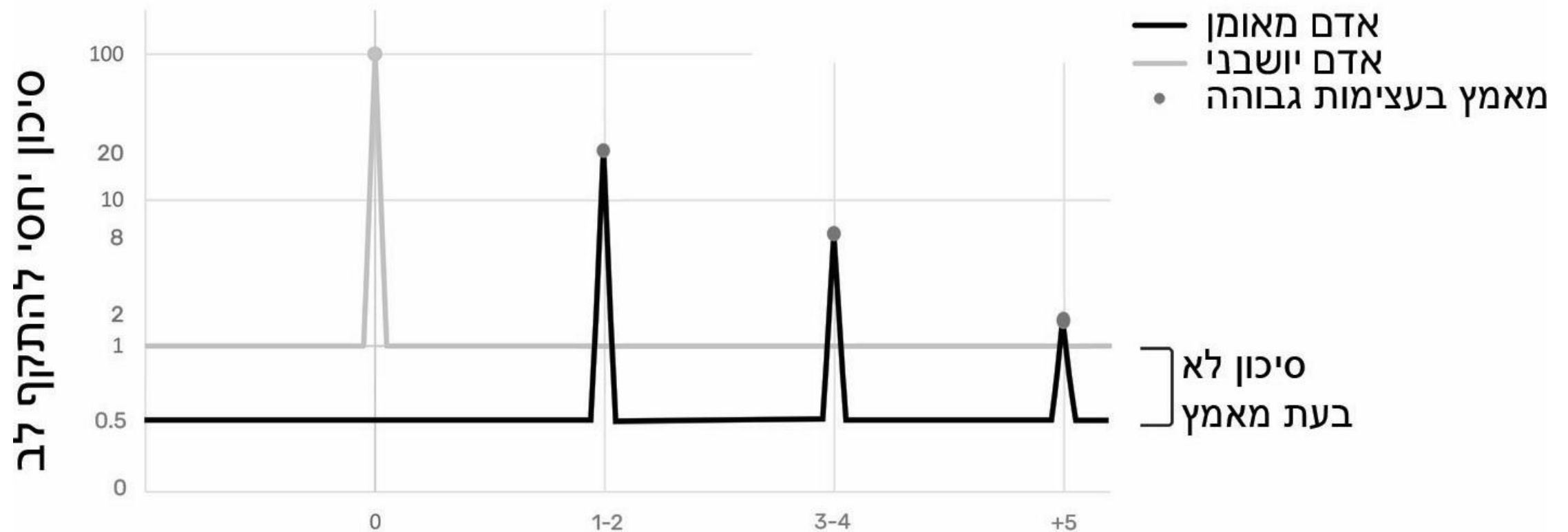
הסיכון להתקף לב של מאומנים ולא מאומנים

הסובלים ממחלת לב כלילית



הסיכון להתקף לב בעת מאמץ בעצימות גבוהה כפונקציה

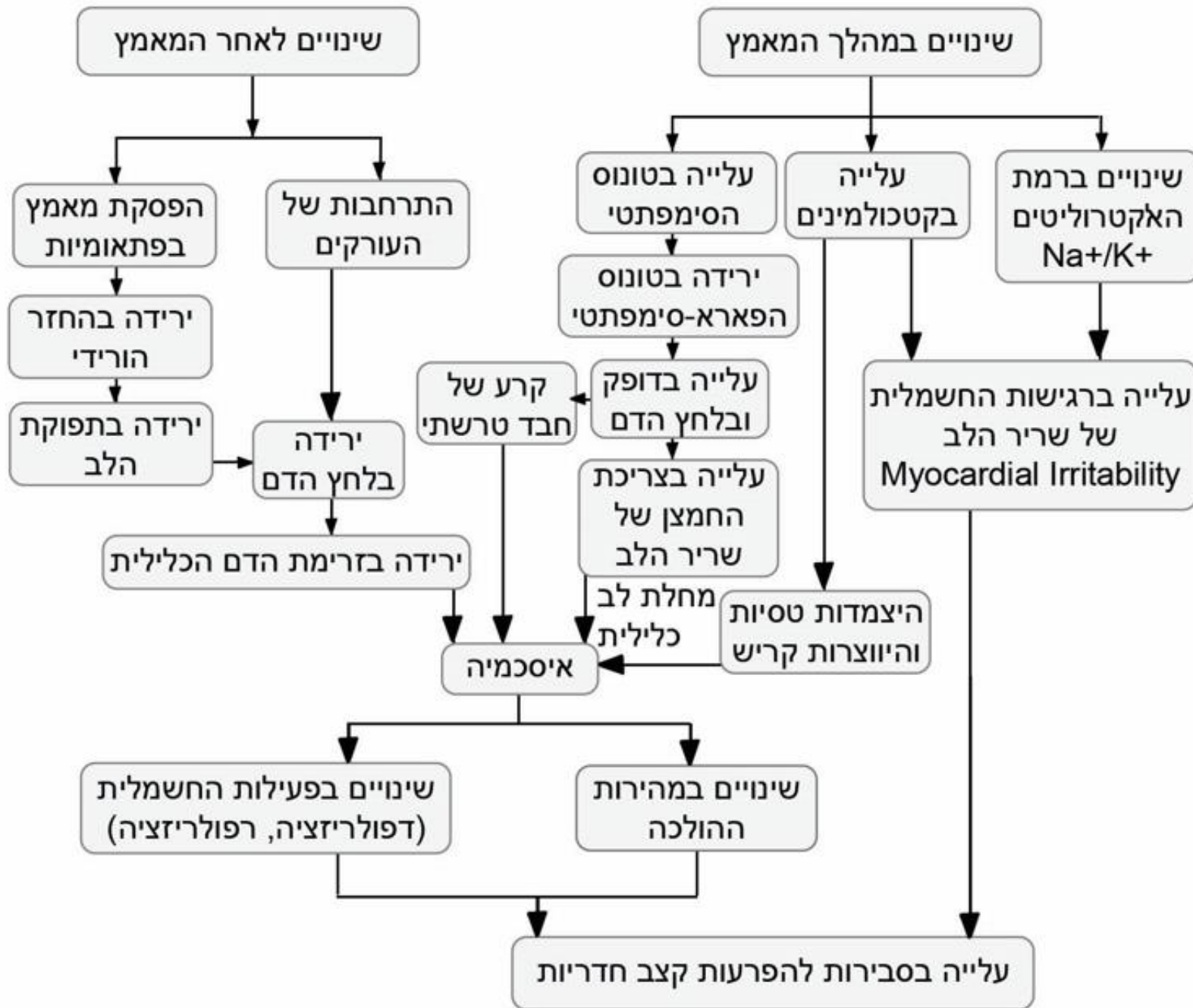
של תדירות האירועים



תדירות שבועית של אימונים בעצימות גבוהה

טריגרים לאירוע לבבי במאמץ:

- טרשת עורקים כליליים שעלולה לגרום לאיסכמיה של הלב ולשיבוש בפעילותו החשמלית.
- עלייה בטונוס הסימפטי וירידה בטונוס הפרא-סמפטי עלולות לגרום להפרעות קצב במצבים שבהם קיימת בעיה במערכת ההולכה.
- ספזם של עורקים כליליים עם תהליך טרשתי, עלול להוביל לאיסכמיה ולשיבוש בפעילות החשמלית.
- עלייה בלחץ הדם, שמגדילה את כוחות החיתוך, עלולה לגרום להינתקות של רובד טרשתי
- שחרור מוגבר של קטכולמינים שעשוי להגביר היצמדות טסיות-דם עם סיכון להיווצרות קרישי דם.
- ירידה ברמת האשלגן עקב אובדן מלחים בהזעה במהלך מאמץ עצים וממושך ביום חם, שעשויה להגביר את הסיכון להפרעות קצב חדריות.
- מכה בבית-החזה הגורמת להפרעת קצב חדרית ולדום לב.



**מנגנונים אפשריים
להתרחשות אירוע לבבי
במאמץ או מיד אחריו**

הפחתת סיכון לאירוע לבבי במאמץ

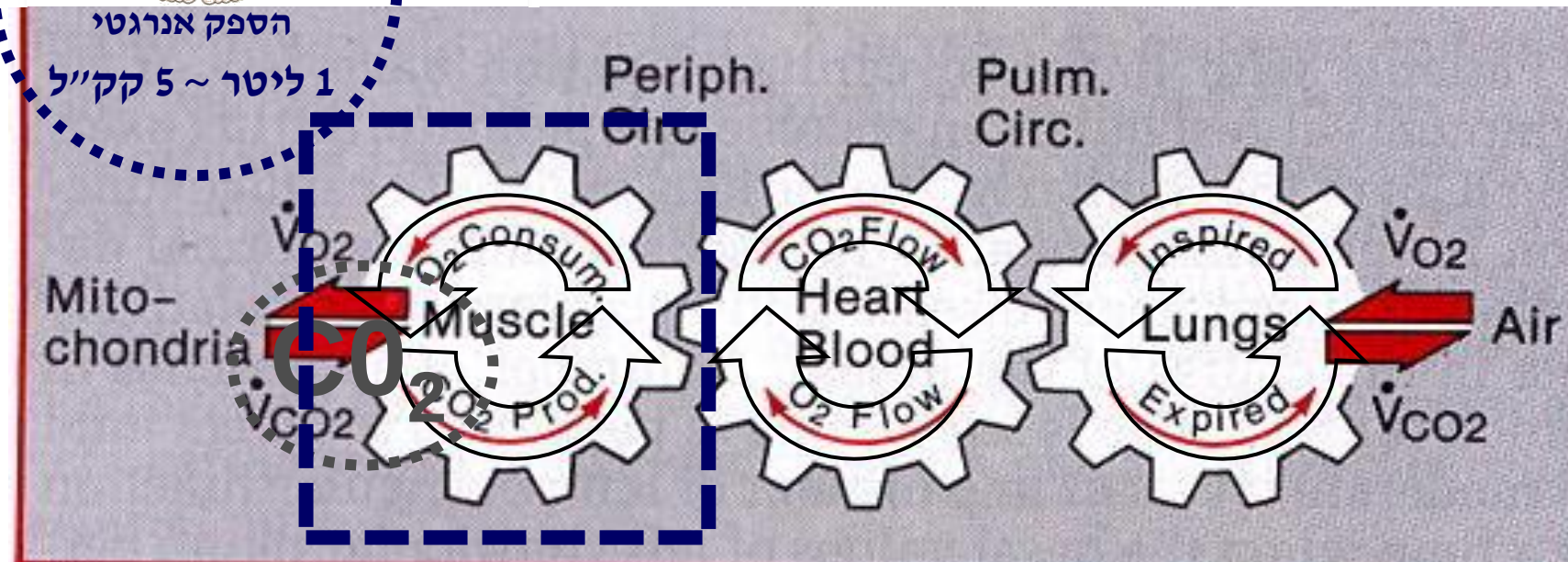
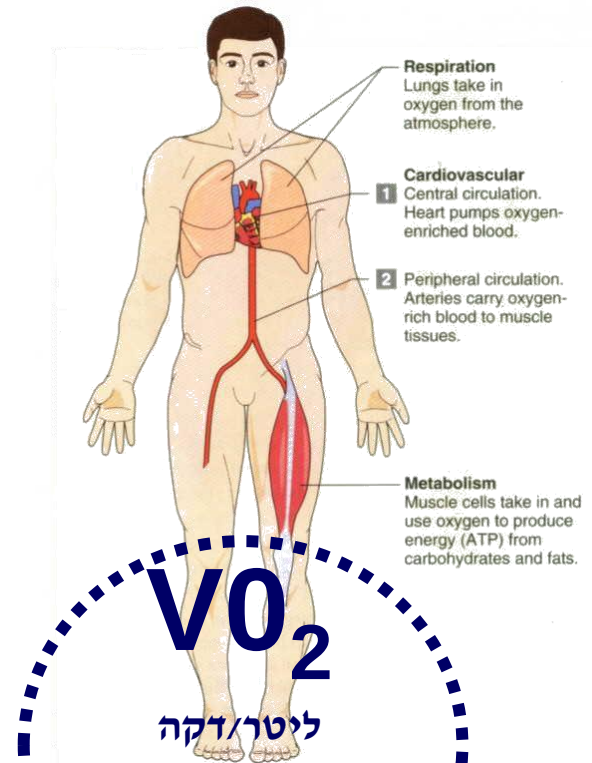
- הקפדה על הערכה רפואית מקדימה (בהתאם לצורך)
- ביצוע חימום ושחרור מתאימים
- עיתוי האימון (בוקר... לא מומלץ...) והימנעות ממצב של עקת חום

שילוב המערכות לצורך

אספקת אנרגיה

במסלול האירובי

שרשרת פיזיולוגית



סכמה של המסלול האירובי

