

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



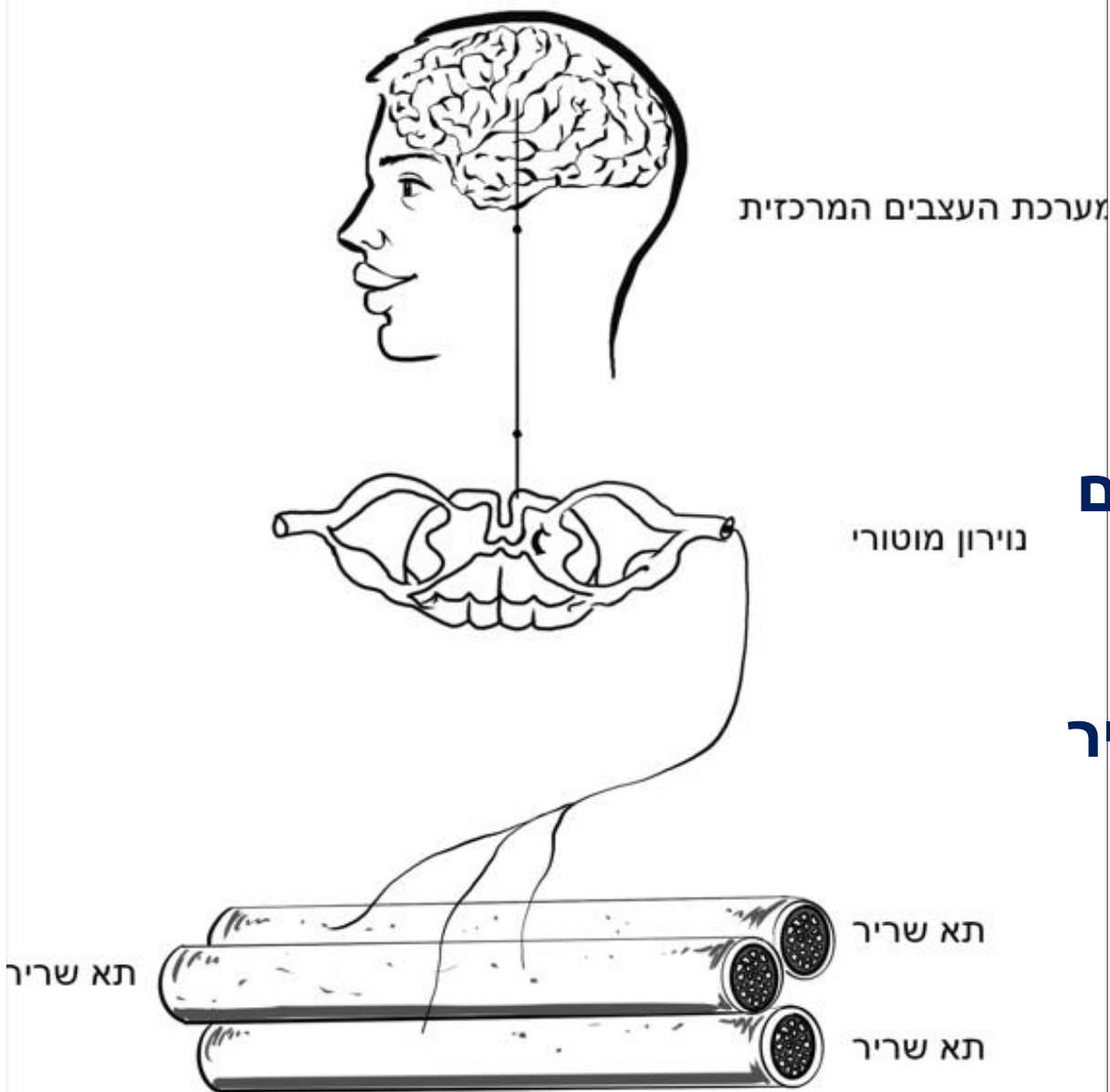
— שחר ניס —

פרק 2.7

מאפייני הפעולה של

היחידה המוטורית

והשריר השלם



יחידה מוטורית (Motor unit)

- נוירון מוטורי יחד עם תאי השריר שאותם הוא מעצבב
- יחידת התפקוד הקטנה ביותר של השריר

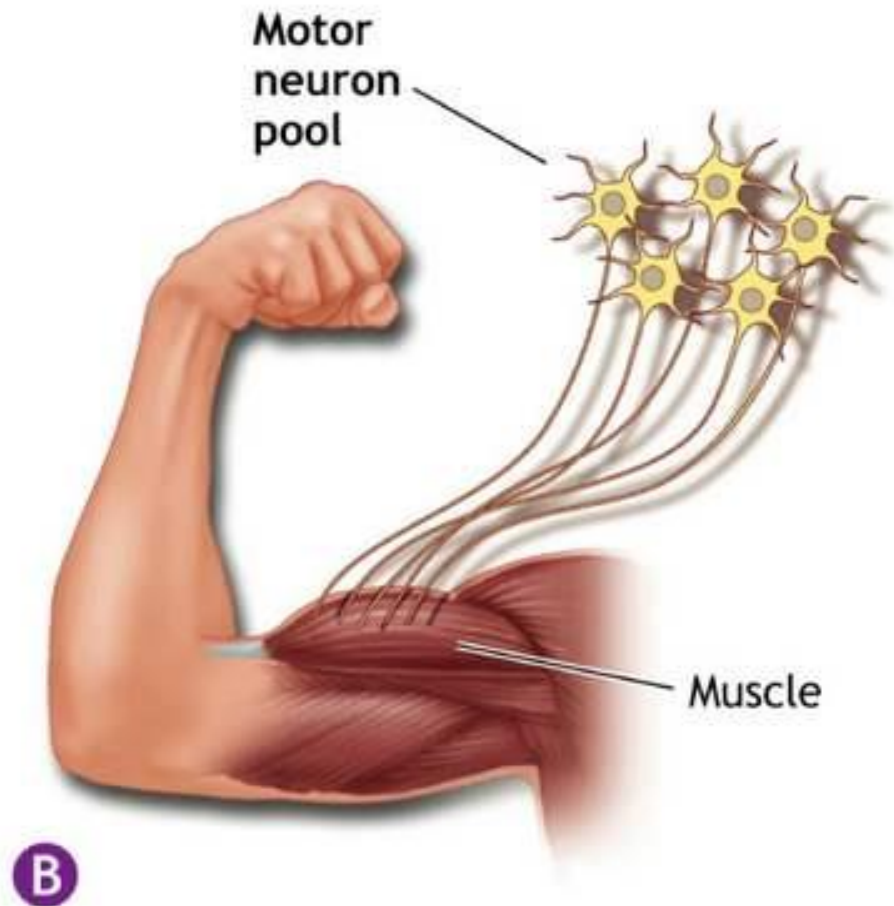


Figure 19.9. Motor unit and motor neuron pool. **B.** Motor neuron pool represents all the α motor neurons that innervate one muscle.

Copyright © 2001 Lippincott Williams & Wilkins

מאגר של יחידות מוטוריות

המרכיבות את השריר השלם

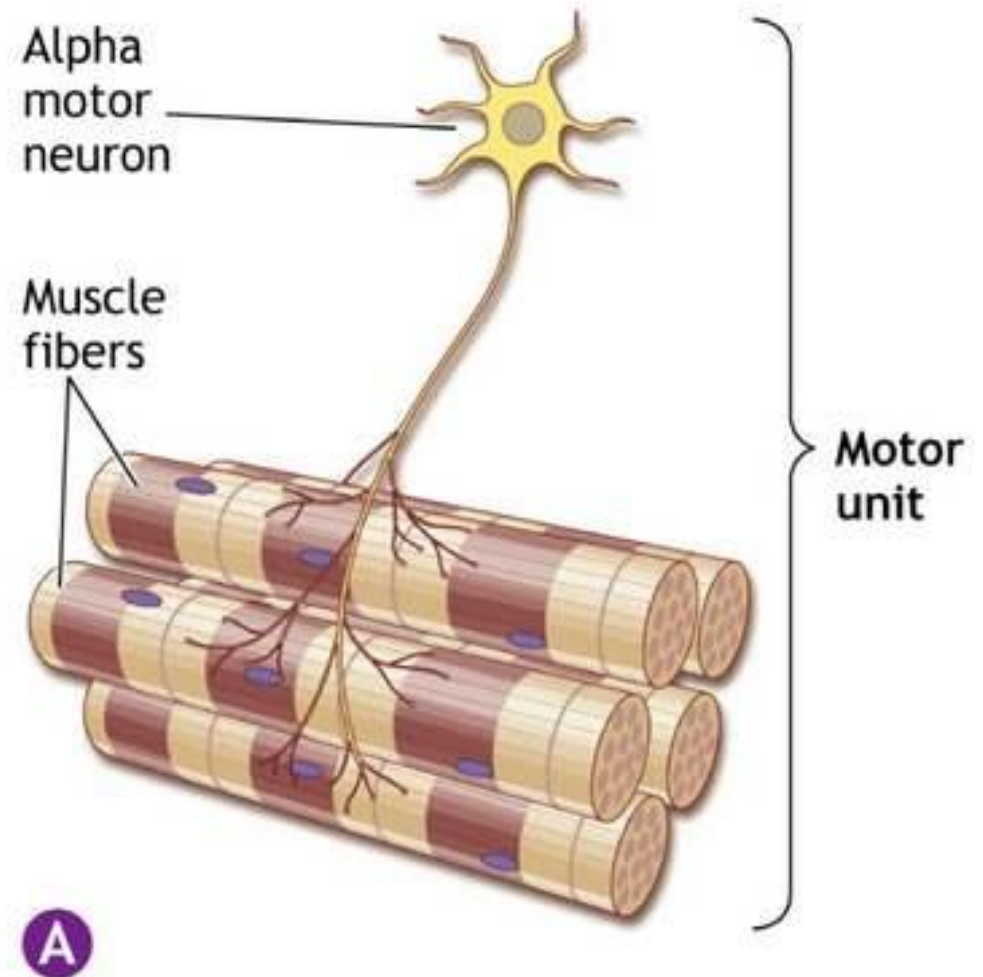


Figure 19.9. Motor unit and motor neuron pool. **A.** Motor unit represents an α -motoneuron and the fibers it innervates.

Copyright © 2001 Lippincott Williams & Wilkins

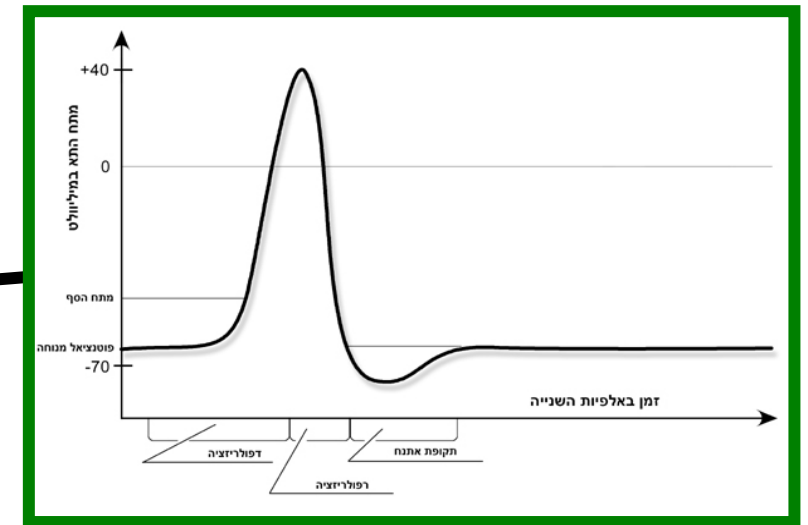
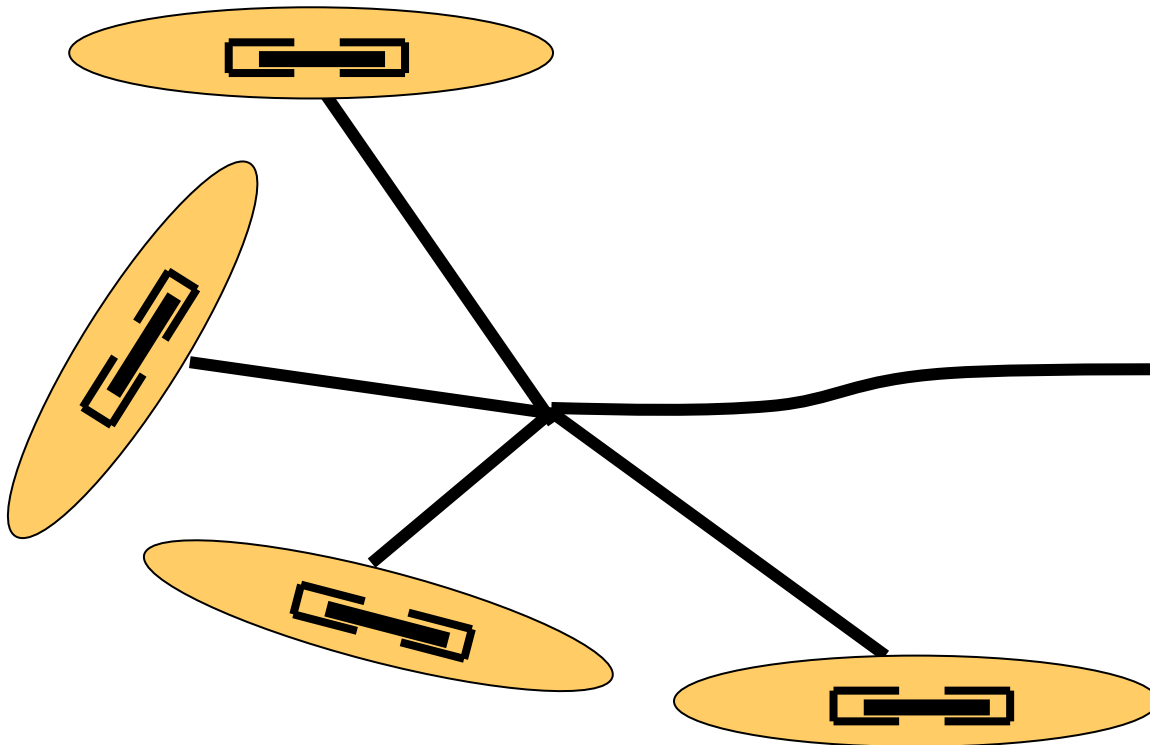
יחידה מוטורית

יחידה מוטורית (Motor unit)

תאי השריר הכלולים בה פועלים, כתגובה לגירוי בודד (טוויץ'),

על-פי העיקרון של הכול או לא כלום ויכולים להימצא בהרפיה

מלאה או התכווצות מרבית.



שאלה: האם יש הבדל בכמות הכוח שהשרירים יכולים להפיק?

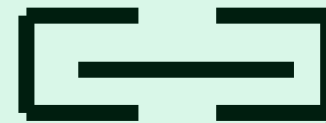
1,000 תאי שריר

100 יחידות מוטוריות



1,000 תאי שריר

10 יחידות מוטוריות





שרירי האצבעות

כ- 340 תאי שריר/יחידה מוטורית

דו-ראשי

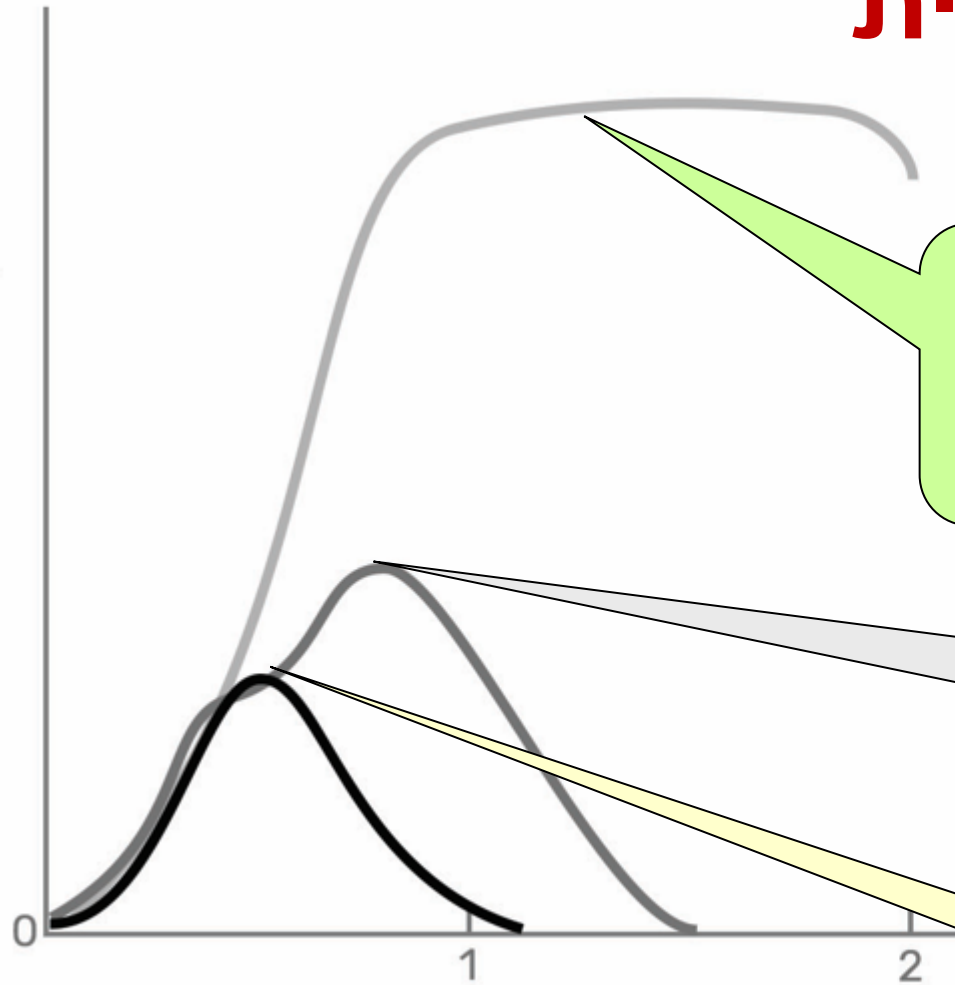
כ- 750 תאי שריר/יחידה מוטורית

תאומים

כ- 1800 תאי שריר/יחידה מוטורית

סוגי התכונות של יחידה מוטורית

עוצמת ההתכווצות



התכווצות טטאנית

(תדירות של 30-60 גירויים/שנייה)

סיכום

(סומציה)

טוויץ'

פי 1.5-10

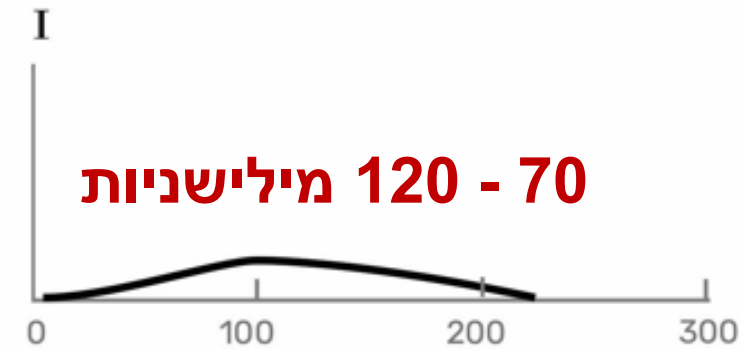
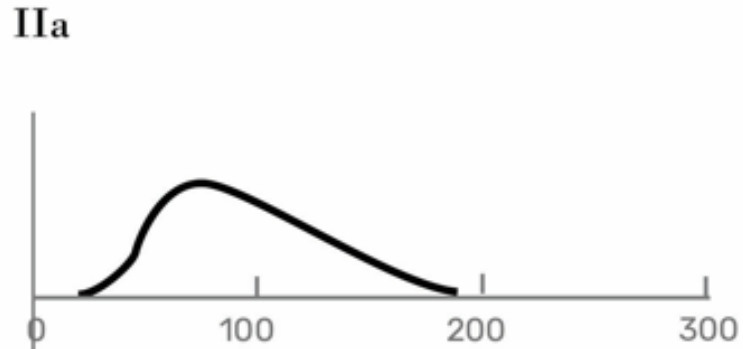
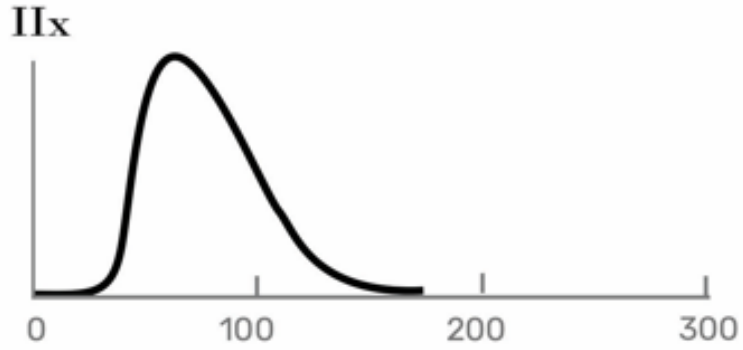
משך ההתכווצות (שניות)

סוגי יחידות מוטוריות

- יחידות מסוג I הנקראות גם איטיות, עמידות להתעייפות, חמצוניות או יחידות אדומות (Type I, ST - Slow-twitch fibers)
- יחידות מסוג IIa המכונות גם יחידות מהירות ועמידות להתעייפות או יחידות ורודות (Type IIa, FTa, FR - Fast contracting-fatigue Resistant fibers)
- יחידות מסוג IIx הנקראות גם יחידות מהירות, מתעייפות, גליקוליטיות או יחידות לבנות (Type IIx, FF - Fast Fatigue, FTb - Fast-twitch fibers)

מהירות ההתכווצות במהלך טוויץ'

20 - 70 מילישניות



70 - 120 מילישניות

זמן (מילישניות)

עוצמת ההתכווצות

- כמויות האנזים ATPase
- זמינות ה-ATP = הספק האנרגטי של מסלולי אספקת האנרגיה
- מהירות השחרור של יוני הסידן
- קוטר האקסונים שמעצבים את היחידות המוטוריות

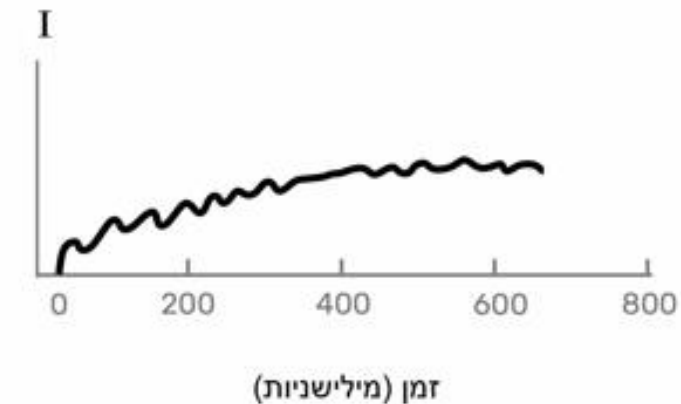
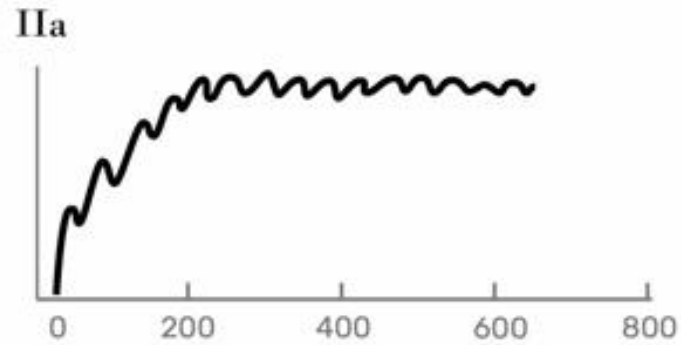
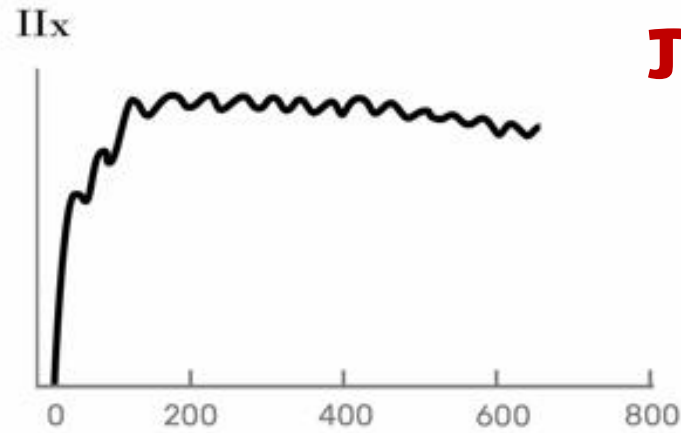
היכולת לפתח כוח מרבי בהתכווצות טטאנית

- מספר תאי השריר ביחידה המוטורית.

- קוטרם של תאי השריר השייכים ליחידה המוטורית.

- מספר גשרי רוחב של מיוזין בחתך רוחב נתון של תא שריר.

- כמות יוני הסידן בסיבים וכושר שחרורם מהמאגרים הצמודים לרשת הסרקופלסמית.



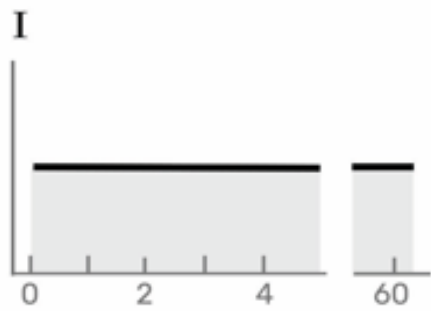
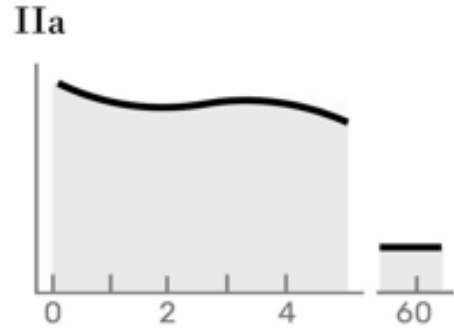
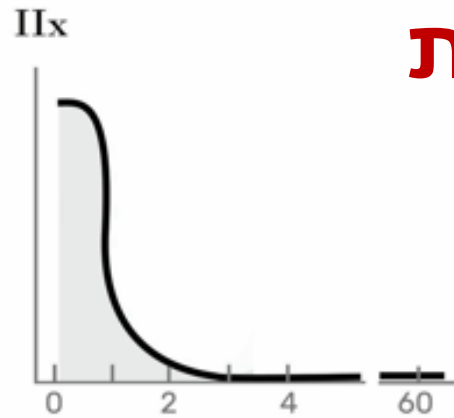
זמן (מילישניות)

רמת כוח (מתח)

ההתנגדות להתעייפות של היחידות המוטוריות

- יחידות שבהן המסלול האירובי הוא ספק האנרגיה העיקרי בתאי השריר, מאופיינות ביכולת התנגדות גבוהה להתעייפות.
- יחידות שבהן המסלולים האנאירוביים הם ספקי האנרגיה העיקריים בתאי השריר, יגלו יכולת פחותה להתנגד להתעייפות.

רמת כוח (מתח)



זמן (דקות)

IIx	IIa	I	תאי שריר/יחידה מוטורית
			מאפיין
גבוהה מאוד	גבוהה	נמוכה	פעילות האנזים ATPase
גבוהה מאוד	גבוהה	נמוכה מאוד	יכולת לספק אנרגיה במטבוליזם אנאירובי (כמות האנזימים המעורבים בגליקוליזה)
גבוהה מאוד	גבוהה	איטית	מהירות השחרור של יוני הסידן מהמאגרים
גדול מאוד	גדול	קטן	קוטר העצב המוטורי
מהירה מאוד	מהירה	איטית	מהירות התכווצות - היכולת להגיע מהר להתכווצות מרבית

תאי שריר/יחידה מוטורית	I	Ila	Ila
מאפיין			
קוטר תאי השריר השייכים ליחידה	קטן	בינוני	גדול
מספר תאי השריר ביחידה מוטורית	$300 \geq$	$300 \leq$	$300 \leq$
מספר גשרי רוחב של מיוזין בחתך רוחב נתון של תא שריר	קטן	בינוני	גדול
כמות יוני הסידן בתא השריר וכושר שחרורם	קטנה	בינונית	גדולה
המתח המרבי שהיחידה יכולה לפתח	מועט	בינוני - גדול	גדול

תאי שריר/יחידה מוטורית				מאפיין
Ia	Ia	I	תכולת מיטוכונדריה	
נמוכה מאוד	בינונית - גבוהה	גבוהה מאוד	צפיפות נימי דם	
נמוכה	גבוהה	גבוהה	תכולת מיוגלובין (מאפשר מיצוי גבוה של החמצן מהדם)	
נמוכה מאוד	בינונית - גבוהה	גבוהה - גבוהה מאוד	תכולת טריגליצרידים (חומצות שומן) בתוך תאי השריר	
נמוכה	גבוהה	גבוהה מאוד	יכולת לספק אנרגיה במטבוליזם אירובי	
נמוכה מאוד	בינונית - גבוהה	גבוהה - גבוהה מאוד	סבולת - היכולת לשמור את המתח המרבי לאורך זמן	
נמוכה מאד	טובה	טובה מאוד		

תאי שריר/יחידה מוטורית	I	Ila	Iax
מאפיין			
תכולת גליקוגן	נמוכה	בינונית	גבוהה
צבע	אדום - אדום כהה	אדום - ורוד	לבן

פרופיל שרירי

- היחס בין מספר סיבי השריר בשריר מסוים, השייכים ליחידות המוטוריות השונות.
- נקבע באופן תורשתי.
- הפרופיל השרירי הממוצע של רוב שרירי השלד הינו: 50% סוג I, 25% סוג IIa , ו- 25% סוג IIx
- הפרופיל של שרירים שונים אצל אותו אדם איננו זהה.
- קיים שוני גדול בפרופיל השרירי של אנשים שונים.

פרופורציית הסיבים האיטיים

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

רצי מרתון

שחיינים

רצים למרחקים ארוכים

רצי ניווט

שחקני הוקי קרח

הלכים תחרותיים

חותרי קאנו

רוכבי אופניים

זורקי כידון

רצי 800 מ'

אנשים שאינם ספורטאים

מרימי משקולות

הודפי כדור ברזל

קופצים וספרינטים

טווח

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

פרופורציית הסיבים המהירים

פרופיל שרירי של

ספורטאים בענפים שונים

ביופסיה

סיב ורוד

סיב אדום

סיב לבן

IIB

I

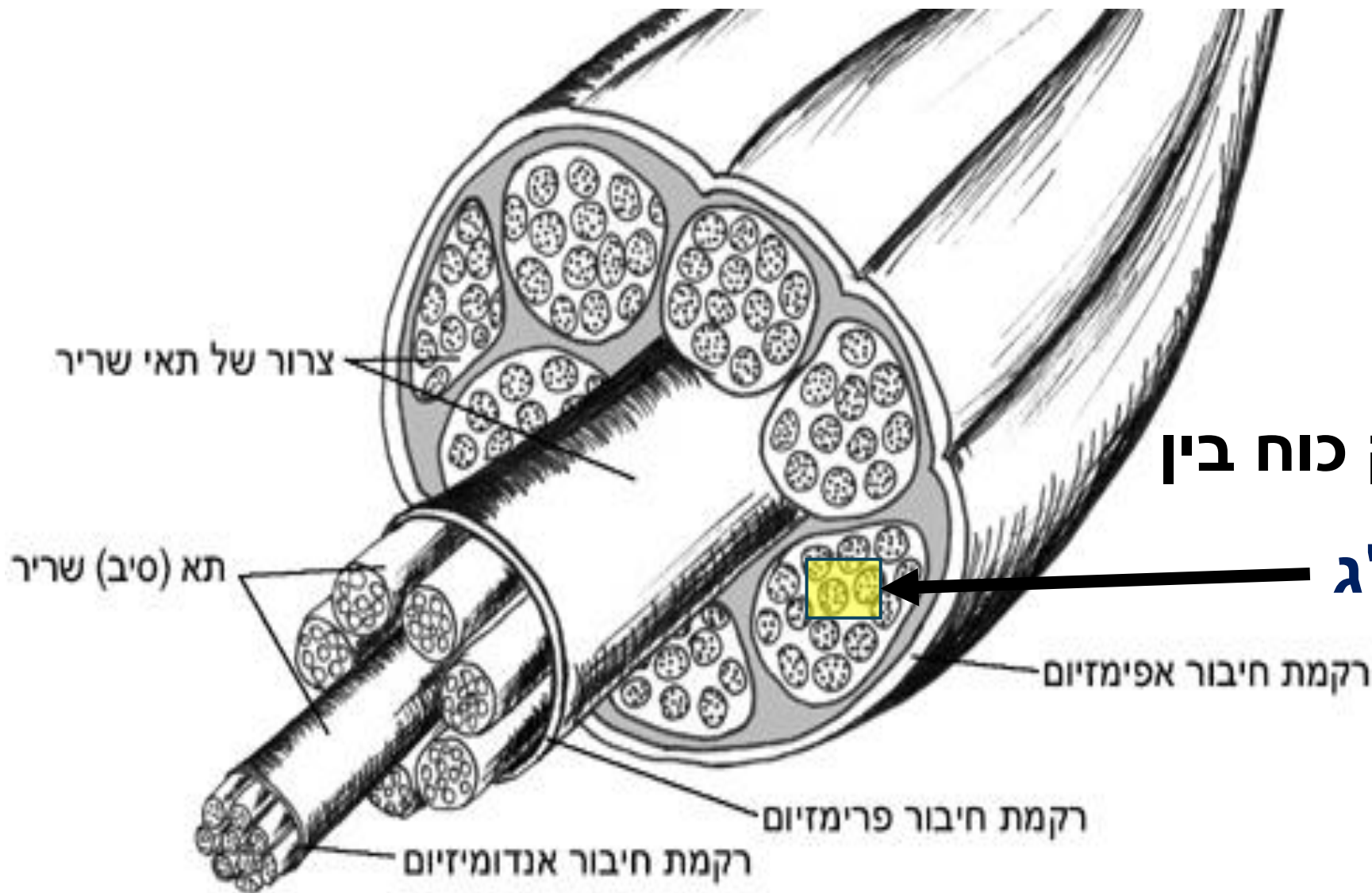
IIC

IIA

Instained



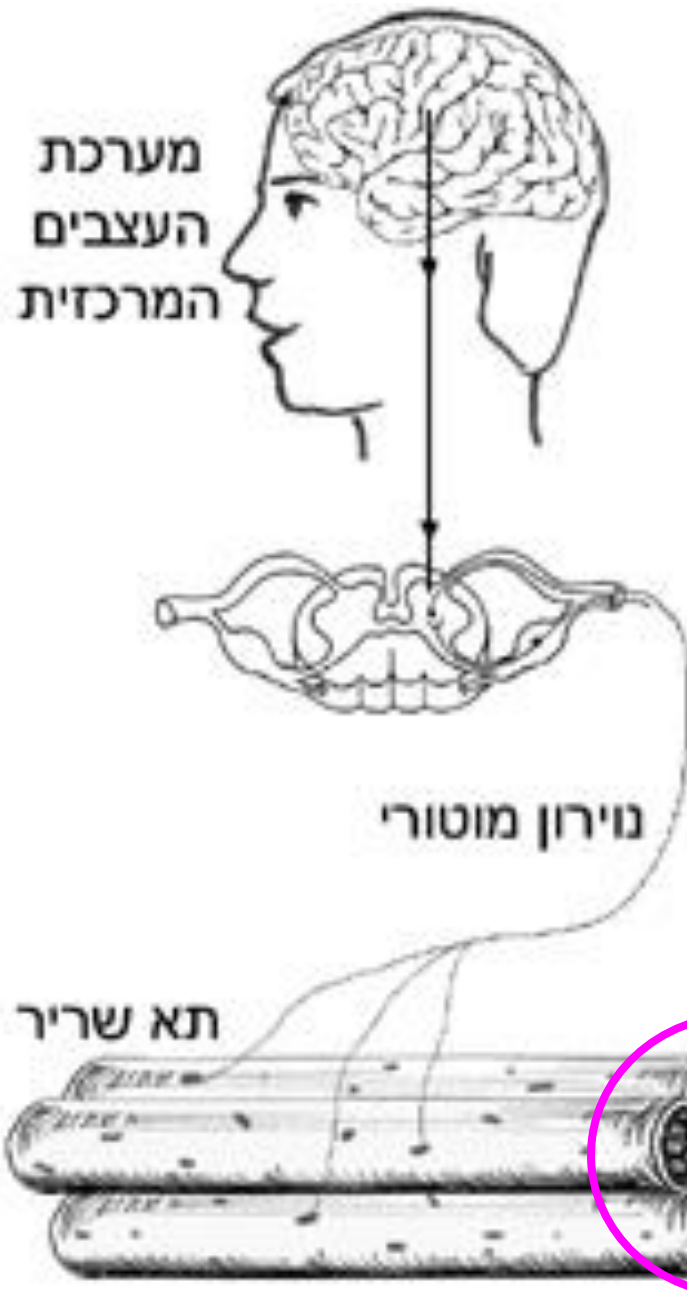
הכוח המופק ע"י שריר ברגע נתון תלוי בחתך הרוחב הפעיל



כל סמ"ר פעיל מפיק כוח בין

4.5 ל- 8.9 ק"ג

גודל חתך הרוחב הפעיל נקבע ע"י:



מספר היחידות
המוטוריות המגויסות

מספר תאי השריר
ביחידות המגויסות

גודל/קוטר תאי השריר



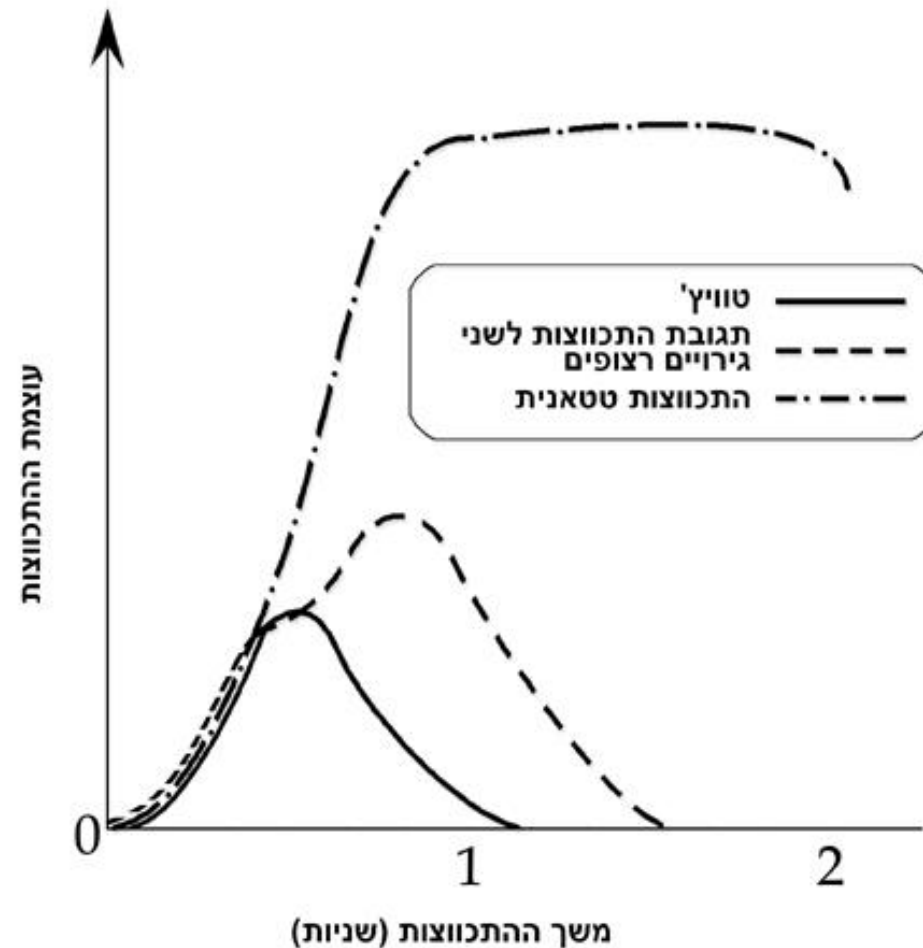
סוג
היחידות

הכוח המופק על-ידי שריר שלם ברגע נתון:

- תלוי בחתך הרוחב של השריר המופעל באותו הזמן.
- טווח הכוח נע בין 4.5 ל-8.9 ק"ג/סמ"ר חתך רוחב (ממוצע של כ-6.5 ק"ג/סמ"ר).
- אין הבדל בין גברים ונשים ברמת הכוח לסמ"ר שריר חתך הרוחב הפעיל נקבע על-ידי:
 - מספר היחידות המוטוריות המופעלות
 - מספר תאי השריר בכל יחידה. ביחידות מוטוריות מסוג II ישנם יותר תאי שריר מאשר ביחידות מסוג I ולכן יש להן פוטנציאל להפיק יותר כוח.
 - קוטר תאי שריר (כמות המיופיברילים בתאים)

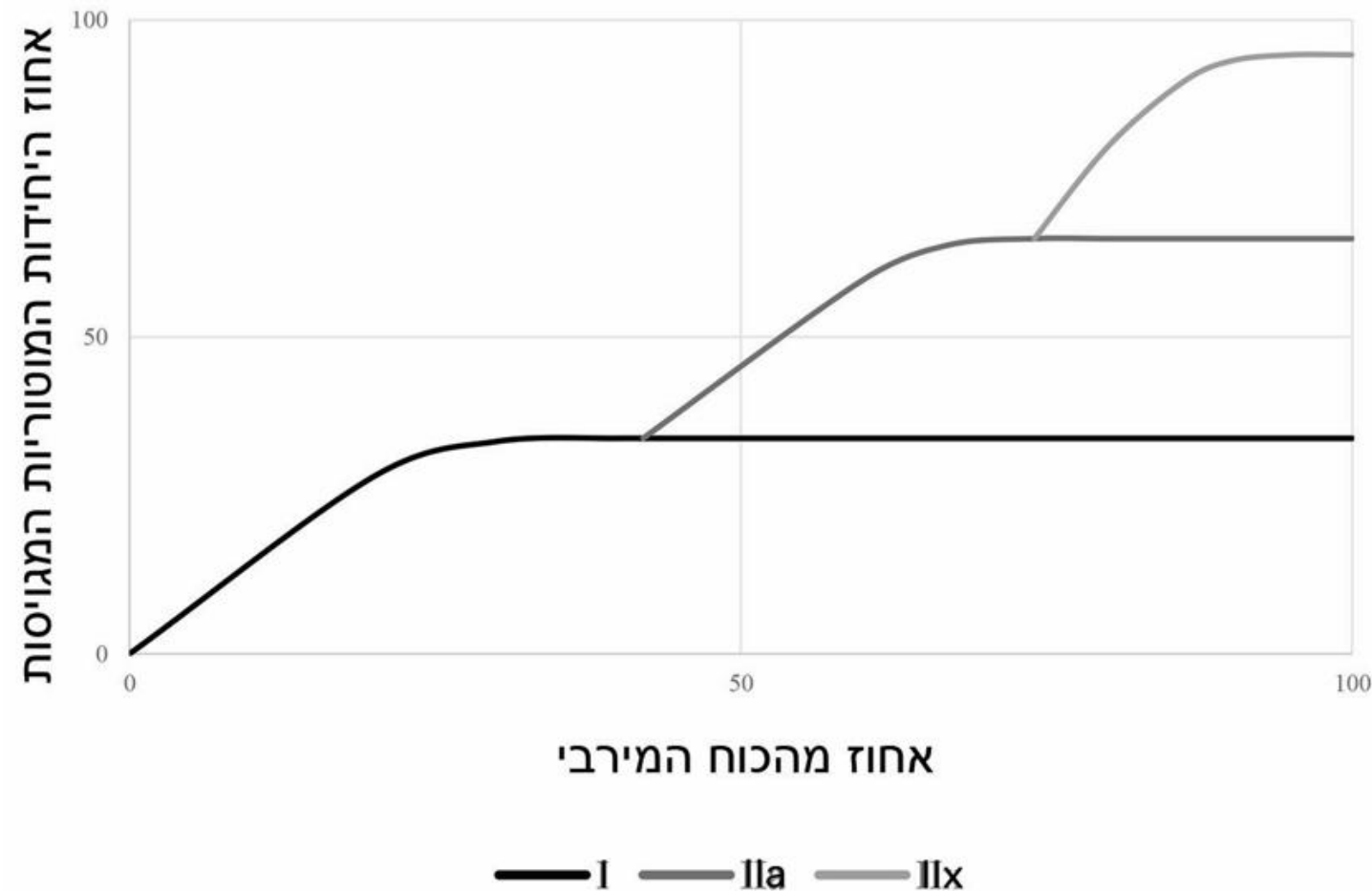
ויסות עוצמת הכוח של השריר השלם

- הגברת תדירות הגירויים = הגעה להתכווצות טטאנית



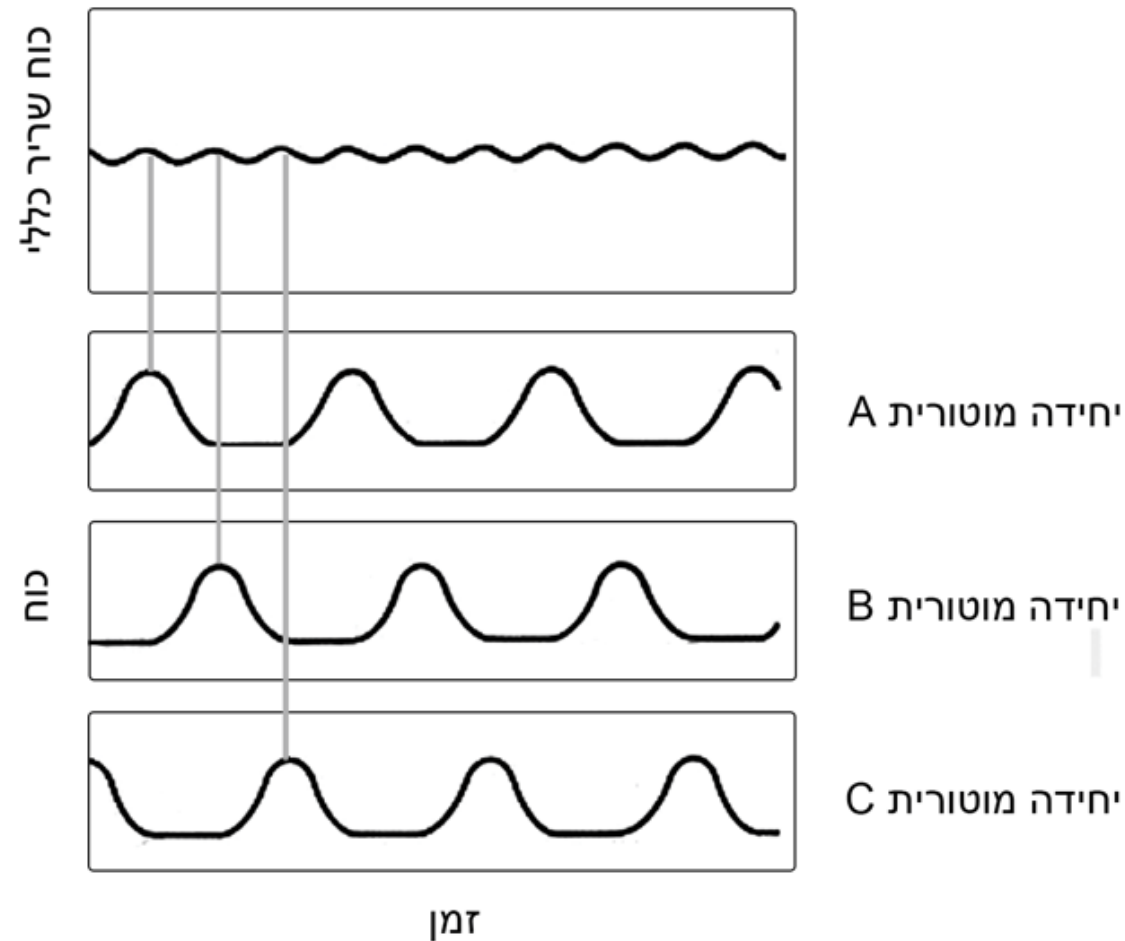
ויסות עוצמת הכוח של השריר השלם

- ויסות של כמות וסוג היחידות המוטוריות המגויסות - עקרון הגודל



ויסות עוצמת הכוח של השריר השלם

- סינכרוניזציה של היחידות המוטוריות





סיכום: הגברת עוצמת ההתכווצות בשריר השלם

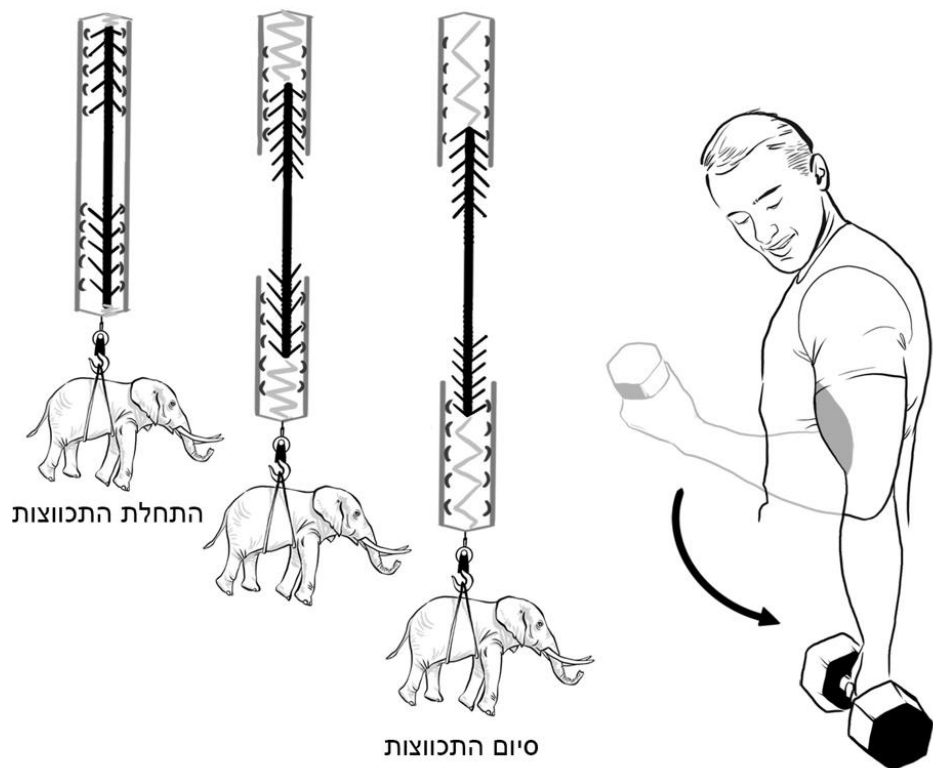
- הגברת תדירות "רד - משוך" = הגברת תדירות גירויים (טטאני)
- הוספת מושך/ים = גיוס יחידות מוטוריות נוספות
- משיכה בקצב אחיד ובכיוון אחד = סינכרוניזציה

קואורדינציה תוך שרירית

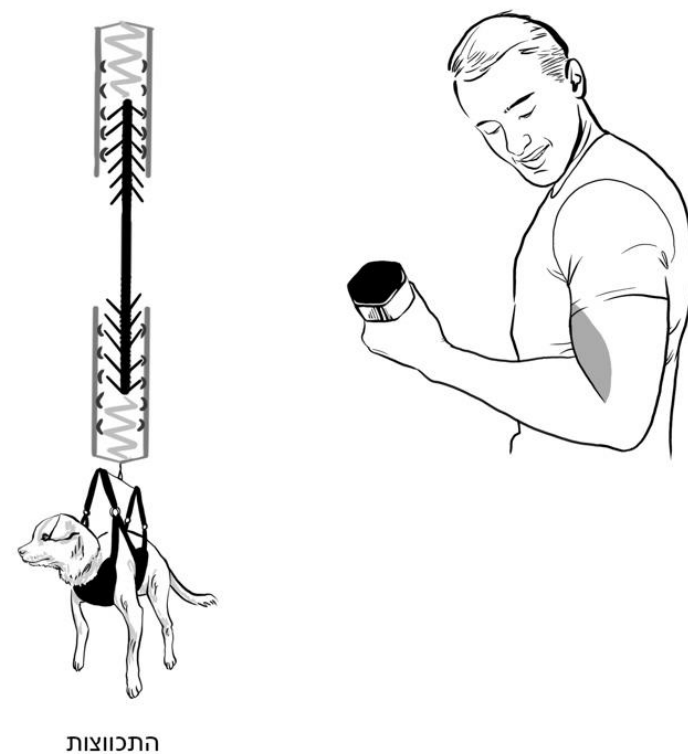
הכוח המרבי ששריר נתון מפתח בהתכווצות אקסצנטרית,

גדול בכ- 30% מהכוח שהוא מפתח בהתכווצות איזומטרית

התכווצות דינמית אקסצנטרית



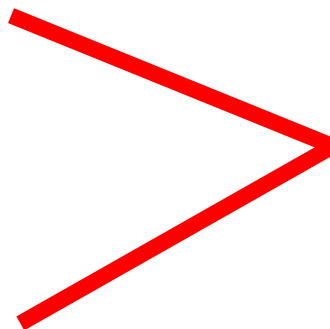
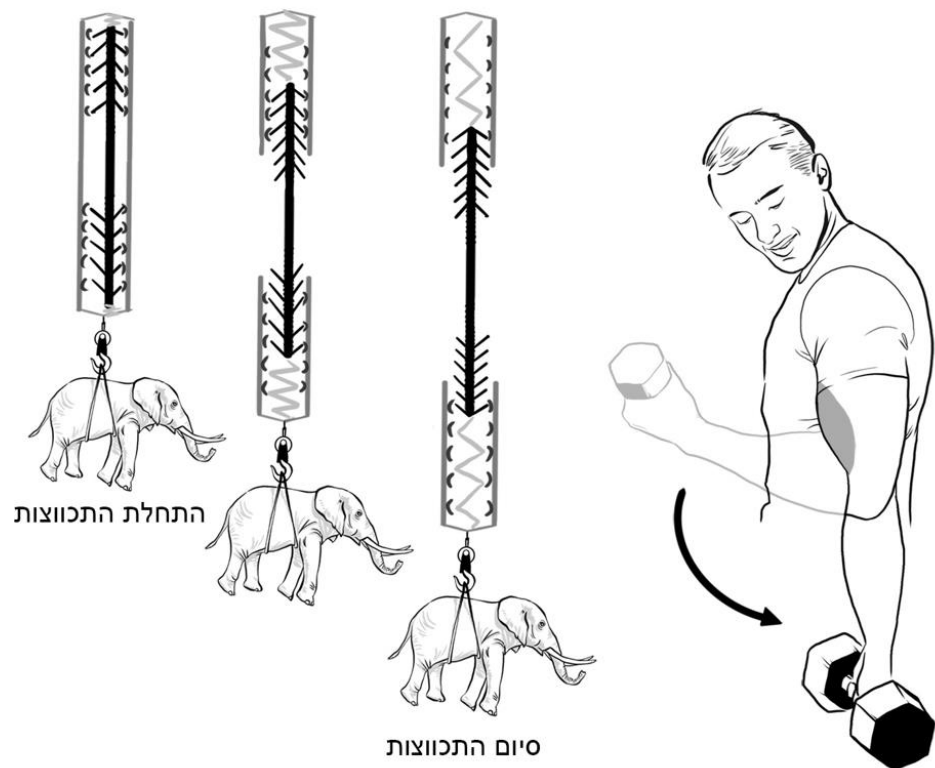
התכווצות סטטית איזומטרית



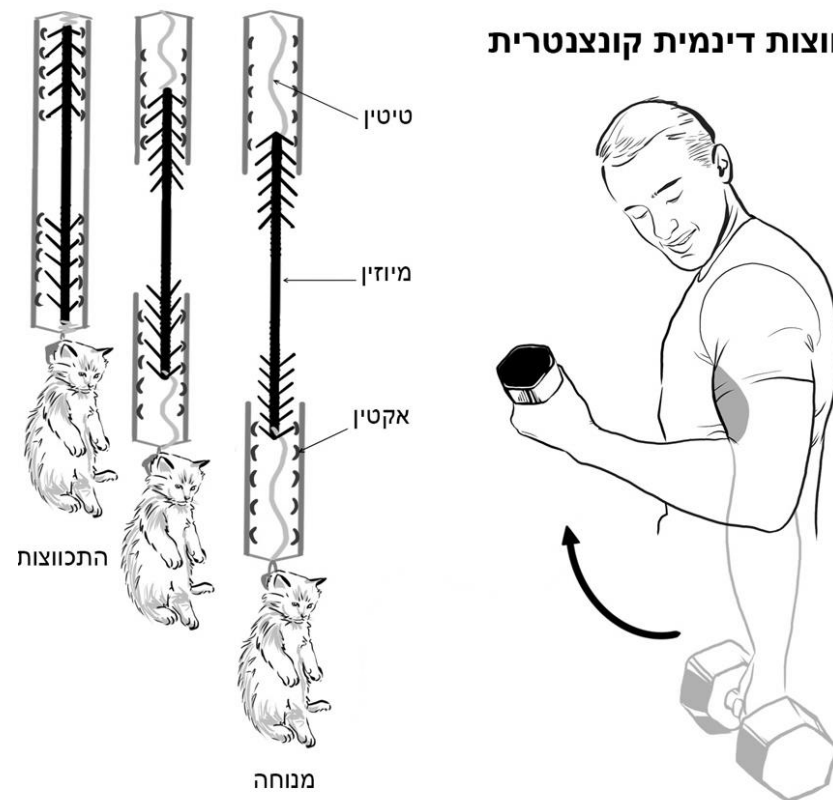
הכוח המרבי ששריר נתון מפתח בהתכווצות אקסצנטרית,

גדול בכ- 40% מהכוח שהוא מפתח בהתכווצות קונצנטרית

התכווצות דינמית אקסצנטרית



התכווצות דינמית קונצנטרית



קואורדינציה בין-שרירית

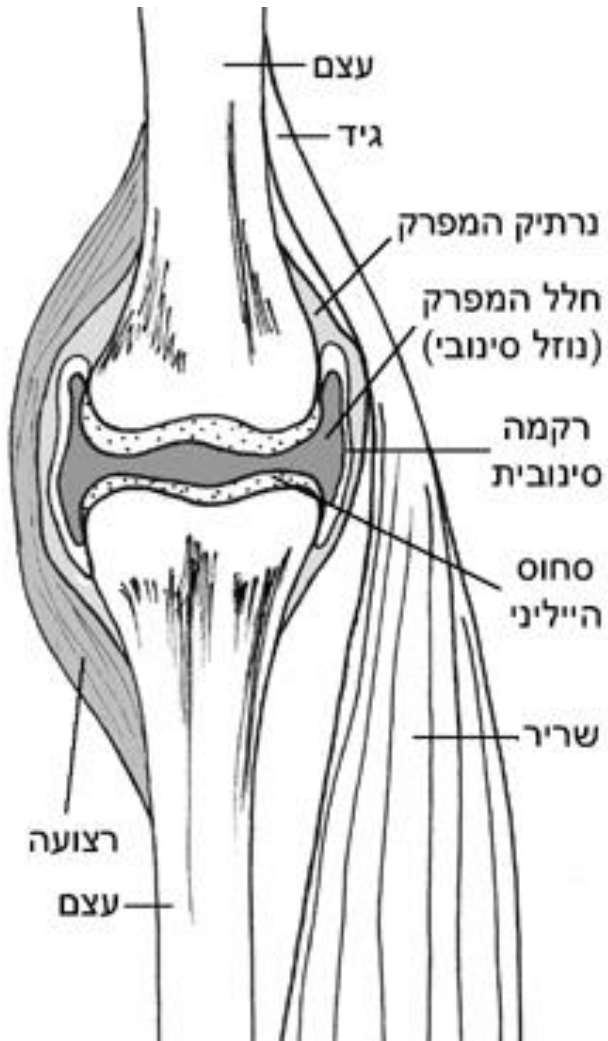
היכולת להפעיל באופן רצוני את קבוצות השרירים הרצויות
בתזמון ובתיאום הנכונים, ומצד שני להרפות את השרירים הלא

נחוצים.

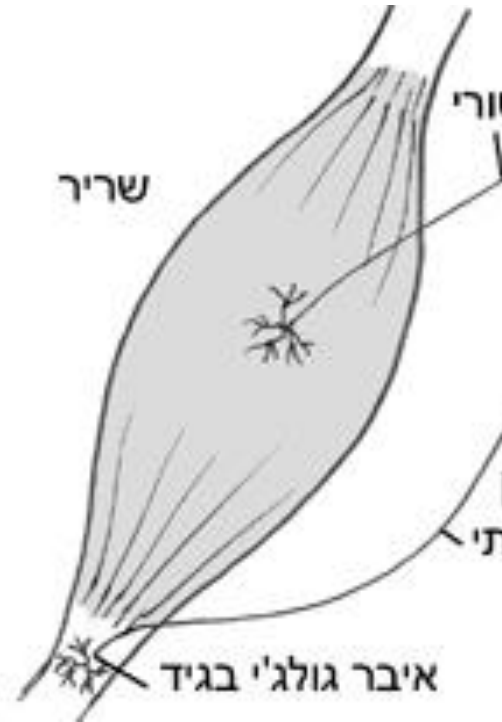


פרוריוצפטורים - ספקי מידע על

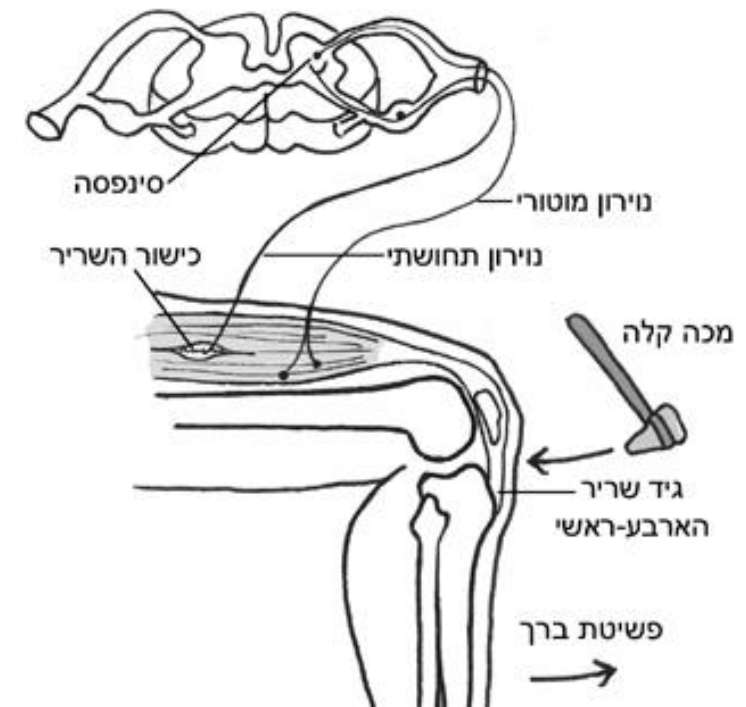
תנוחת הגוף ושינויים בתנוחת הגוף.



מכנו-רצפטורים



איבר גולג'י בגיד



כישור השריר

רפלקס הברך

כישור השריר - תאים מיוחדים, שבתוכם מצוי קולטן

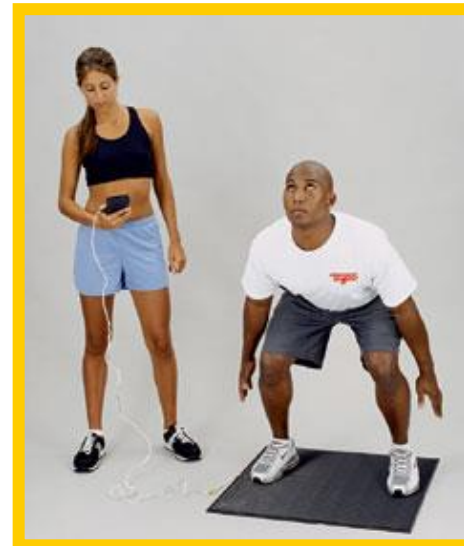
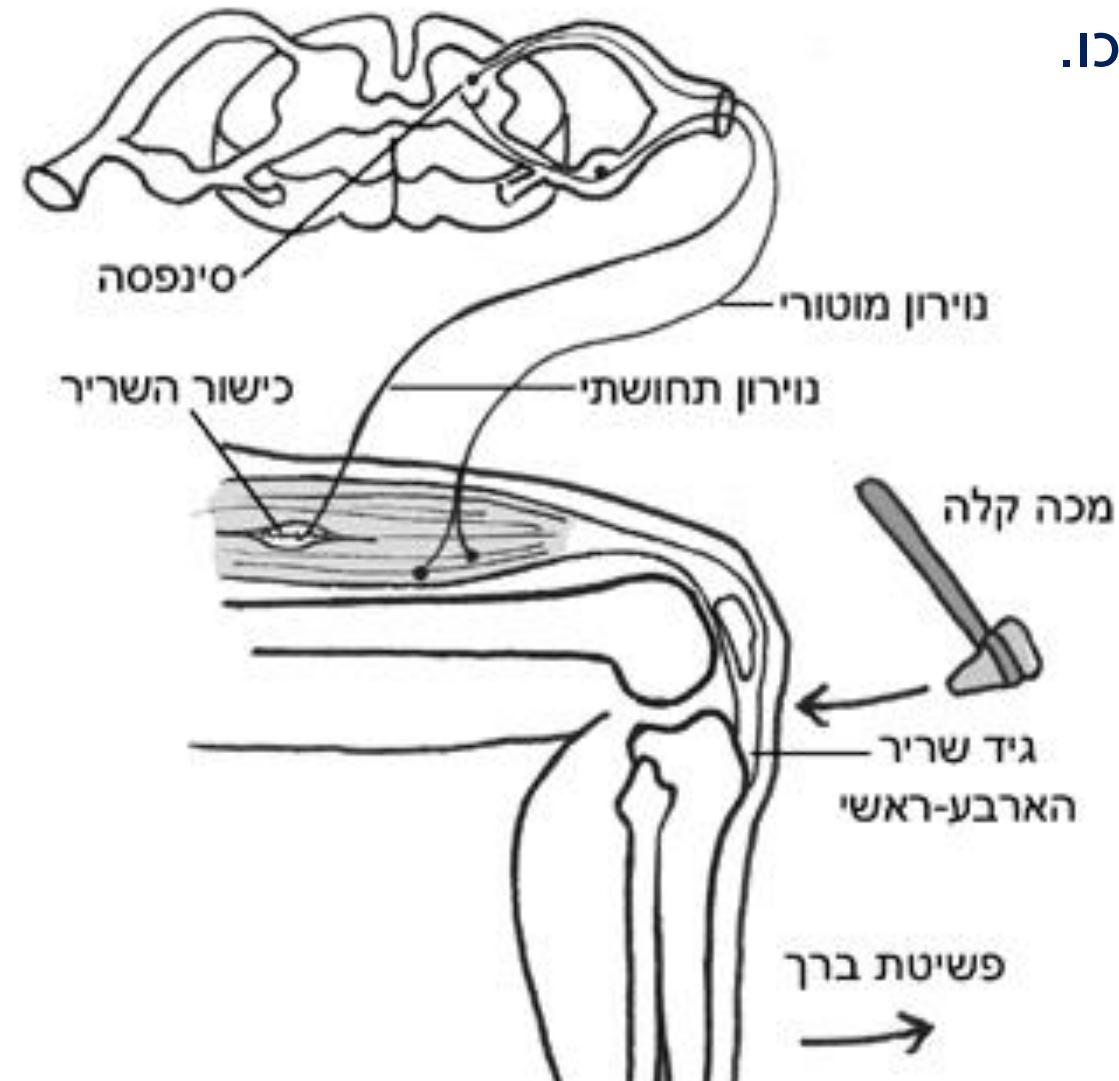
הרגיש למתיחה. מדווח למערכת העצבים המרכזית באופן

רציף על מידת אורכו של השריר ועל שינויים שחלים באורכו.

כישור השריר מעורב בתגובת רפלקס המכוונה **רפלקס**

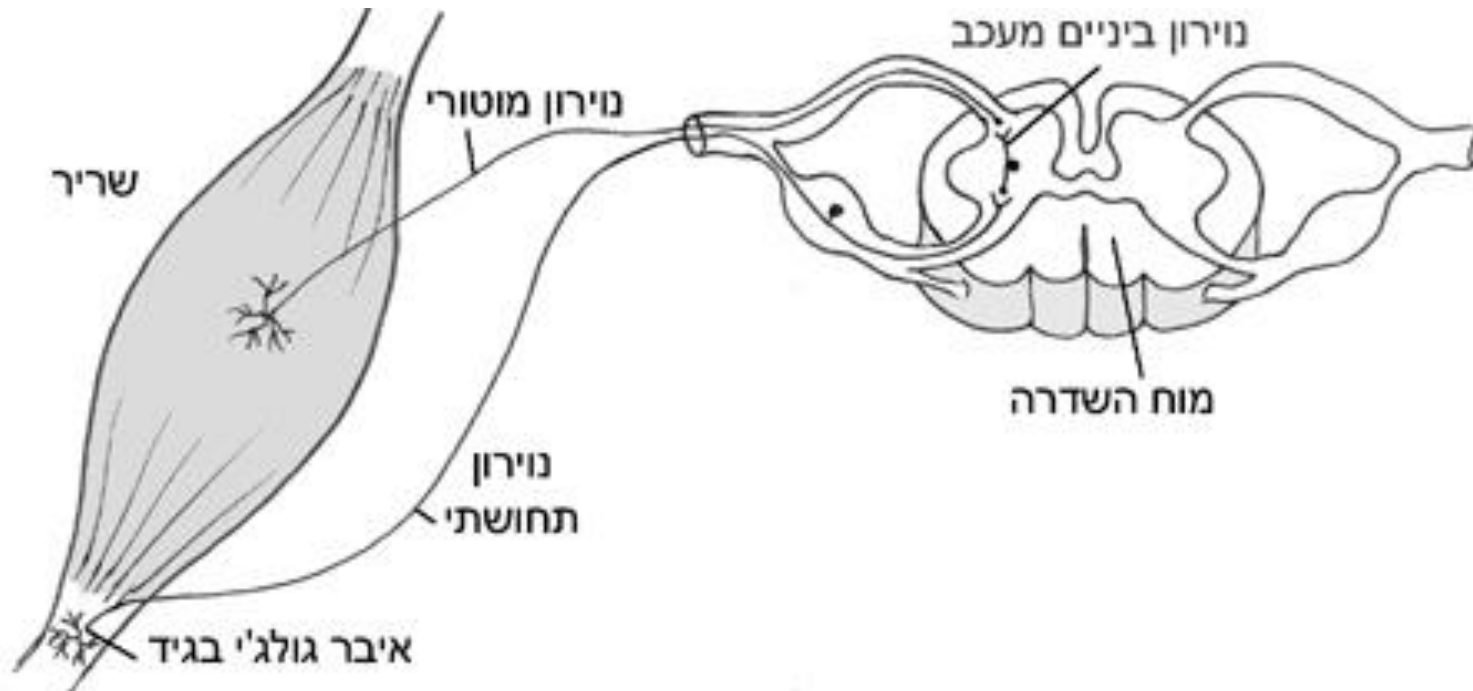
המתיחה. תגובה זו קיימת בכל השרירים ובולטת במיוחד

בשרירים המבצעים תנועת פשיטה בגפיים.



איבר גולג'י בגיד

מדווח באופן קבוע למערכת העצבים המרכזית על המתח שקיים בשריר. אחראי להגנת השריר מפני פציעה עקב עומס יתר. רגיש במיוחד, כאשר נוצר מתח גבוה בעת שילוב כוחות של התכווצות השריר והתנגדות חיצונית. הפעלת איבר גולג'י תיצור תגובת רפלקס שתגרום להרפיית השריר.

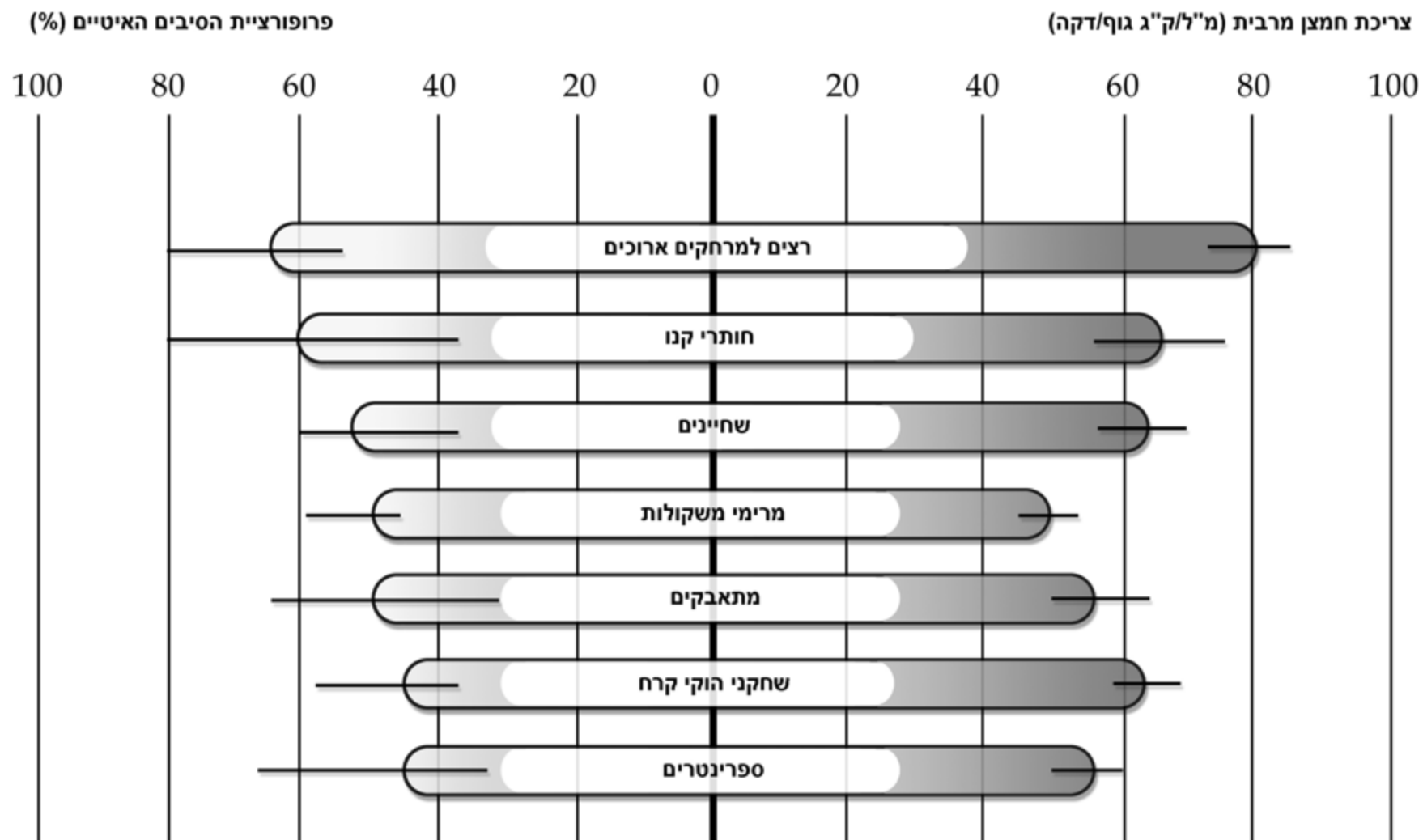


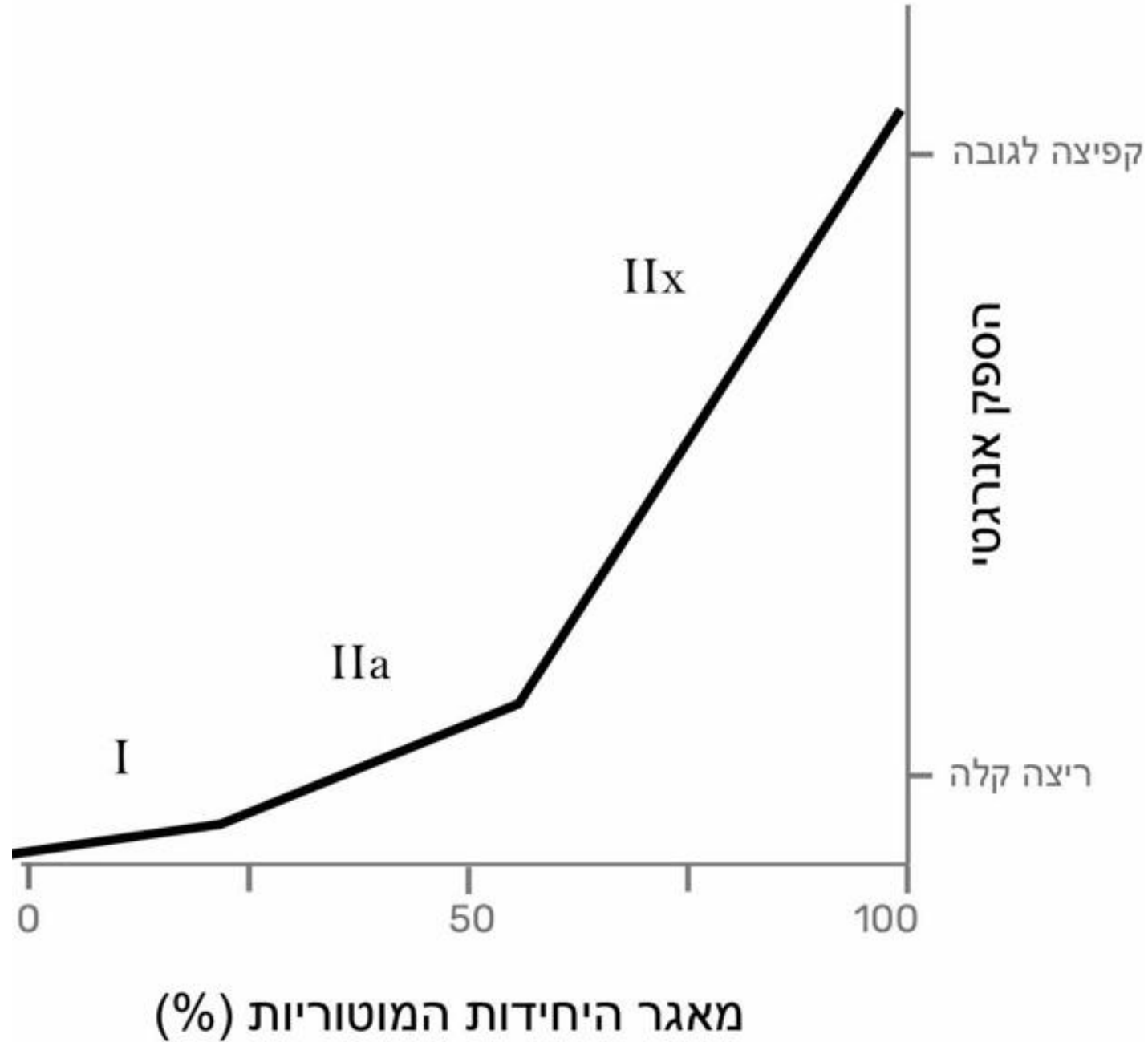
מכנו-רצפטורים במפרקים

בקופסית המפרק וברצועות המייצבות את המפרק מצויים המכנו-רצפטורים שמגורים על-ידי שינוי במבנה שלהם הנגרם מתנועה במפרק. המכנו-רצפטורים מדווחים למערכת העצבים המרכזית על הזווית, שבה נמצא המפרק בכל רגע נתון, וכן על מהירות השינוי בזווית המפרק כאשר מתרחשת תנועה.



איור 11 פרופיל שרירי, וצריכת חמצן מרבית של ספורטאים בענפים שונים.





איור 12

איור 13 תרגילים לחיזוק שריר הארבע-ראשי



ג. כפיפה איטית של הברך

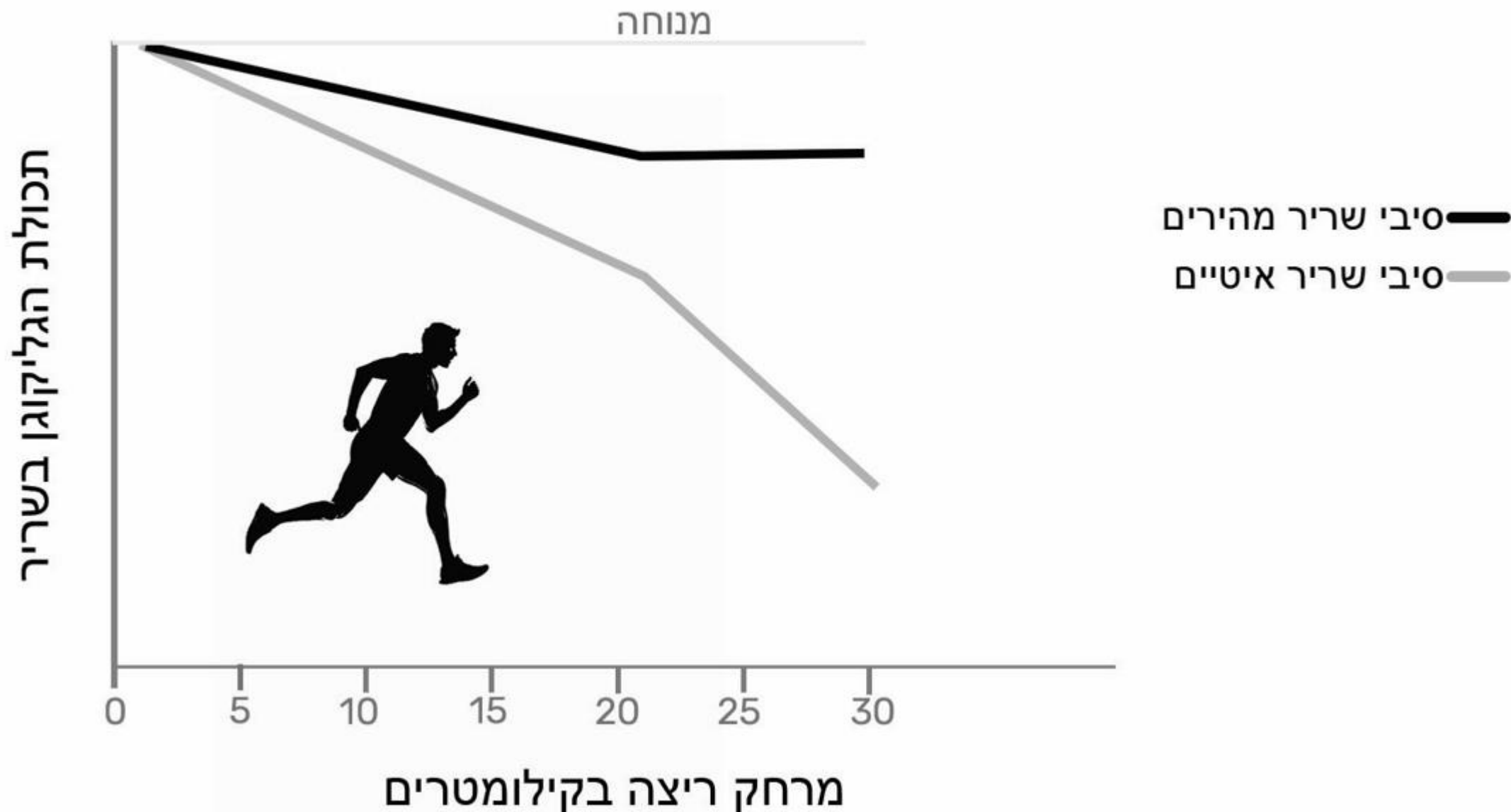


ב. החזקת רגל ישרה



א. פשיטת ברך

איור 14 הירידה ברמת הגליקוגן בסיבי השריר המהירים והאיטיים במהלך ריצת 30 ק"מ



איור 15 הירידה ברמת הגליקוגן בסיבי השריר המהירים והאיטיים במהלך אימון הפוגות קצר ועצים

