



משרד החינוך

מערכת שידורים לאומית

חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק א' – היבטים מכניים בפעולת השריר

שם המורה : משה אהרוני



מה נלמד היום

- השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח
 - מערכות מנוף (מומנט) בגוף האדם
 - עקומת כוח של שריר – גורמים הקובעים את תבניתה
 - הקשר שבין הפרופיל השרירי, מהירות ההתכווצות של השריר והכוח המרבי שהוא מפתח
- 

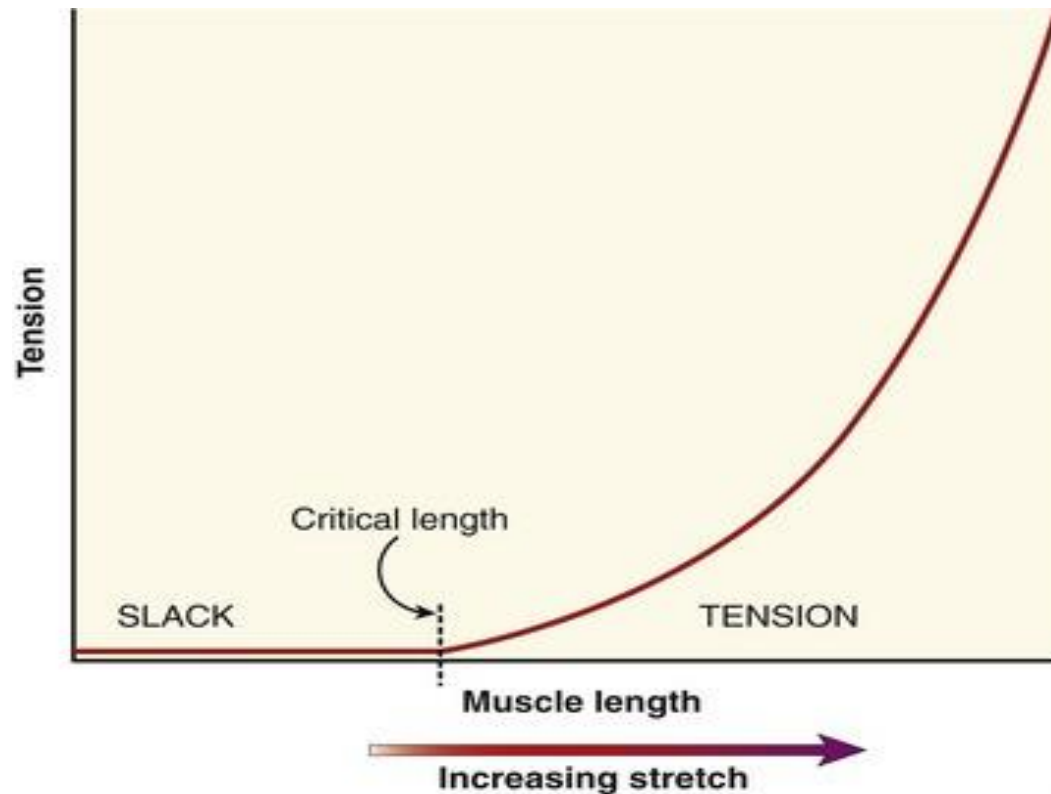
השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח

- אחת מהתכונות המכניות של שריר היא שניתן להאריך אותו על ידי כוח חיצוני המופעל על קצותיו, לדוגמה: כוח המשיכה, כוח המומנטום (התנועה), כוח השריר האנטגוניסט, כוח המופעל על ידי גורם חיצוני או חלק גוף אחר.
- כאשר בתנאי מעבדה לוקחים שריר מבודד ומתחילים להאריך אותו באופן פסיבי (ללא גירוי השריר), מתקבלת עלייה במתח של השריר.
- המתח נובע ממתיחת המרכיבים האלסטיים ורקמות החיבור העוטפות את השריר.



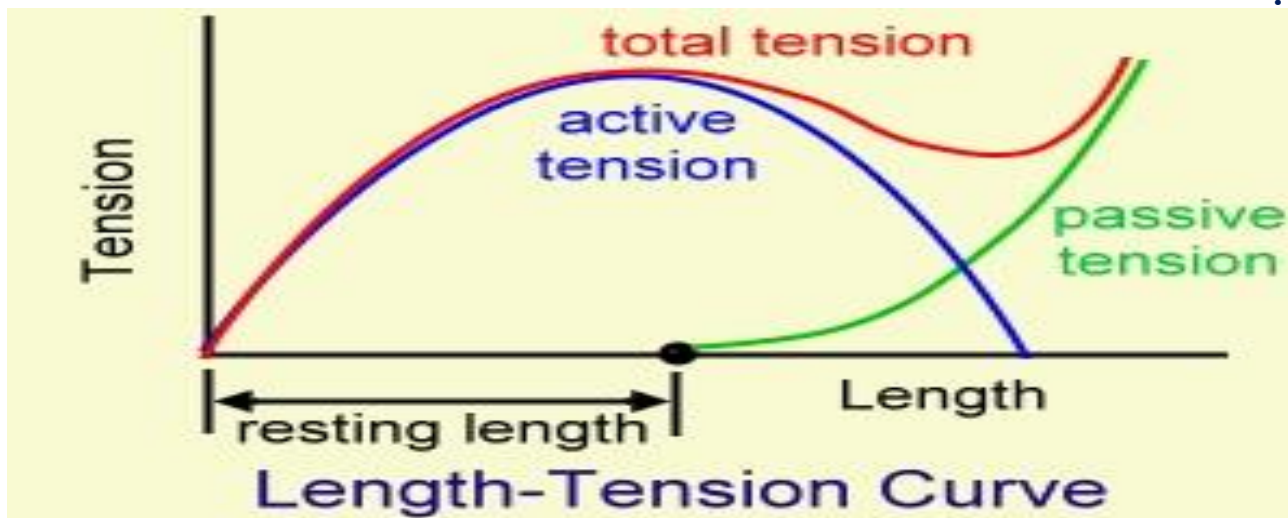
השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח

- המתח הפסיבי של השריר הולך וגדל, ככל שמאריכים את השריר מעבר לאורך מנוחה (אורך השריר בעמידה אנטומית (100%).
- אורך מנוחה הוא אורכו של השריר במצב של עמידה אנטומית.



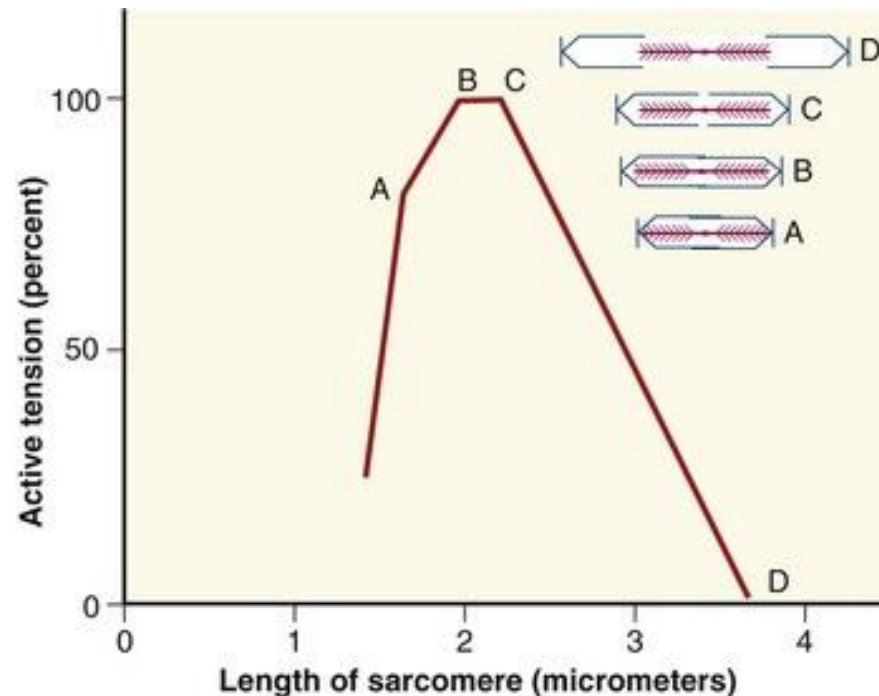
השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח

- כאשר מבצעים אותו ניסוי ובכל אחד משלבי המתיחה מגרים את השריר והוא מתכווץ, מקבלים את עקומת המתח הכללי של השריר (המתוארת באיור, הקו בצבע אדום).
- עקומת המתח הכללי היא הסכום של המתח הפסיבי והמתח האקטיבי הנוצר על ידי המרכיבים המתכווצים (אקטין ומיוזין).
- נתוני הגרף מראים שהמתח הכללי המרבי מושג באורך מנוחה ועד כ- 15% מעליו.
- לאחר הפחתת המתח הפסיבי מעקומת המתח הכללי מתקבלת עקומת המתח האקטיבי.

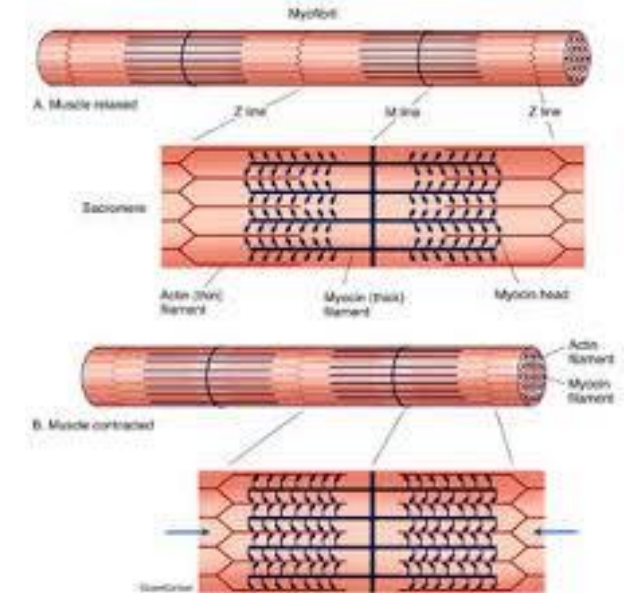


השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח

- הגרף באיור מראה שהמתח האקטיבי המרבי נוצר כאשר המיוזין והאקטין שבסרקומר נמצאים בחפיפה אופטימלית { מצב B – הסרקומר באורך של כ- 2.0 אנגסטרום (מיקרו מטר \ מאית המיליונית של סנטימטר) }
- יש לשים לב שהמדד אורך בגרף הקודם, מתייחס לשריר השלם ובגרף המוצג באיור זה, לסרקומר.

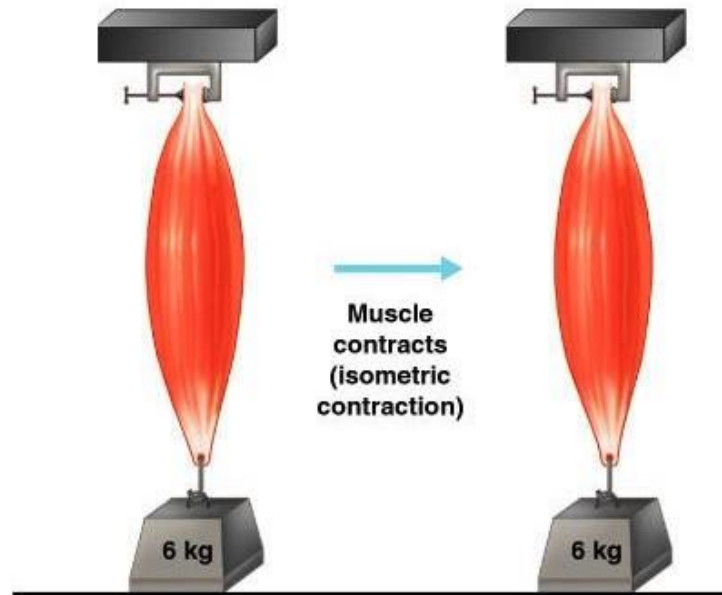


השינוי במתח האקטיבי עם העלייה באורך השריר (אורך הסרקומר)



השפעת אורך השריר על המתח שהוא מפתח

- הניסויים שתוארו בוצעו במעבדה על שריר מבודד, והם משקפים את המתח שהשריר מסוגל להפיק.
- המסקנה היישומית הנובעת מניסויים אלה היא שככל שהשריר ארוך יותר (עד כ- 15% מעל אורך מנוחה), כך הוא יכול להפיק יותר מתח.
- כאשר שריר מוארך ליותר מ- 115% ועד פי 2 (200%) מאורך המנוחה, תחול ירידה במתח שהוא מסוגל לפתח.



מערכת מנוף (מומנט)

- ציר תנועה, זרוע מנוף, התנגדות וכוח שפועלים על זרוע המנוף מהווים יחדיו מערכת מנוף מומנט.
- מומנט הכוח מחושב על ידי הכפלת הכוח באורך זרוע המנוף, הנמדדת מנקודת הציר ועד לנקודה שבה פועל הכוח.
- מומנט ההתנגדות מחושב על ידי הכפלת ההתנגדות באורך זרוע המנוף, הנמדדת מנקודת הציר ועד לנקודה שבה פועלת ההתנגדות, כאשר מומנט הכוח פועל כנגד מומנט ההתנגדות, תנוע זרוע המנוף לכיוון המומנט היותר קטן.



$$M = f \times d$$

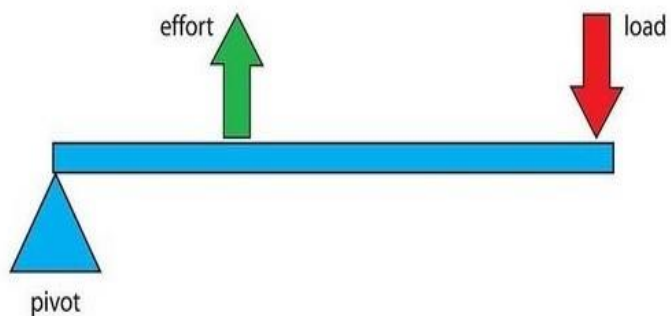
מרחק $\times$ כוח = מומנט

Moment = force X distance

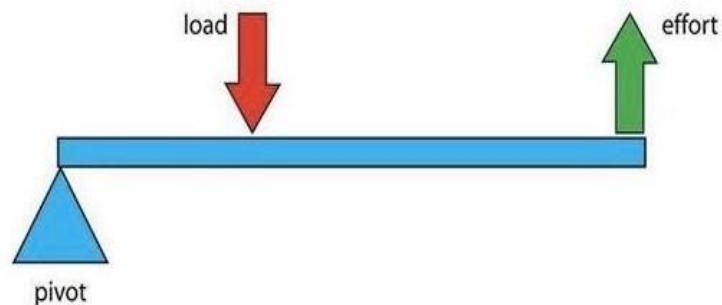
סוגי מנופים

- מבחינים בשלושה סוגים של מערכות מנופים המתוארים באיורים:

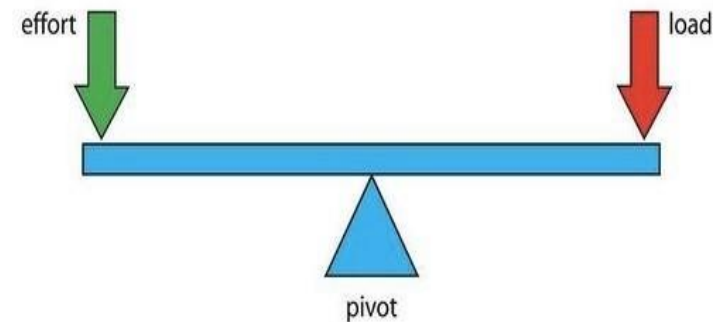
מנוף מסוג 3



מנוף מסוג 2

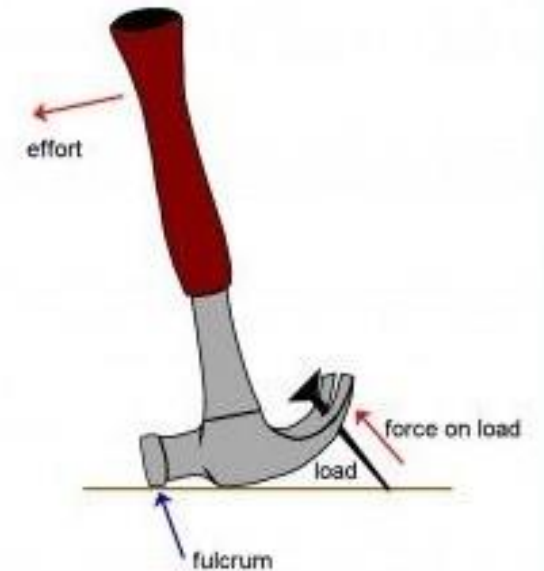
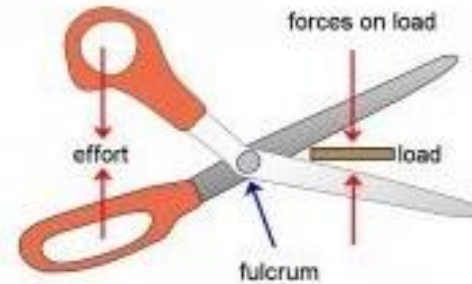
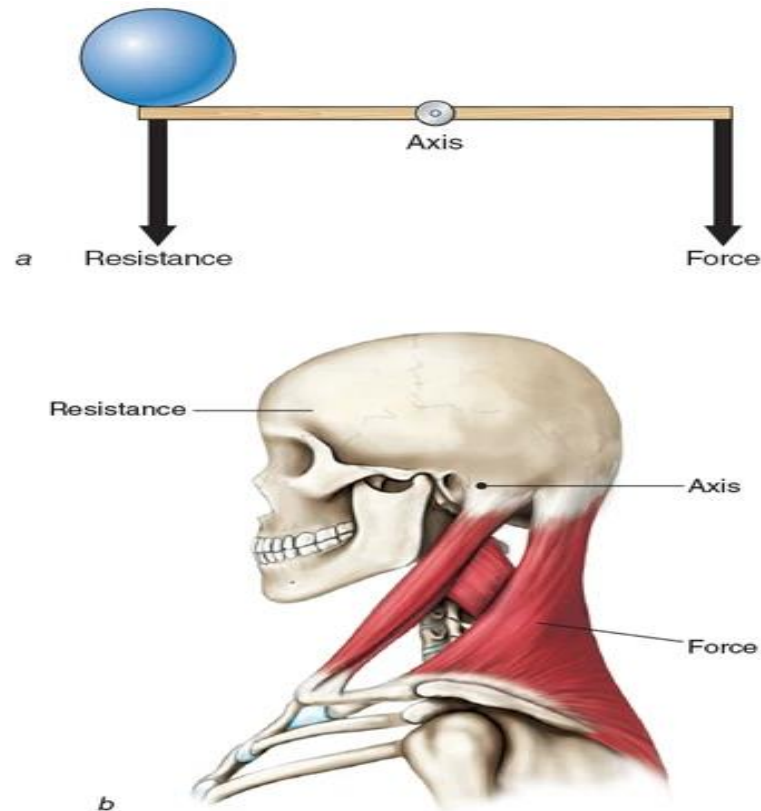


מנוף מסוג 1



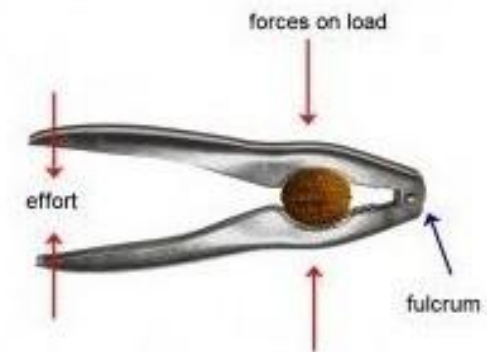
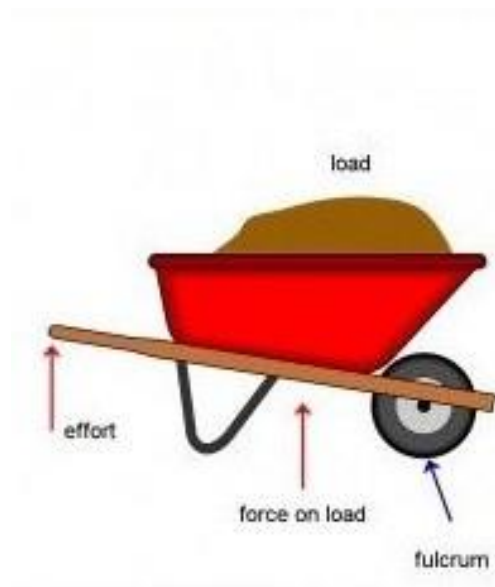
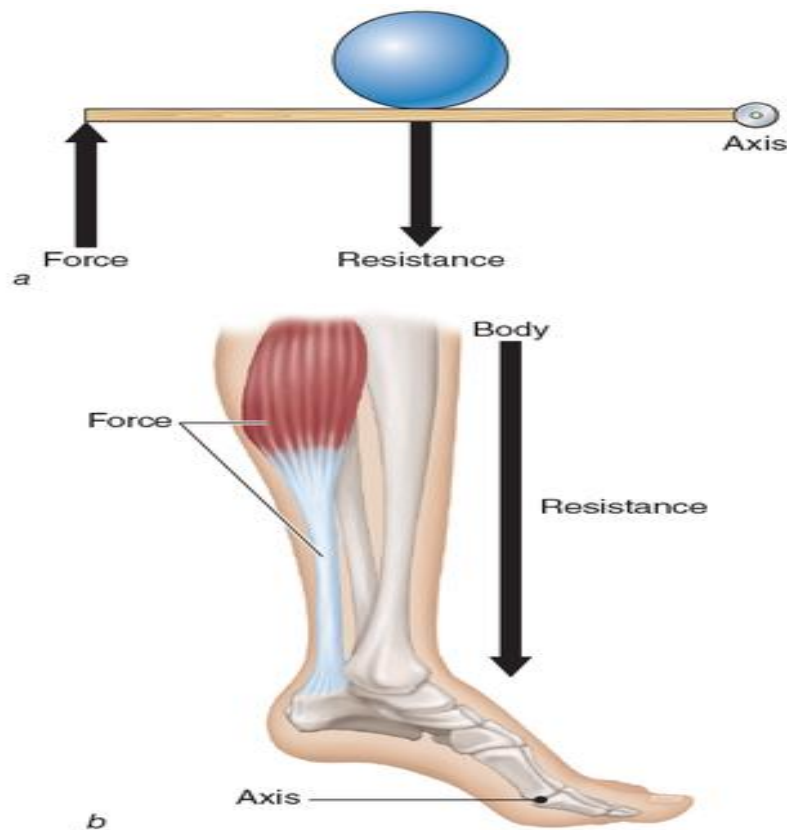
מנוף מסוג 1

- ציר התנועה נמצא בין התנגדות לבין נקודת הפעולה של הכוח.
- אורך זרוע הכוח ואורך זרוע ההתנגדות הם שיקבעו את גודל המומנטים ועקב כך את הכוח, שיהיה צורך להשקיע כדי להתגבר על מומנט ההתנגדות.



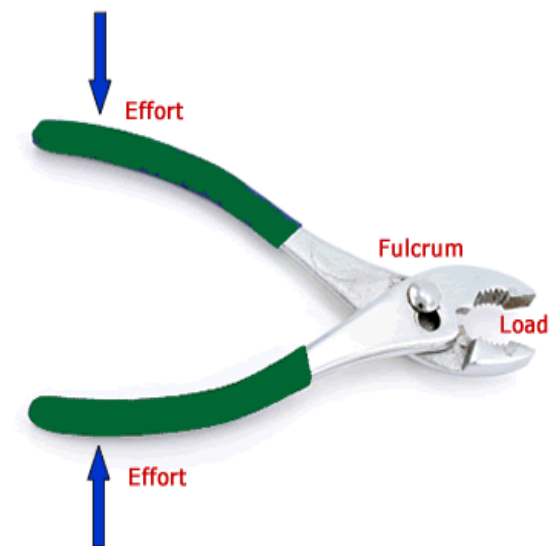
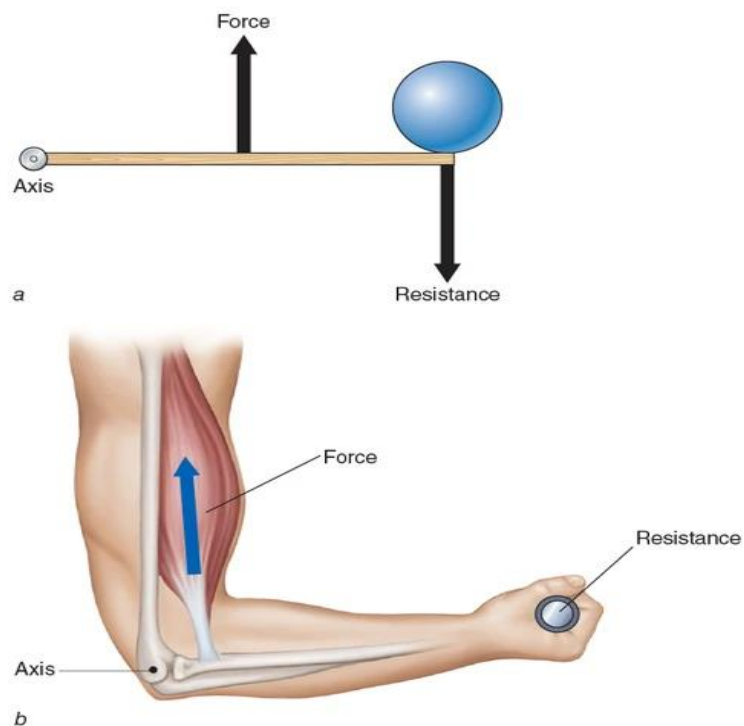
מנוף מסוג 2

- ההתנגדות נמצאת בין ציר התנועה לבין נקודת הפעולה של הכוח.
- זרוע הכוח ארוכה מזרוע ההתנגדות, ולכן יש להפעיל כוח קטן מההתנגדות כדי להתגבר עליה.
- למנוף זה יתרון מכני.



מנוף מסוג 3

- נקודת הפעולה של הכוח נמצאת בין ציר התנועה לבין ההתנגדות.
- זרוע ההתנגדות ארוכה מזרוע הכוח, ולכן יש להפעיל כוח גדול מההתנגדות כדי להתגבר עליה.
- למנוף זה אין יתרון מכני, אבל יש לו יתרון תנועתי, שמתבטא בכך שכל תנועה קטנה באזור הכוח תגרום לתנועה גדולה בקצה זרוע המנוף.
- מנוף זה הוא השכיח ביותר בגוף האדם.



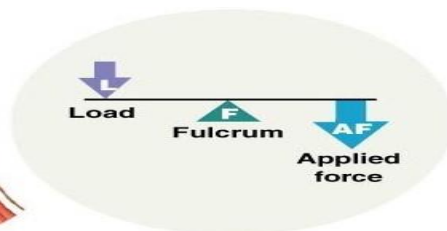
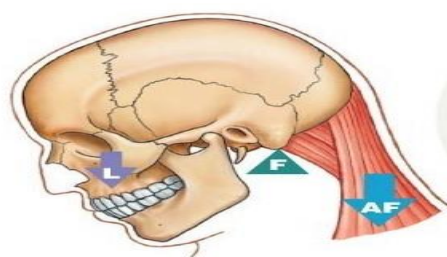
מערכת מנוף סביב מפרק – כוח חיצוני של שריר

- מערכת התנועה בגוף האדם מורכבת מעצמות שהן זרוע מנוף, מפרקים שהם צירי תנועה ומשרירים שהם מקור הכוח.
- כוח השריר יוצר מומנט סביב המפרק, הפועל כנגד מומנט התנגדות הנוצר עקב פעולת כוח הכובד.
- מכונות כוח, משקולות וגומיות מהוות אמצעי להגדלת ההתנגדות, שכנגדה פועלים השרירים.

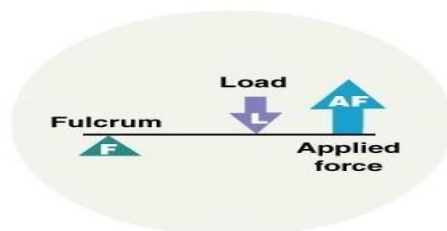
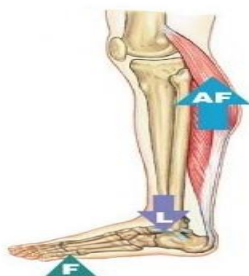


מערכת מנוף סביב מפרק – כוח חיצוני של שריר

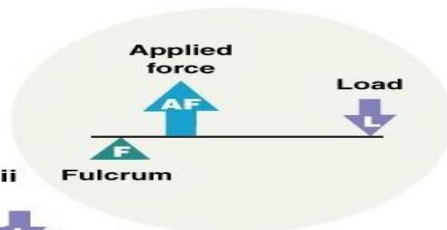
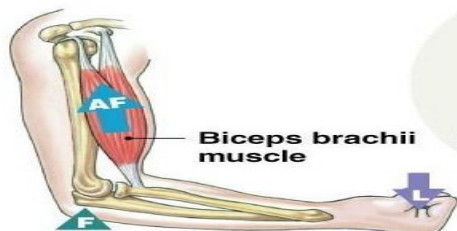
בתמונה מוצגות 3 מערכות מנוף הקיימות בגוף האדם, שתואמות את שלושת סוגי המנופים.



מנוף מסוג 1



מנוף מסוג 2



מנוף מסוג 3

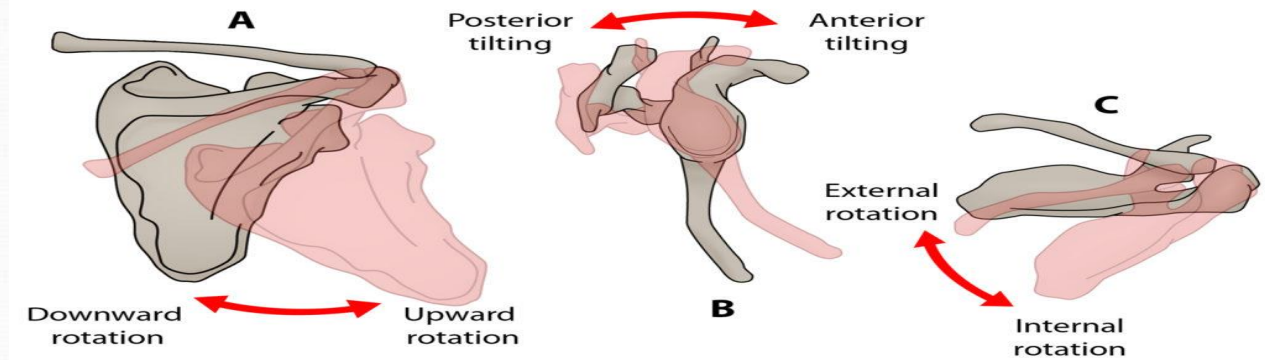
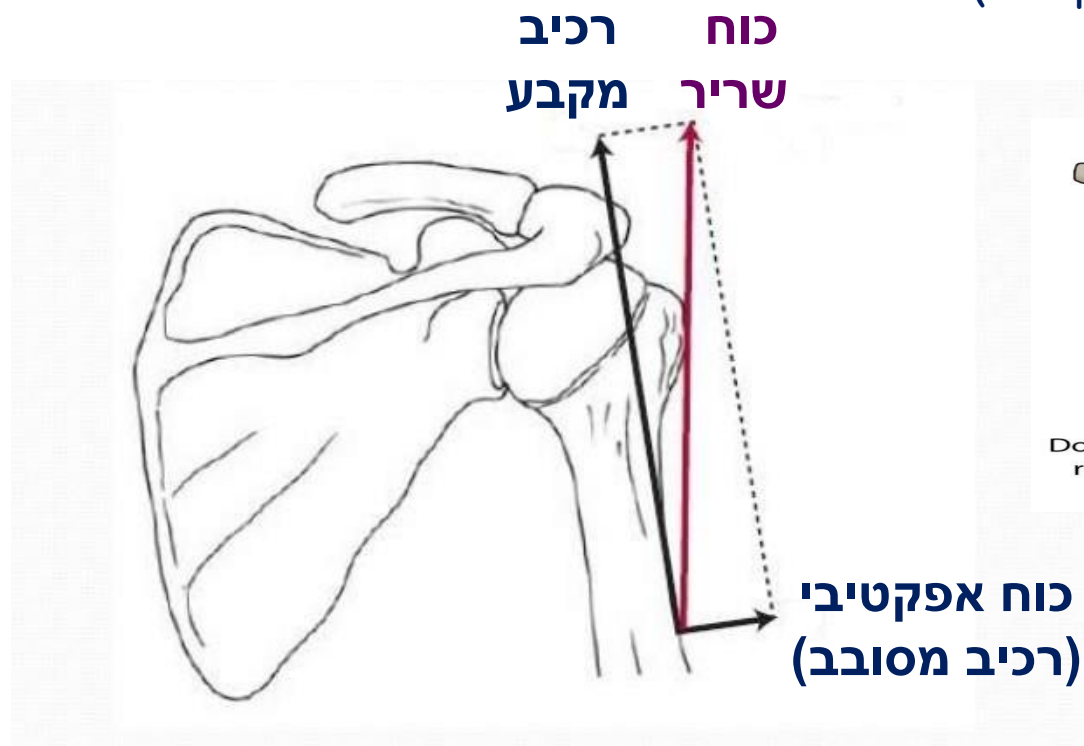
כוח אפקטיבי (רכיב מסובב) של שריר

- כוח אפקטיבי הוא הכוח שגורם לתנועה סיבובית של זרוע המנוף במערכת מנוף.
- כוח אפקטיבי של שריר שגורם לתנועה סיבובית, פועל בזווית ישרה (90°) כלפי העצם הנעה.
- ברוב המקרים השריר אינו פועל אנכית לאיבר הנע, ולכן רק חלק מהכוח שהשריר מפיק מבצע את פעולת הסיבוב ונחשב לכוח האפקטיבי.
- החלק האחר של כוח השריר פועל לאורך זרוע המנוף, והוא מקבע את עצמות המפרק.



כוח אפקטיבי (רכיב מסובב) של שריר

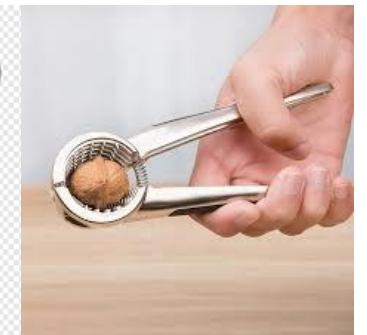
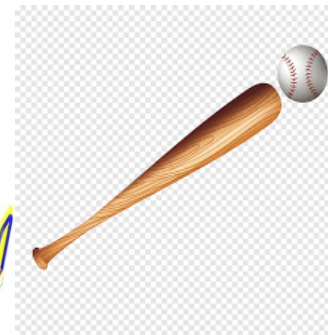
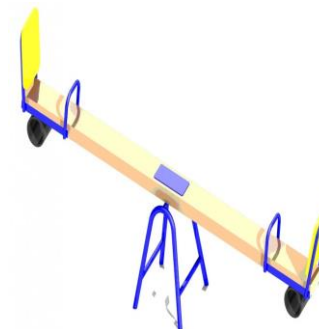
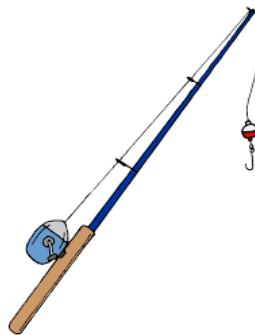
- האיור הבא מתאר את פעולת שריר הדלתא על עצם הזרוע.
- כפי שניתן לראות באיור, כוח השריר אינו פועל אנכית לעצם שאליו הוא מחובר, ולכן ניתן לפירוק לשני רכיבים:
- רכיב מסובב (כוח אפקטיבי)
- רכיב מקבע.



היבטים מכניים בפעולת השריר

שאלת חשיבה

- זהו את סוג המנוף (1,2,3) המתאים לכל פריט



מטאטא	מריצה	חכה	דלת	נדנדה	מחבט בייסבול	מפצח אגוזים

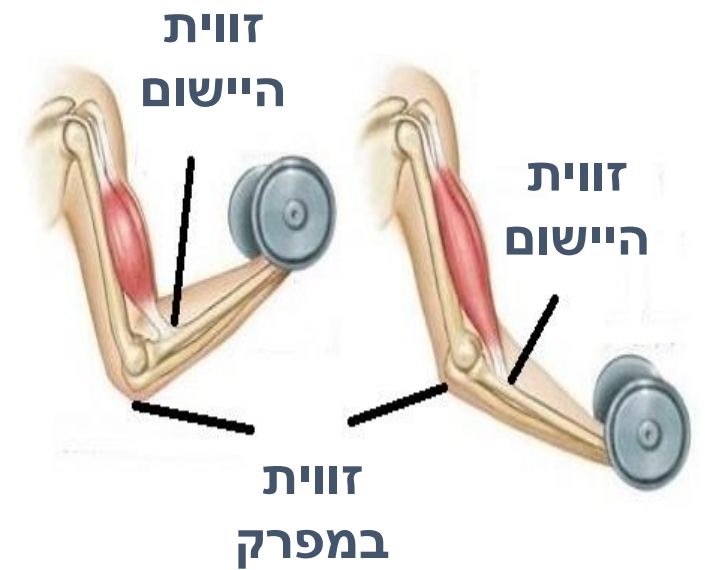
חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק ב' – היבטים מכניים בפעולת השריר

שם המורה : משה אהרוני

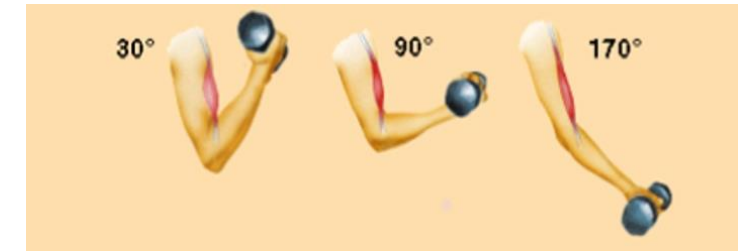
עקומת כוח של שריר

- מומנט הכוח המתקבל בגוף האדם בכל זווית במפרק בשעת ביצוע תנועה נקבע על ידי זווית היישום ואורך השריר.
- זווית היישום היא הזווית שבה נאחז השריר בעצם, כלומר זוהי זווית הפעולה של השריר ביחס לעצם.



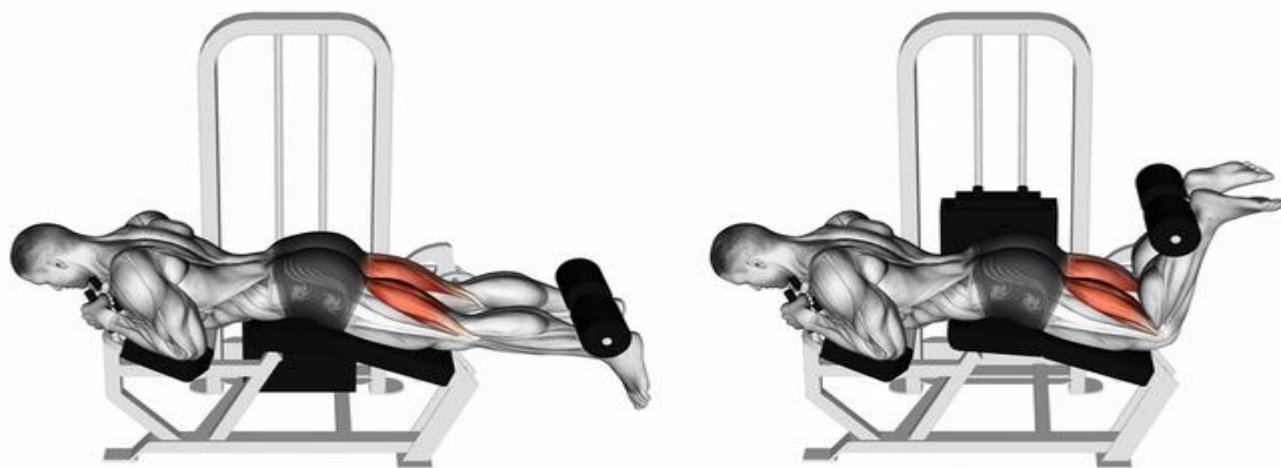
עקומת כוח של שריר

- כפי שניתן לראות באיור, במהלך התנועה במפרק זווית היישום משתנה.
- ככל שזווית היישום תתקרב ל- 90° , כך יותר ממתח שמופק על ידי השריר, ינוצל כרכיב אפקטיבי.
- לאורך השריר יש השפעה על המתח שהוא מסוגל לפתח: ככל שהשריר ארוך יותר, כך הוא מסוגל לפתח יותר כוח (עד אורך מסוים, כפי שצוין בהקשר זה לגבי אורך השריר ואורך הסרקומר האופטימליים בשקופיות 7+8).



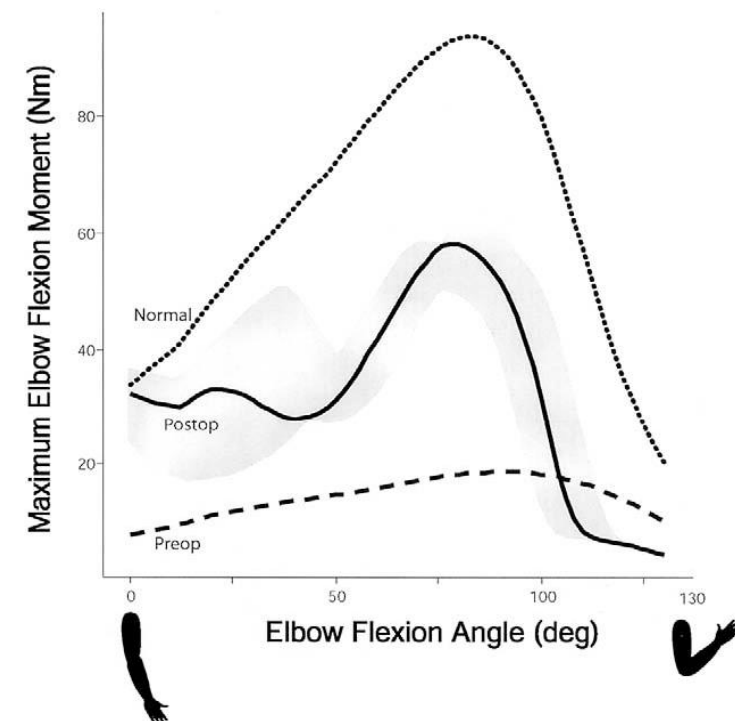
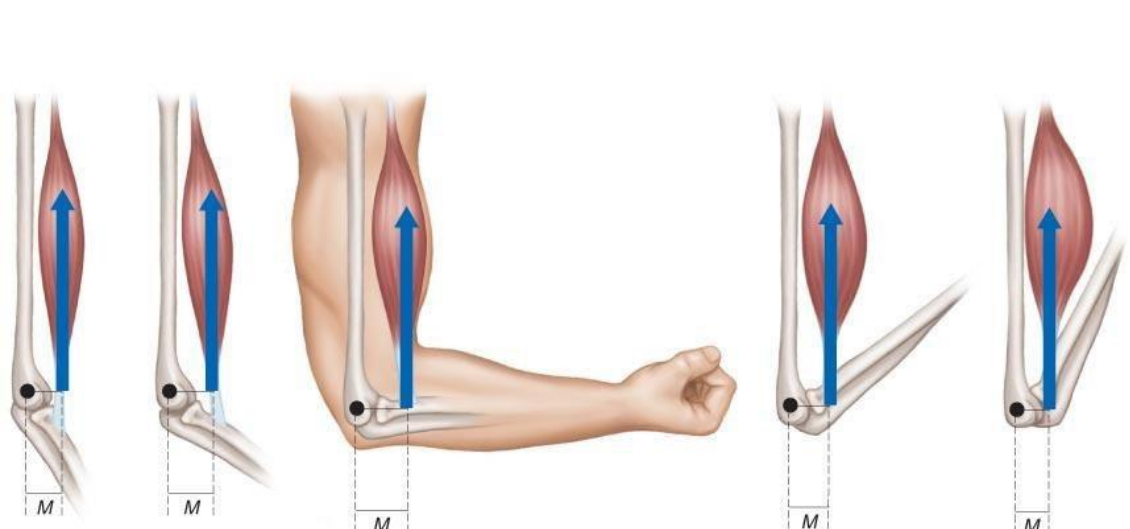
עקומת כוח של שריר

- הגרף המתאר את הקשר שבין הזווית בטווח התנועה של המפרק למומנט הכוח שהשריר מפיק, נקרא עקומת הכוח של השריר
- הזווית במפרק שבה השריר מפתח את המומנט הגדול ביותר בטווח התנועה, נקראת **זווית אופטימלית**, הנובעת מהשילוב המיטבי שבין המרכיב הפיזיולוגי – אורך השריר, והמרכיב המכני – זווית היישום.
- הזווית שבמפרק שבה השריר מפתח את המומנט הקטן ביותר, נקרא **נקודת החולשה (STIKING POINT)**.



עקומת כוח של שריר

- עקומת כוח של שריר או של קבוצת שרירים המבצעת אותה תנועה במפרק, נבנית באופן מעשי על ידי בדיקת מומנט הכוח המרבי, בהתכווצויות איזומטריות בזוויות השונות של המפרק.
- האיור הבא מתאר את עקומת הכוח של השרירים כופפי המרפק.
- ניתן לראות מהגרף, שהזווית האופטימלית של שרירי הזרוע נמצאת ב- 90° .
- נקודת החולשה של כופפי המרפק נמצאות בזווית של 0° (יד ישרה) ו- 150° (קצה טווח התנועה בפעולת כפיפה).



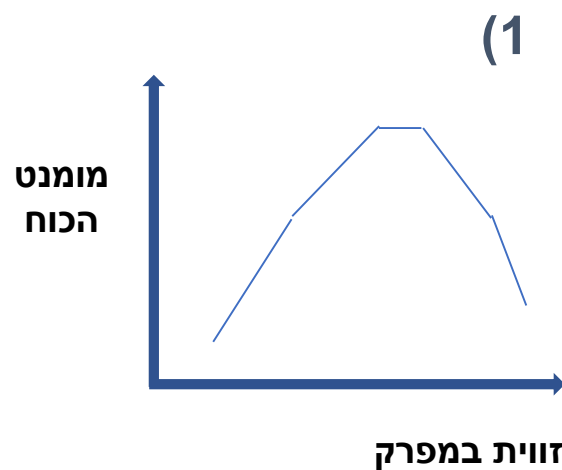
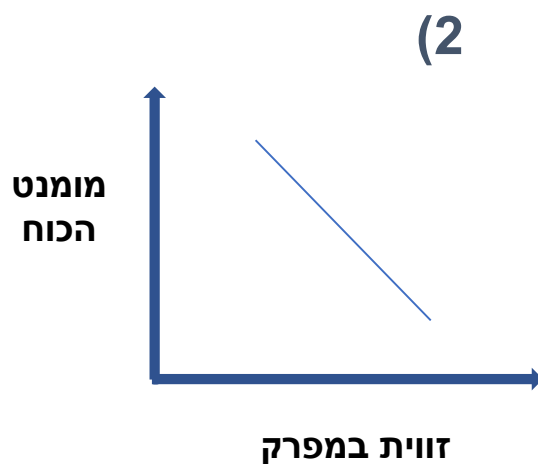
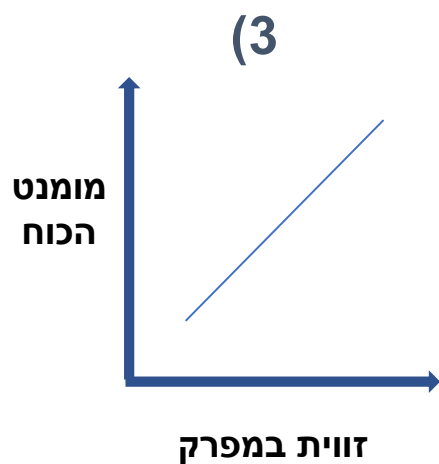
עקומת כוח של שריר

כפי שניתן לראות באיור, עקומות הכוח מאופייניות בשלוש צורות בסיסיות:

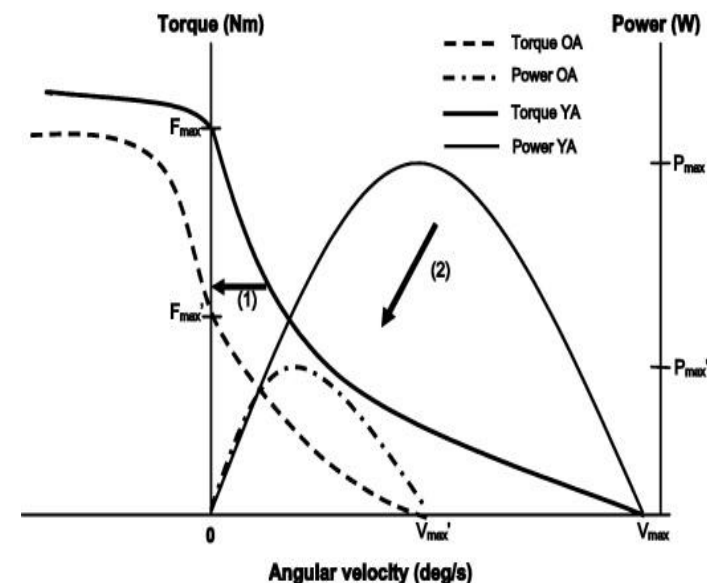
1. עלייה במומנט הכוח בתחילת התנועה ואחר כך ירידה

2. ירידה במומנט הכוח עם הגדלת הזווית במפרק

3. עלייה במומנט הכוח עם הגדלת הזווית במפרק

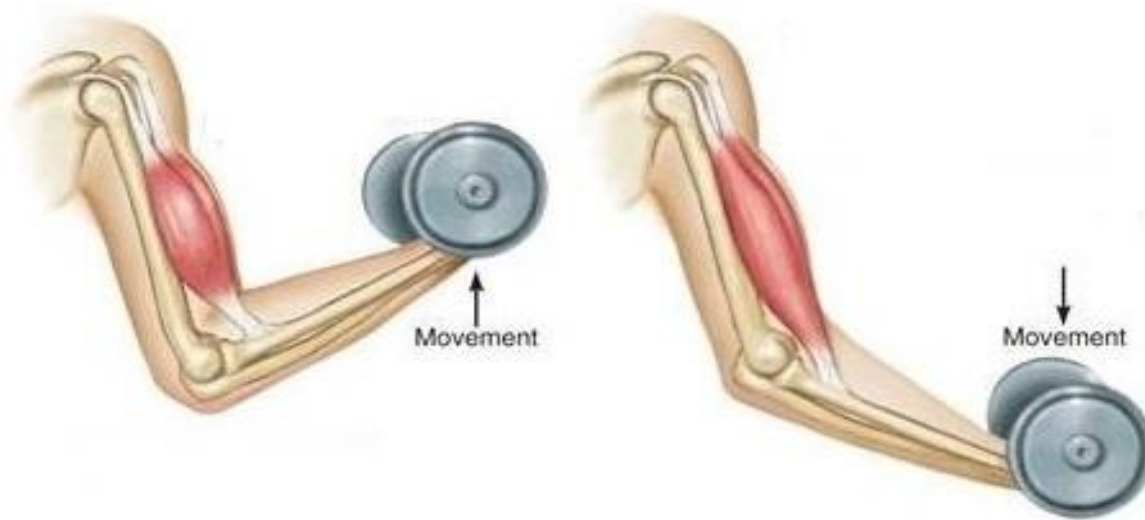


צורות בסיסיות של עקומות כוח שרירים



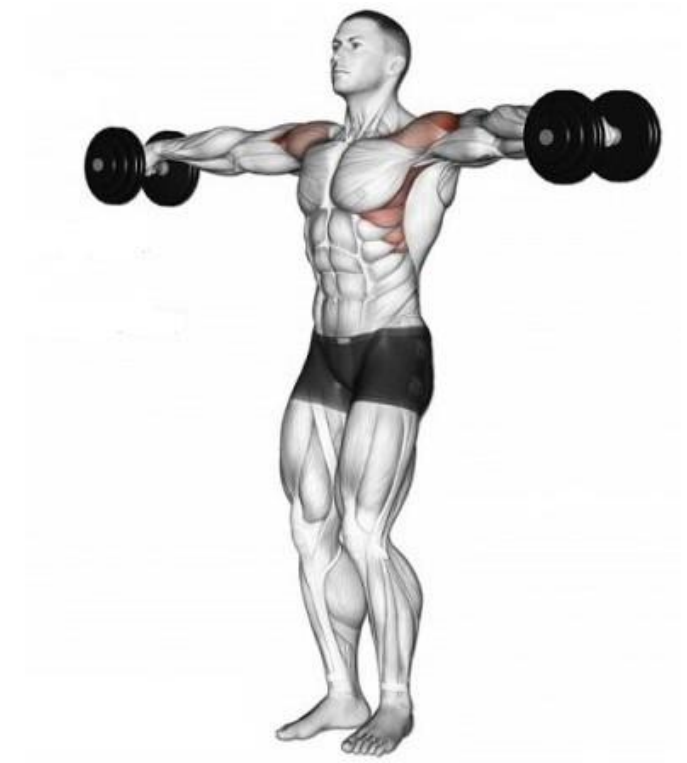
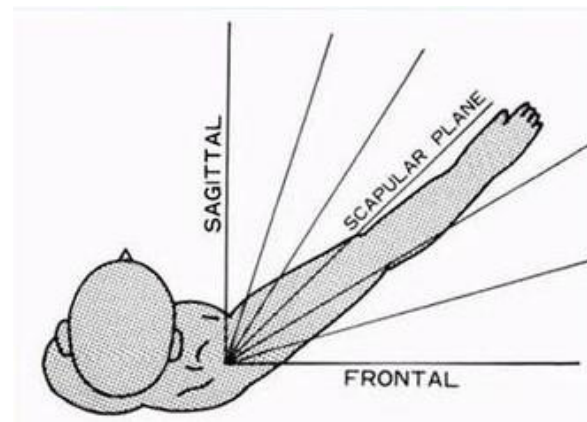
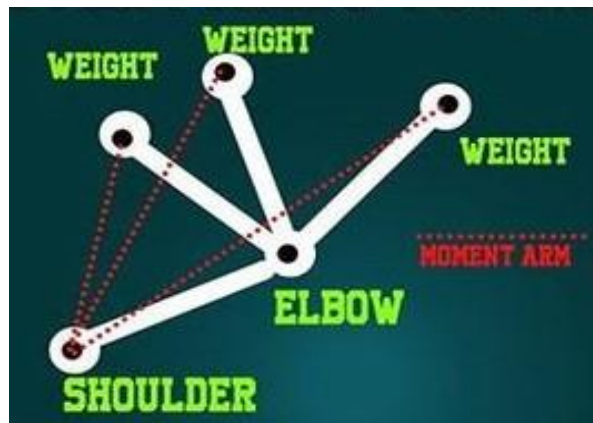
עקומת כוח של שריר

- עקומות הכוח של השרירים השונים מראות שהמומנט משתנה ב- 40% - 80% לאורך טווח התנועה של המפרק.
- ברוב קבוצות השרירים המרכיב הפיזיולוגי (אורך השריר) משמעותי יותר מהמרכיב המכני (זווית היישום), והמומנט המרבי מושג בזווית מפרק שבה השריר ארוך.



עקומת כוח של שריר

- לדוגמה, המומנט המרבי של הדלתא בהרחקת כתף מושג בעמידה אנטומית, כאשר השריר במצב מוארך.
- בקבוצות שרירים אחרות, כמו כופפי מרפק ופושטי ברך, המרכיב המכני משמעותי ביותר, והמומנט המרבי מתפתח באמצע טווח התנועה.



ניצול עקומת אורך-מתח להגדלת מומנט הכוח של השריר

- מומנט הכוח החיצוני ששריר מפיק, נקבע על ידי, השילוב שבין אורך השריר לזווית היישום שלו בכל זווית בטווח התנועה במפרק.
- הארכת השריר בכל זווית בטווח התנועה, תאפשר הפקת מומנט כוח חיצוני גדול יותר ותגרום להעלאת עקומת הכוח כלפי מעלה.
- הארכת השריר באופן הזה, ניתנת לביצוע בשרירים הפועלים על שני מפרקים. כאשר שריר הפועל על שני מפרקים מתחיל להתקצר כתוצאה מהקטנת הזווית במפרק שבו מתבצעת התנועה, ניתן להאריך אותו על ידי שינוי הזווית במפרק השני, ואז השריר יפיק יותר כוח.



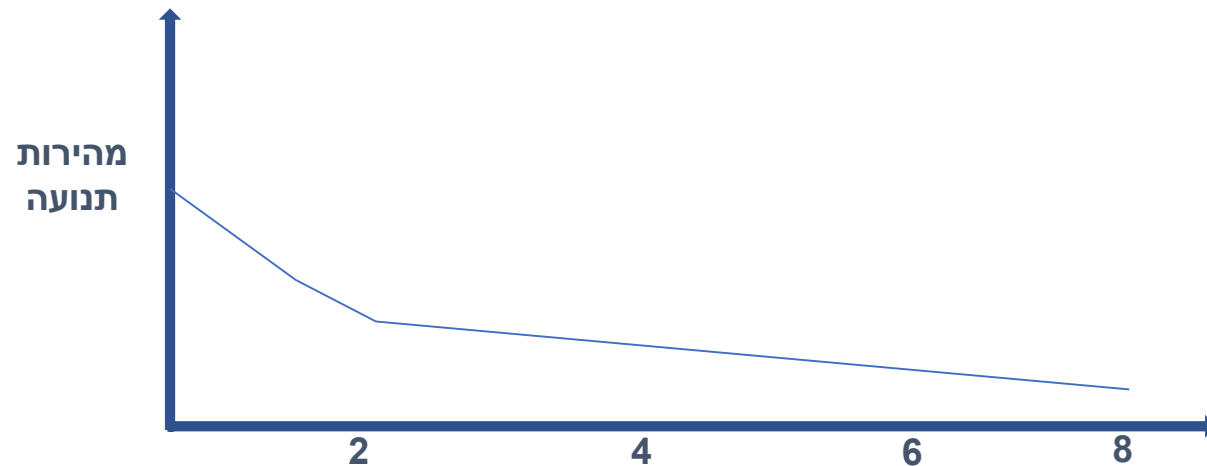
ניצול עקומת אורך-מתח להגדלת מומנט הכוח של השריר

- לדוגמא, בתרגיל "כפיפת ברך בשכיבה" המתוארת בתמונה, פושטי הירך הם השרירים האגוניסטים. סיבוב האגן לפנים במפרק הירך (הרמת הישבן) גורם להארכת פושטי הירך ולהפקת כוח רב יותר על ידיהם בכל זווית בטווח התנועה בעת כפיפת הברכיים.
- בחדרי כושר רבים ניתן לראות שבתרגיל כפיפת ברך המתאמן שוכב בשכיבת אפיים עם כפיפה מתוכננת בירך.
- תנוחה זו הנראית באיור מאריכה במתכוון את פושטי הירך, כדי שיפיקו יותר כוח בכל זווית בטווח התנועה של הברך.



הקשר שבין היכולת להפיק כוח מרבי למהירות ההתכווצות

- השילוב שבין מהירות ההתכווצות לכוח ההתכווצות של השרירים מהווה את אחד הגורמים החשובים המשפיע על הביצוע הגופני.
- באיור הבא הגרף מתאר ניסוי, שבו קבוצת נבדקים ביצעה פעולה של כפיפה בכתף במהירות מרבית עם מגוון עומסים.
- כפי שניתן לראות מהגרף, המהירות הגדולה ביותר מושגת ללא עומס כלל.
- כשהעומס עולה מהירות תנועה יורדת.

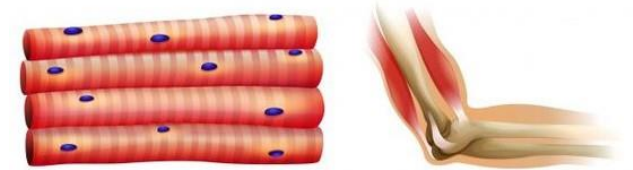


עומס (ק"ג)
השינוי במהירות התנועה בכפיפה בכתף עם העלייה ברמת הכוח המופקת על ידי השריר

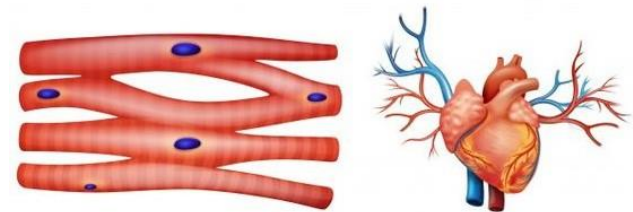


הקשר שבין היכולת להפיק כוח מרבי למהירות ההתכווצות

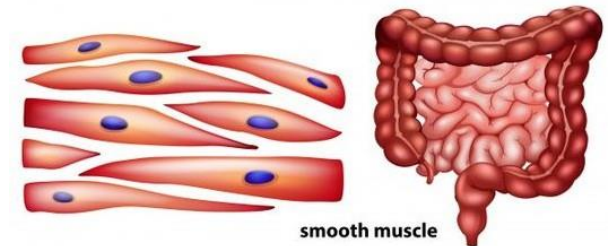
- כאשר מהירות התנועה היא "0" כלומר אין תנועה (התכווצות איזומטרית), מושג הכוח המקסימלי.
- המסקנה הנובעת ממחקר זה וממחקרים דומים היא שמהירות התנועה המרבית תלך ותפחת, ככול שעולה מומנט הכוח שהשריר נדרש להפיק.
- מהירות ההתכווצות של השריר תלויה בפרופיל השרירי.
- ככל שפרופורציית הסיבים הלבנים בשריר גדולה יותר, כך מהירות ההתכווצות שלו תהיה גדולה יותר.



skeletal muscle



cardiac muscle

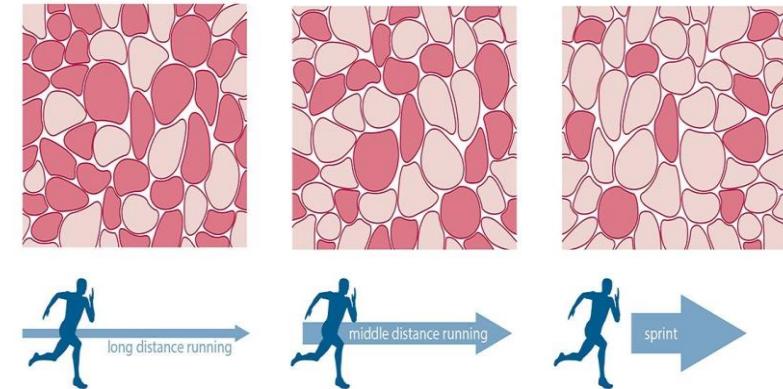
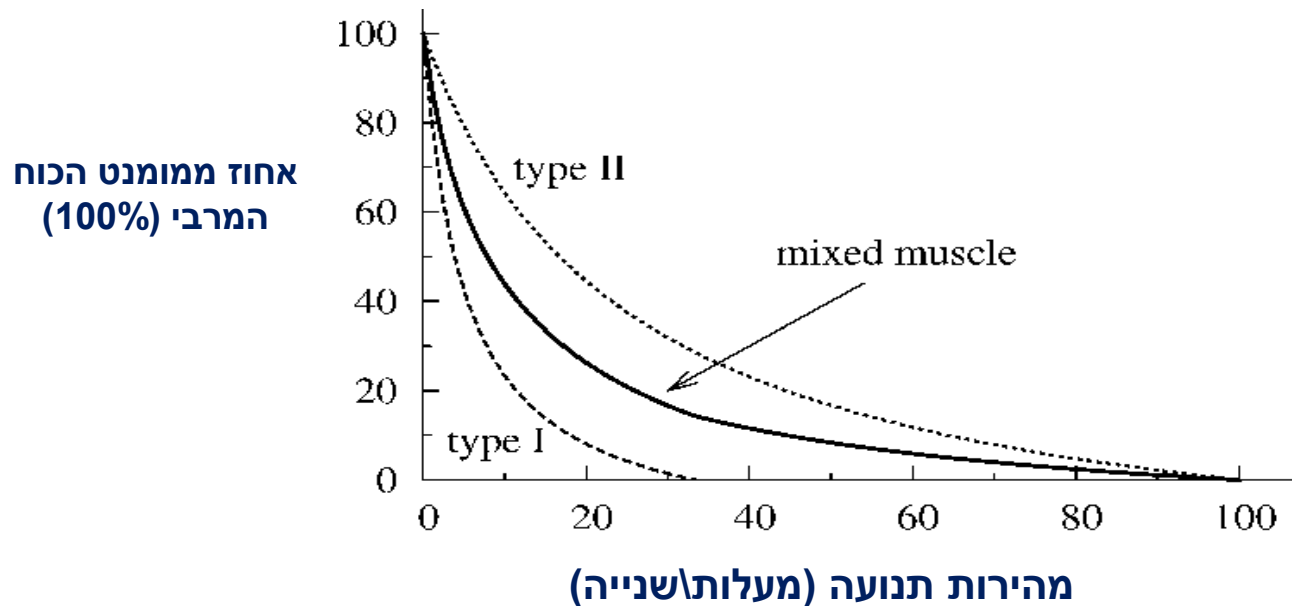


smooth muscle



הקשר שבין היכולת להפיק כוח מרבי למהירות ההתכווצות

- באיור הבא הגרף מתאר את הקשר שבין הפרופיל השרירי, מהירות ההתכווצות ומומנט הכוח היחסי (באחוזים) שהשריר מפיק.
- נתוני הגרף מראים שככל שהפרופיל השרירי נוטה יותר לכיוון של סיבים לבנים (מהירים) העקומה זזה ימינה ולמעלה.
- כלומר שרירים שפרופורציית הסיבים הלבנים בהם יותר גדולה, מסוגלים מצד אחד לפתח כוח גדול יוצר בכל מהירות תנועה נתונה, ומצד שני הם מפתחים מהירות תנועה גבוהה יותר בכל עומס נתון.



שאלות חשיבה

מטלת סיכום

- באיורים הבאים מתוארים שלושה תרגילים שבהם מבוצעת פשיטת מרפק.
- מהו השריר העיקרי המבצע את התנועה (אגוניסט) בכל אחד מהתרגילים?
- איזה סוג של התכווצות מבצע האגוניסט בכל אחד מהתרגילים?
- באיזה מהתרגילים ההתנגדות המרבית שכנגדה יפעל השריר תהיה גדולה יותר? ומדוע?



(3)



(2)



(1)



נוהל שימוש ביצירות מוגנות בזכויות יוצרים ואיתור בעלי זכויות

השימוש ביצירות במהלך שידור זה נעשה לפי סעיף 27א לחוק זכות יוצרים, תשס"ח. 2007-אם הינך בעל הזכויות באחת היצירות, באפשרותך לבקש מאיתנו לחדול מהשימוש ביצירה, זאת באמצעות פנייה לדוא"ל rights@education.gov.il