

## ביומכניקה

מידע המתבסס על ארבעה תחומים : אנטומיה, פיזיקה, פיזיולוגיה וגיאומטריה.  
שיפור הישגים אצל ספורטאים-התמקדות בטכניקה  
-איתור גורמים לפגיעה ושיקום לפגיעה  
-הנדסת אנוש-התמקדות בהתאמת הסביבה לאנוש.

## ניתוח מיומנות

1. בעת ניתוח מיומנות השאלה הראשונה שצריכה לעלות היא : מהי המטרה התנועתית?  
(דוגמא למטרה בקפיצה למרחק : מרחק מרבי).
2. הנקודה השנייה בהקשר זה איך אני משיג את המטרה כלומר הגורמים להשגת המטרה התנועתית. (דוגמא לגורמים אלה : מהירות יציאה או זווית יציאה).
3. חלוקת המיומנות לשלבים. לכל שלב מטרה אחרת. (דוגמא לחלוקה לשלבים : הרצה, ניתור).
4. קביעת מישור תנועה עיקרי בתצפית.
5. איתור המפרקים העיקריים העוזרים בהגשת המטרה העיקרית.
6. קביעת סוג התנועה. (לדוגמא : סימטרית, מחזורית, רציפה).
7. קיומם של כוחות מנוגדים. (לדוגמא כוחות פנימיים של השרירים מול כוחות חיצוניים).
8. איתור גורמים מגבילים בתנועה. כל הגורמים שפוגעים בתנועה שלא קשורים באדם עצמו ומשבשים את אמיתות הניתוח. (לדוגמא : נעל שחוקה או אבן בנעל).

## מטרה תנועתית

- מאמץ מרבי
- מאמץ תת מרבי-דיוק

## משתנים תלויים

1. קינמטיים- משתנים המתארים את התנועה במושגים של זמן ומרחק. לדוגמא : מהירות, מרחק, כיוון, תאוצה. האמצעים למדידת משתנים קינמטיים : וידיאו, מד זווית וכדומה.
  2. קינטיים- משתנים הגורמים לתנועה. הבחנה בין כוח למומנט. כוח-גורם לתנועה קווית, מומנט-כורם לתנועה סיבובית.
- \* ניתוח מיומנות תנועתית נעשה ע"פ תנועה קווית או תנועה סיבובית (מתרחשת סביב ציר).

## בניית מודל ביומכני

הפיכת הבנאדם למודל "חוליות"-ציור  
שלד האדם באמצעות קווים וציום מפרקים.



**עקומות מומנט של התנגדות ושל שריר**

מומנט-ההשפעה הסיבובית שיש לכוח שפועל במרחק מציר הסיבוב.  
זרוע המומנט- המרחק בין ציר הסיבוב למקום שבו פועל הכוח.

$$M = f_y * d$$

מומנט = M

Fy = רכיב אנכי של הכוח

d = זרוע המומנט

קו פעולת הכוח של משקולת חופשית תמיד מאונך לקרקע.

זווית יישום של הכוח: זווית שבין קו פעולת הכוח לבין העצם המתנועעת.

**דוגמא 1:**

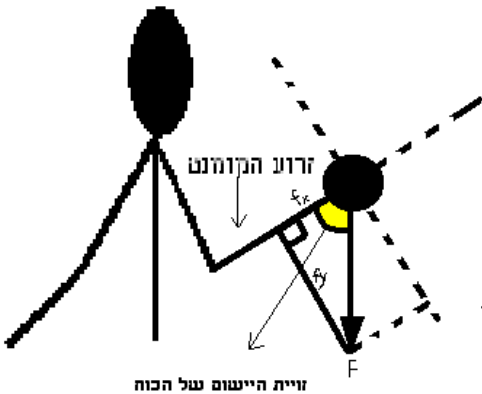
האיבר המתנועע ציר ה-X במקרה הזה : האמה. ברגע שקיימת זווית של 90 מעלות בין האיבר המתנועע לקו פעולת הכוח אז  $F = f_y$  כלומר כל המשקל של המשקולת הוא רכיב אנכי ולכן כולו משפיע על המומנט.



ההנחה : ציר התנועה לא משתנה לאורך התנועה.

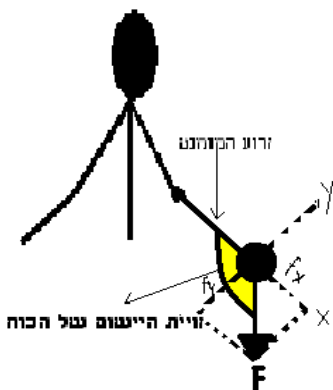
**דוגמא 2:**

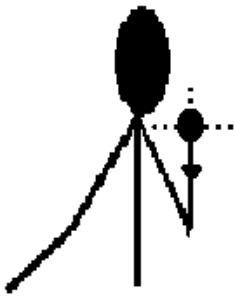
כאשר זווית היישום קטנה מ-90 מעלות הרכיב אנכי של הכוח קטן מ-F ולכן המומנט של המשקולת  $f_y < F$  ולכן המכפלה  $f_y * d$  קטנה מאשר בדוגמא 1. המומנט שפועל על המרפק קטן יותר. חלק מכוח המשקולת הוא רכיב אופקי שפונה לכיוון המפרק של העצם המתנועעת וכתוצאה מכך הוא מפעיל כוח **דחיסה** של המפרק ועוזר בקיבועו.



**דוגמא 3:**

כאשר זווית היישום גדולה מ-90 מעלות חלק מכוח המשקולת הוא רכיב אופקי שפונה נגד הכיוון של המרפק בהמשך לעצם המתנועעת וכתוצאה מכך הוא מפעיל כוח **מפרק** שרוצה להפריד בין עצמות המפרק.





#### דוגמא 4:

כאשר זווית היישום שווה לאפס, אין רכיב אופקי ולכן המומנט שהמשקולת מפעילה על המפרק שווה לאפס, אבל כל הכוח של המשקולת הוא רכיב אופקי וכולו פועל לכיוון **דחיסה**.

#### דוגמא 5:

כאשר זווית היישום שווה ל-180 מעלות כל הכוח של המשקולת הוא אופקי ולכן המומנט שווה לאפס וכל הכוח של המשקולת פועל נגד המפרק בכיוון של פריקה.



### עקרונות שיווי משקל

#### מושגי יסוד בשיווי משקל

**מרכז הכובד**-נקודה דמיונית המסמנת את מיקומו של מרכז המסה הכוללת של הגוף. מסביב לנקודה זו כל המומנטים הנמצאים בכיוונם מנוגדים שווים. בנקודה זו פועל כוח המשיכה. מיקומה של נקודה זו תלוי בתנוחת הגוף וכן במנה הגוף.

-בגוף סימטרי הומוגני מרכז הכובד = מרכז גיאומטרי  
 -בגוף א-סימטרי- מרכז הכובד נוטה לכיוון הצד הכבד יותר כך שהמסה מחולקת באופן מסיב לנקודה.

#### מרכז הכובד במרכז האדם

נקודת המפגש של מישורים קרדינאליים: סגיטלי, פרונטלי והורזנטלי.

ממוקם לרוב באזור חוליות S1-S2

המקום המדויק במנח האנטומי משתנה מאדם לאדם, בהתאם למשקל וליחסי המשקל בין איברי הגוף השונים. כאשר קיימת הפרה מהמיקום הנורמאלי של נקודת מרכז הכובד באופן קבוע (כמוצאה מליקוי בעמוד השדרה או כתוצאה מאימון יתר חד-צדדי-טניס, הדיפת כדור ברזל וכדומה) כוח המשיכה מפעיל באופן קבוע עומס גדול יותר על אותו צד, וכתוצאה מכך עלולות להתפתח שחיקויות ונזק למפרקים.

#### שיטות למציאת מרכז הכובד

1. שיטת התלייה.
2. שיטה הקורה
3. חישוב מתטי

#### הקו הכובד ובסיס התמיכה

קו הכובד -אנך העובר דרך מרכז הכובד ומגיע לקרקע.

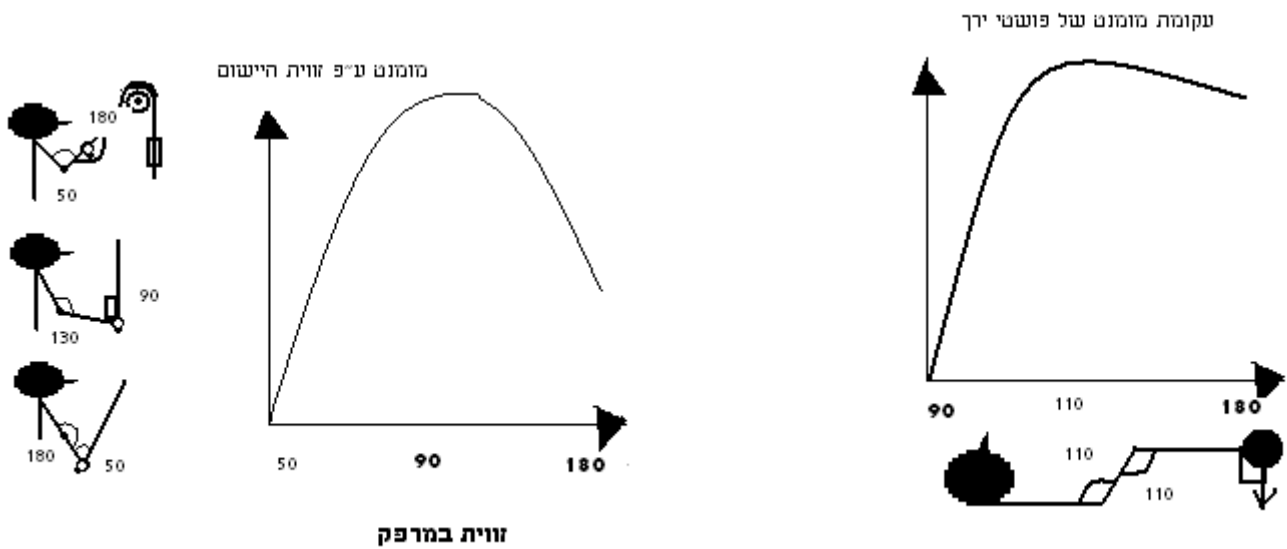
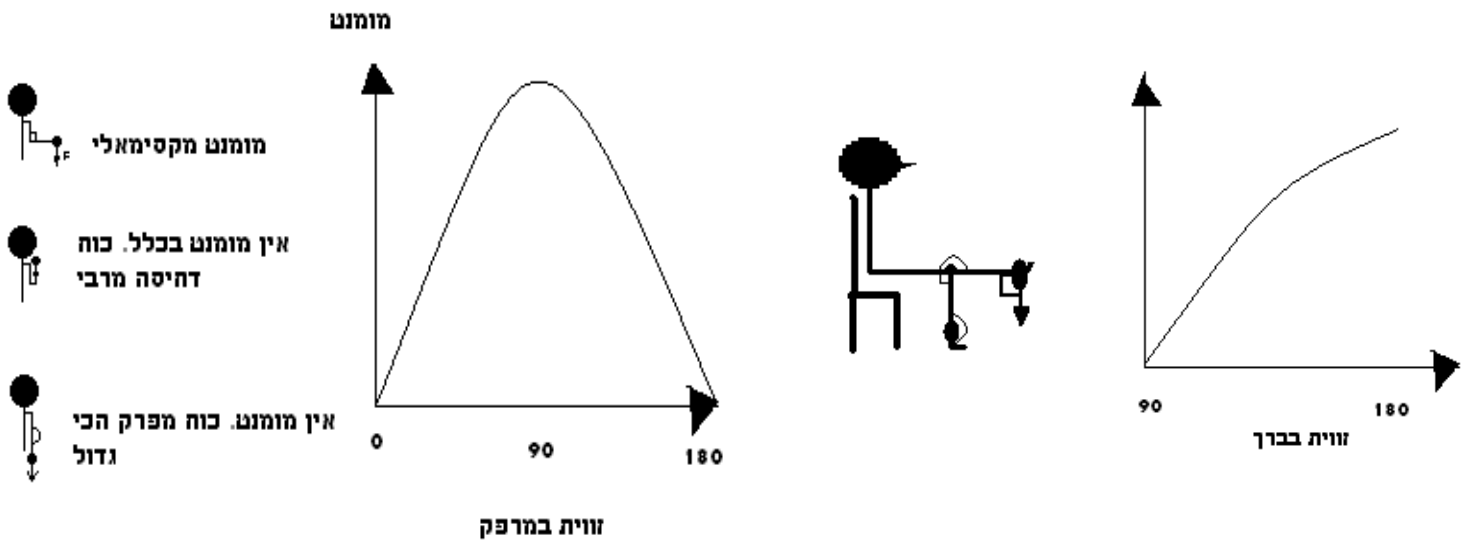
בסיס התמיכה- השטח הכלוא בין נקודות המדע של הגוף עם הקרקע או משטח אחר (קיר, שולחן).

גוף נמצא בשיווי משקל כאשר קו הכובד נמצא בבסיס. במצב סטטי. במצב דינאמי יש באופן קבוע יציאה של קו הכובד מהבסיס ויצירת בסיס חדש שאליו נכנס קו הכובד.

#### **גורמים המשפיעים על שיווי משקל**

1. שטח בסיס
2. גובה מרכז הכובד
3. משקל הגוף
4. מרחק קו הכובד מקצה הבסיס
5. כוח
6. מומנט התמדה
7. יכולת ראייה, קינסתזיה, תקינות בקרת שיווי משקל באוזן.

## דוגמאות למצבים



זרוע המומנט של שריר: בין insertion של השריר לבין הציר.  
 זווית יישום של שריר: הזווית שבין הגיד לבין העצם המתנועעת.  
 זווית אופטימאלית- זווית במפרק שזבה קבוצת השרירים מפתחת מומנט מקסימאלי.

### קינמטיקה של תנועה קווית, היבטים ביומכניים

מדידת תנועה קווית-בתנועה קווית כל חלקי המסה עוברים את אותה המרחק. (לעומת זאת בתנועה סיבובית התנועה נעשית סביב ציר ולכן לא כל חלקי המסה עוברים את אותו המרחק-הקרובים עוברים מרחק קצר יותר בהשוואה לחלקים המרוחקים יותר) קינמטיקה- מדידה של תנועה במושגים של זמן ומרחב. ניתן למדוד תנועה קווית במידות של מרחק וכיוון. כלומר וקטור. מרחק- כל החלקיקים של המסה עוברים את אותו מרחק באותו הזמן. מהירות-קצב השינוי במיקום של החפץ.

**משוואה : מהירות : מרחק/ זמן**

שתי סוגי מהירויות :

1. מהירות ממוצעת

2. מהירות רגעית (קטעים ספציפית)

תאוצה-קצב השינוי במהירות . מתרחשת בכל מצב בו יש שינוי בגודל המהירות או בכיווה.

**משוואה : תאוצה=מהירות/זמן**

\* כל עוד אנחנו לא מפעילים כוח אנחנו יכולים להתקדם באותה מהירות, אבל מאחר שעל כדור הארץ קיים כוח משיכה אנחנו כן נדרשים להפעיל כוח בכל פעילות.

תאוצה קבועה-מהירות משתנה באופן שווה לאורך כל הדרך.

תאוצה משתנה-קיים כמעט בכל פעילות שנעשית-הגברה, האטה, הגבה, האטה. במקרה כזה חישוב המהירות נעשה בהתייחס למהירות רגעית.

תאוצה ממוצעת

### קינמטיקה של תנועה סיבובית

בתנועה סיבובית כל מרחקי המסה עוברים את מרחק סיבובי אבל לא אותו מרחק קווי. במדידת תנועה סיבובית (זוויתית) יש חשיבות לפיזור המסה סביב ציר הסיבוב.

מומנט התמדה (אינרציה)- מדד של פיזור המסה סביב ציר הסיבוב.  $I = M * r^2$  זריבוע

ככל שמומנט ההתמדה גדול יותר כך הוא מתנגד לשינוי בצורה גדולה יותר; ככל שהמסה מפורזת רחוק יותר מציר הסיבוב, כך מומנט ההתמדה גדול יותר וקשה לשנות את המצב התנועתי של הגוף.

מהירות סיבובית- קצב השינוי הזוויתי, סביב ציר התנועה.

לדוגמא : כמה זמן לוקח לגוף לעבור מפשיטה מוחלפת לכיפה מוחלטת? 90 מעלות לשנייה.

תאוצה סיבובית- קצב השינוי במהירות הסיבובית.

מהירות משיקית- הקשר בין תנועה סיבובית לתנועה קווית מבוסס במהירות המשיקית. כל דבר שזורקים בתנועה סיבובית לאחר השחרור יהיה בתנועה קווית.

ככל שהגוף נמצא רחוק יותר מציר הסיבוב-מהירותו המשיקית גבוהה יותר.  $V_t = w * r$

מדוע המהירות המשיקית תהיה גבוהה יותר ברגע היציאה? ככל שחפץ נמצא רחוק יותר מציר הסיבוב הוא יצא במהירות גדולה יותר.

המהירות המשיקית היא המהירות הקווית.

## קינטיקה של תנועה קווית

קינטיקה-מדידת גורמים לתנועה-כלומר מה גורם לתנועה.  
כוח-השפעה של גוף אחד על גוף שני הגורמת לשינוי במצבו התנועתי או בצורתו.  
-ייחודיות הכוח שהוא פעול על ציר התנועה וכך גורם לתנועה קווית.  
-מקום פעולת הכוח יחסית לגוף הוא מאוד חשוב. אנחנו מדברים על כוח שמופעל על ציר הסיבוב-מרכז הכובד-ולכן נראה רק תנועה קווית.

## סוגי כוחות

כוחות חיצוניים

- כוח המשיכה
- התנגדות אוויר, מים, קרקע
- כוחות פנימיים
- שרירים

## חוקי ניוטון

חוק 1: "חוק ההתמדה" (שימור התנע). גוף שואף להישאר במצב של שיווי משקל (נייח או במהירות קבועה) כל עוד לא פועלים עליו כוחות חיצוניים.

חוק 2: "חוק התאוצה"-קצב השינוי במהירות התנועה של מסה נמצא ביחס ישר לכוח המופעל עליה ובאותו כיוון שאליו הכוח דוחף או מושך.  
פיתוח חוק שני "תקיפה ותנע"  
תקיפה (impulse)-כוח שמופעל לאורך זמן. בכל פעם שמפעילים כוח על הגוף מתבצעת תקיפה. ישנן שתי אפשרויות: כוח גדול לזמן קצר או כוח קטן לאורך זמן. ( $F \cdot t$ )  
תנע (momentum)-מסה בעלת מהירות (גוף בתנועה) גוף שנמצא בתנועה (מהירות לא אפס) יש לו תנע. ( $m \cdot v$ )

$$F = m \cdot a$$

$$a = v/t$$

$$F = m \cdot v/t \rightarrow F \cdot t = m \cdot v$$

חוק 3: "חוק פעולה ותגובה"-כשמפעילים כוח על גוף אחר הוא מעפיל עליו אותו כוח בכיוון ההפוך. על כל פעולה שמצבע גוף אק על גוף ב', קיימת תגובה שמעפיל גוף ב' על גוף א' באותה עוצמה, אך בכיוון ההפוך.

## יישומי חוק שני ושלישי בתנועה

-כאשר המטרה התנועתית היא לצאת במהירות מרבית (זינוק, קפיצה, זריקה, בעיטה) נעדיף להפעיל הרבה כוח בזמן קצר מאוד-כוח מתפרץ.  
-כאשר המטרה התנועתית היא בלימה (נחיתה, תפיסה) עדיף לספוג את הכוח לאורך זמן, כך הכוח יהיה קטן.  
תאוצה-בכל מצב שבו יש שינוי במהירות קיימת תאוצה.

דוגמאות :

- תאוצה חיובית-רכב שנוסע קדימה ומגביר את המהירות
  - תאוצה שלילית-רכב שנוסע קדימה ומאט את המהירות.
  - תאוצה חיובית-רכב שנוסע ברברס ומאט את המהירות.
  - תאוצה שלילית-רכב שנוסע ברברס ומגביר את המהירות.
- גודל התאוצה נקבע ע"פ גודל הכוח. יותר כוח תאוצה גדולה יותר.

### יישום חוקי ניוטון בתנועה סיבובית

-מה גורם לתנועה סיבובית? מומנט

-הפעלה שלכוח במרחק מסוים מציר הסיבוב יוצרת מומנט.

-הפעלת מומנט לאורך זמן-תקיפה סיבובית

-תנע סיבובי מושפע מ-2 דברים :

1. מומנט התמדה (אינרציה)

2. מהירות סיבובית

### הפעלת מומנט על גוף האדם

-כדי לגרום לשינוי בתנע יש להפעיל כוח חיצוני (לדוגמא כוח תגובה מקרקע, מקיר, אדם אחר וכדומה).

-כדי לגרום לתנועה סיבובית של הגוף, קו פעולת הכוח החיצוני צריך לעבור מחוץ למרכז הכובד.  
-כדי ליצור מומנט במישור האופקי פועל צמד-כוחות. שני כוחות מנוגדים זה לזה ולא נמצאים על אותו קו פעולה.

### יישום חוק ראשון של ניוטון

-גוף ישמור על התנע הסיבובי שלו כל עוד לא יפעל עליו מומנט חיצוני (לדוגמא חיכוך). המהירות לא קשורה במקרה הזה כי היא יכולה לגדול או לקטון ביחס לערכים של מומנט ההתמדה אך התנע יישאר זהה. (חשוב לזכור כי מהירות סיבובית ומומנט ההתמדה נמצאים ביחס הפוך במצב זה).

איך זה שהכוח המשיכה לא משנה את התנע הסיבובי? כוח המשיכה פועל על מרכז הכובד (תנע קווי ולא תנע סיבובי) ויקבע רק את משך הזמן שנשאר באוויר.  
-כאשר גוף נמצא בתנועה סיבובית באוויר, כוח המשיכה פועל על מרכז הכובד, לא יוצר מומנט. לכן כדי ליצור תנועה סיבובית באוויר אנחנו צריכים להפעיל מומנט על הקרקע. מכאן שגודלו של התנע הסיבובי באוויר נקבע ע"י הקרקע.

בנוסף: כוח חיצוני או מומנט חיצוני רק הם יכולים להשפיע על התנע הסיבובי. ולכן באוויר לא משנה אלו תנועות נעשה תוך כדי לא יהיה שינוי בתנע הסיבובי.

### יישום חוק שני של ניוטון

סכום המומנטים הפעולים על גוף נמצא ביחס ישר למומנט ההתמדה של הגוף ולקצב השינוי במהירות הסיבובית.

**סכום המומנטים=מומנט \* תאוצה סיבובית**



- ככל שמומנט ההתמדה גדול יותר כך יש צורך בהשקעת כוח רב יותר.
- מומנט לאורך זמן = תנע סיבובי
- כאשר התנע הסיבובי נשמר, ניתן לשנות את מומנט ההתמדה כדי לשנות את המהירות הסיבובית.

## מעוף גופים באוויר

### סוגי מעוף/זריקה

1. **נפילה חופשית.** התנע ההתחלתי שווה לאפס. רכיב אנכי ורכיב אופקי שווים לאפס. תיאור המעוף/זריקה : כוח המשיכה פועל כלפי מטה. אין תנע אופקי רק קווי אנכי.  $mV < 0$ . מה שיקבע כמה זמן הפריט יהיה באוויר הוא גובה היציאה לעומת גובה הנחיתה. תאוצה קבועה לאורך כל הדרך.
2. **זריקה/קפיצה אנכית.** הפעולה מתחילה מתנע גדול מאפס, תנע חיובי. התנע הינו אנכי בלבד-מושפע מכוח המשיכה. התנע הולך וקטן עם עלייתו לשיא הגובה. בשיא הגובה התנע שווה לאפס. משיא הגובה התנע הולך וגדל לכיוון השלילי.
3. **זריקה/קפיצה אנכית.** מצב פחות נפוץ, דוגמאות למצבים כאלו : יציאה מקיר בשחייה, ירי וכדומה. בתחילת הדרך מעניקים לגוף תנע אופקי. תנע אנכי גדול מאפס. תנע אופקי שווה לאפס. במהלך התנועה הרכיב האנכי גדל בכיוון השלילי. בהנחה אין השפעה לחיכוך עם האוויר הרכיב האופקי נשאר קבוע.
4. **זריקה/קפיצה אלכסונית.** המעוף הכי נפוץ, כולל בתוכו את 2 הרכיבים בעת היציאה : רכיב אנכי ורכיב אופקי. 2 הרכיבים בזמן היציאה גדולים מאפס. ברכיב האופקי – אין חיכוך עם האוויר או שהוא מזערי, נשאר קבוע לאורך כל הדרך. רכיב אנכי מתנהג כמו בזריקה אנכית מרגע היציאה התנע הולך וקטן עד שיא הגובה. בשיא הגובה התנע האנכי שווה לאפס ומשיא הגובה התנע האנכי הולך וגדל לכיוון שלילי כמו בנפילה חופשית אודות לכוח המשיכה.

## מעוף גוף באוויר

- מרגע שגוף עוזב את משטח המגע, מסלול המעוף שלו מושפע מכוח המשיכה.
- הרכיב האנכי והאופקי של התנע אינם תלויים זה בזה ואינם משפיעים זה על זה. (כדורסל שנזרק אופקית מגובה של 1.5 מ' ינחת בקרקע כעבור אותו זמן שכדורסל ייפול נפילה חופשית מגובה של 1.5 מ').
- כוח המשיכה משפיע רק על הרכיב האנכי של התנע.
- החיכוך עם האוויר משפיע גם על הרכיב האופקי וגם על הרכיב האנכי של התנע.
- ככל שמהירות הגוף גבוהה יותר וככל ששטח הפנים של הגוף גדול יותר כך התנגדת האוויר גדולה יותר.
- מסלול מעוף ללא השפעת חיכוך עם האוויר יהיה בצורת פרבולה.
- בהנחה שאין חיכוך עם האוויר מהירות אופקית התחלתית שווה לכל אורך הדרך-כלומר אין תאוצה אופקית.

-מעוף של גוף עם השפעת כוח המשיכה וחיכוך עם האוויר-גרף פרבולה יותר נמוך ולא סימטרי.

### גורמי השפעה על מסלול המעוף

- זווית היציאה. הזווית יחסית לאופק ממנו נזרק הגוף-כיוון התנע ברגע היציאה.
- מהירות היציאה. וקטור המהירות של הגוף ברגע השחרור.
- גובה יחסי. העתק אנכי. הבדלי הגובה בין מקום היציאה למקום הנחיתה.

\* כשאנו מעוניינים לדעת מהי הזווית האופטימאלית ליציאה אנחנו צריכים לדעת על איזו מיומנות מדובר. לכל מיומנות זוויות אופטימאלית שונה.

### חשוב לזכור!

- הרכיב האנכי של התנע וגובה היציאה יקבעו את זמן השהייה באוויר.
- הרכיב האופקי של התנע ברגע היציאה יקבע את המרחק האופקי.

### מעוף אלכסוני

- גובה היציאה שווה לגובה הנחיתה. העתק אנכי שווה לאפס. דוגמא: בעיטת כדור בכדורגל.
- גובה היציאה שונה מגובה הנחיתה; העתק אנכי חיובי: מוצא נמוך מנחיתה- לדוגמא: זריקה לסל או קפיצה על ארגז. העתק אנכי שלילי: נחיתה נמוכה ממוצא. לדוגמא: קפיצה למרחק (מרכז כובד נע מגובה לנמוך).

### זווית יציאה מיטבית

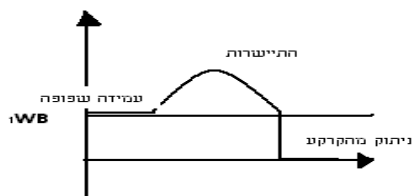
- כאשר גובה היציאה שווה לגובה הנחיתה, זווית היציאה להשגת מרחק מרבי היא 45 מעלות.
- זווית היציאה עולה כאשר מקום הנחיתה גבוה ממקום היציאה (העתק חיובי) לדוגמא זריקה של כדור לסל.
- זווית קטנה כאשר מקום הנחיתה נמוך ממקום היציאה (העתק שלילי) לדוגמא זינוק לבריכה.

### מטרה תנועתית-מרחק מרבי

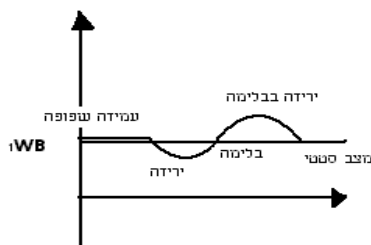
דוגמאות: קפיצה למרחק, הטלת כידון, בעיטה בכדורגל וכדומה. במצבים אלו עדיין דרוש תנע אנכי, על מנת לאפשר זמן שהיה באוויר. נדרשת "פשרה" בין הזמן באוויר לבין המרחק האופקי המושג בזמן זה.

### מעבדה-פלטת כוח

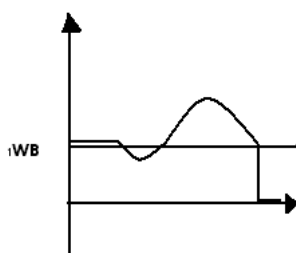
פלטת כוח- מראה כמה כוח מפעילים עליה, היתרון הוא שמראה את הכוח המופעל לאורך זמן (גם בעת תנועה) מודדת כוחות בכיוונים שונים (לעומת המאזניים שרק למטה).



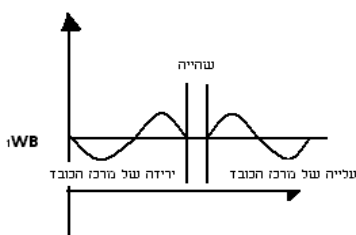
א. תיאור הגרף: מעמידה נפופה, תנע שווה לאפס, מתבצעת השקעה חיובית של כוח-הגדלה של התנע החיובית. הכוח המושקע גדול מהמשקל של המבצעת ישנה התגברות על כוח המשיכה.



ב. תיאור גרף: מעמידה. ישנה ירידה – כוח המשיכה גובר על המבצעת, תנע הולך וגדל בכיוון השלילי – תאוצה שלילית. בנקודה שהגרף שב וחוזר בציר ישנה עצירה, מעבר מכוח שלילי לכוח חיובי. הגרף שמעל הציר מסמל כי השרירים מתחילים לגבור על כוח המשיכה. החלק השני מסמן את הירידה בבלימה-המהירות הולכת וקטנה. עד מצב של חוסר תזוזה.



ג. תיאור גרף: תנועה משולבת. ירידה עם תקיפה חיובית גדולה יותר בהמשך.



ד. תיאור גרף: ירידה של מרכז הכובד, בלימה, עלייה של מרכז הכובד ובלימה.

#### ה. תנועה סיבובית באוויר- "פעולה ותגובה באוויר"

- שני גופים מחוברים בניהם בציר משותף.
- כאשר גוף א' מפעיל מומנט על גוף ב', גוף ב' מפעיל על גוף א' מומנט שווה בגודלו אך הפוך בכיוונו.
- כאשר הגוף באוויר, לא ניתן ליצור תנע ע"י מומנטים פנימיים, ולכן סכום המומנטים שווה לאפס, לא נוצר תנע סיבובי מחדש.
- כאשר קיימים הבדלים בין מומנט ההתמדה של חלק אחד לבין החלק השני, כל חלק ינוע למרחק שנמצא ביחס הפוך לגודלו.
- החוליה בעלת מומנט ההתמדה הגדול יותר תנוע לטווח קטן במהירות איטית.

#### העברת תנע

- במערכת חוליות-שרשרת קינמאטית
- בין גוף אחד לגוף שני
- תנע קווי לקווי
- תנע סיבובי לסיבובי
- קווי לסיבובי/ סיבובי לקווי.

\* שרשרת קינמאטית-שרשרת שבנויה מכמה חוליות בעזרת מפרקים.

#### העברת תנע בשרשרת קינמאטית

- רצף של חוליות המחוברות אחת לשנייה במפרקים
- המטרה-השגת מהירות מרבית בחוליה האחרונה
- כל המערכת נמצאת בתנע סיבובי (מומנט התמדה גדול\*מהירות סיבובית).
- בלימת חוליה אחת בשרשרת בחדות מביאה את המערכת החדשה למומנט התמדה קטן יותר, המהירות הסיבובית גדולה יותר.
- כאשר הבלימה חדה, איבוד התנע קטן וניתן להתייחס לחוק ראשון של ניוטון-שימור תנע.

#### גורמים שמשפיעים על גודלה של המהירות הסיבובית הבאה

- התנע הראשון
- מומנט ההתמדה של החוליה הנבלמת (צריך להיות קטן)
- אופן הבלימה-ככל שחדה יותר יותר-המהירות הבאה גבוהה יותר
- מומנט ההתמדה של המערכת החדשה אחרי הבלימה
- ככל שמהירות החוליה האחרונה בשרשרת גבוהה יותר, מהירות השחרור או הפגיעה בגוף הבא תהיה גבוהה יותר
- העברת תנע נקראת לעיתים חיבור כוחות.

- כאשר מעבירים תנע לגוף אחר אין בלימה של האיבר האחרון.
- שימוש הידיים בריצה: איזון הגוף מצד אחד והעברת תנע קווי לרגליים והגברת מהירות מצד שני.
- כאשר המטרה התנועתית היא דיוק, אין צורך לשחרר חפץ במהירות מרבית, התנועה יותר מבוקרת ובדרך כלל מתבצעת על קו ישר.
- כאשר המטרה התנועתית היא מהירות מרבית, מתקיימת העברת תנע, בד"כ תנועה קשתית.

#### **העברה מתנע קווי לתנע סיבובי**

דוגמא המסבירה את המצב: אצן רץ בקו ישר, בולם ברגל אחת (הרגל תוקפת את הקרקע והקרקע תוקפת חזרה). הרגל הופכת לציר, שאר הגוף ממשיך לנוע יחסית לציר. דוגמא נוספת: כשאנחנו יורדים במדרגות ומחזיקים במעקה. המעקה במקרה הזה הוא ציר-אנחנו ממשיכים לרדת למרות האחיזה.

- גוף נע בתנע קווי, חלק אחד של הגוף נבלם בעזרת כוח חיצוני, שאר הגוף ממשיך לנוע אבל סביב ציר תנועה חדש.
- בקפיצה למרחק- מעבר מתנע קווי בזמן המעוף לנחיתה, בה הגוף נע סביב ציר סיבוב-קרוסוליים-הגוף נע לפנים.

#### **העברה מתנע סיבובי לתנע קווי**

\*גוף שנמצא בתנע סיבובי-למשל תרגיל "שמש" על מתח, המתעמל מתנתק מהמתח-הגוף ינוע בתנע קווי בכיוון המשיק למעגל הסיבוב שלו.

#### **העברת תנע מגוף אחד לגוף שני**

- גוף בעל תנע קווי (כדור במעוף) פוגש גוף אחר בעל תנע קווי-כדור אחר או מחבט
- כשהתקיפה היא דרך מרכז הכובד של כל גוף: התנע הקווי לאחר התנגשות של כל גוף הוא:
- בהנחה שקיים חוק ראשון של ניוטון-התנע הכולל לפני ההתנגשות שווה לתנע הכולל לאחר ההתנגשות.
- התנע של כל גוף לאחר התנגשות תלוי בהבדלים בין המסות של הגופים.
- גוף בעל מסה גדולה (מחבט) יעביר תנע גדול יותר-הגוף בעל המסה הקטנה (כדור) יצא עם מהירות גבוהה יותר.

## **דוגמא לניתוח מיומנות: קפיצה למרחק**

מטרה תנועתית: השגת מרחק אופקי מרבי  
מה יקבע את המרחק? – התנע ברגע היציאה.

השלים המאפשרים להגיע לתנע:

**הרצה**-צבירת תנע אופקי אופטימאלי (לא מרבי-כי אנחנו עלולים לפספס). החוקים המאפיינים שלה זה הם חוק שני (חוק התאוצה) של ניוטון וחוק שלישי (תקיפת הקרקע בעוד שהקרקע תוקפת חזרה).

**ניתור**- לפתח תנע אנכי ובמקביל לשמור על תנע אופקי ככל שאפשר וכמובן יציאה בזווית אופטימאלית. החוקים המאפיינים שלב זה הם: חוק שני+חוק שלישי. העברת תנע בשרשרת קינמטית. תיאור התנועה המתבצעת: מרימים ברך גבוה-ובולמים, מרימים יד נגדית ובולמים, עד שהקרקע בא במגע עם הקרקע. הצעד האחרון הוא גדול יותר-מרכז הכובד יורד למטה ואז יש יכולת תקיפה גדולה יותר של הקרקע (חוק שלישי) תנע גדול יותר של הגוף (חוק שני).

**מעוף**- אנחנו רוצים שהגוף יעוף קדימה. הגו יורד אל הרגליים, הרגליים עולות מעט למעלה, מביאים את הידיים אחורה הגו הולך עוד קצת קדימה ואז גם הרגליים עולות קצת ומרווחים עוד סנטימטר/שניים.

**נחיתה**. ישנה בעייתיות בנחיתה בברכיים ישרות-כי יש מומנט מאוד גדול שרוצה למשוך לאחור. ברגע שהברכיים כפופות מומנט ההתמדה קטן יותר, קרוב לציר.

## **מעוף אלכסוני**

כוח Magnus – כוח שפועל על גוף שיש לו גם תנע קווי וגם תנע סיבובי והוא בעל מסה שמושפע מהחיכוך עם האוויר. הכוח יגדל ככל שהתנע הסיבובי גדלים בגלל הפרשי ריכוזים של החלקיקים.

## **ביומכניקה של רקמות**

אלסטיות- יכולת החומר לחזור למצבו הקודם לאחר שינוי באורך או בצורה. ויסקוזיות/ פלסטיות- יכולת החומר לספוג כוח (מושפע ממשך הפעלת הכוח, ומקצב הפעלתו) לאחר הפעלת הכוח, נותר שינוי קבוע באורך או בצורה.

השפעת סוג החומרים על תכונות הרקמה

\*קולגן- יציבות, נוקשות, חוזק, טווח תנועה מוגבל, מתעבה ומתרבה כתוצאה מתרגול, ולהיפך! מתארך במהירות תחת עומסים קלים-עד ליישור הסיבים, מעבר לכך מתנגד למתיחה.

\*אלסטין- גמישות, מאפשר התארכות של עד 200% בעומסים נמוכים.

\*חומר בין תאי- סיכוך הרקמה ותהליכי חילוף חומרים.

## סוגי מאמצים (עומסים)

דחיסה- פועל על ציר האורך של הגוף לכיוון המרכז , דוחס את החומר.  
מתיחה- פועל על ציר האורך של הגוף כלפי חוץ, גורם להתארכות.  
כפיפה- פעולת מומנט על הרקמה, שלוב דחיסה בצד אחד ומתיחה בצד השני.  
גזירה- פעולה של שני כוחות מנוגדים במעט על אותו קו פעולה.  
פיתול- פעולה של שני מומנטים מנוגדים סביב ציר אורך.

## עמידות העצמות במאמצים:

1. יכולת עמידות גבוהה ביותר במאמצי דחיסה.
2. מעט פחות במאמצי מתיחה.
3. מאמץ כפיפה.
4. הכי פחות עמידות במאמצי פיתול או גזירה.
5. יכולת העמידות בפני עומסים ניתנת לשינוי.

## עקמת מאמץ-מעוות

מעוות-שינוי באורך יחסית לאורך התחלתי.

תחום אלסטי-הפעלת כוח גורמת לשינוי באורך, הסרת הכוח גורמת לחזרה לאורך ההתחלתי.

נקודת כניעה

תחום פלסטי-הפעלת כוח גורמת לעווית בלתי הפיך.

נקודת שבירה-הרקמה נקרעת או נשברת. ככל שהנקודה גבוהה יותר כך דרוש יותר כוח כדי להרוס את הרקמה.

\* ככל שהזווית של האזור האלסטי יותר קטנה דרוש פחות כוח כדי לגרום לשינוי גדול יותר באורך ולכן הרקמה יותר אלסטית.

## פגיעות/פציעות

\*נזק שנגרם לרקמה כתוצאה מפעולת מאמץ מכני.

\*עמידות הרקמה תלויה בגורמים שמשפיעים על עקומת המאמץ-המעוות שלה.

עוצמת המאמץ המכני, כמות החזרות, מהירות הפעלת המאמץ, תדירות הפעלת המאמץ, עייפות וגיל.

## סוגי פגיעות

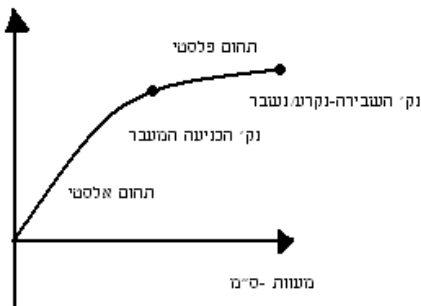
\*פגיעה טראומתית. בלתי צפויה. נגרמת מהפעלת מאמץ קריטי, גורם לנזק בלתי הפיך.

\*פגיעת שימוש יתר (פגיעת עייפות)-נגרמת מפעולת מאמץ נמוך מהמאמץ הקריטי, אבל בשכיחות גבוהה שאינה מאפשרת התאוששות.

## פעילות השרירים בהפחתת עומסים

לשרירים יש יכולת לספוג חלק מהכוחות החיצוניים במאמצים אקנטריים.  
מאמץ כפיפה חיצוני יכול להצטמצם בעזרת מאמץ של שריר בכיוון ההפוך. (לדוגמא השריר gluteus medius מקטין עומסי כפיפה על צוואר הירך).

מאמץ, מעומס - ק"ג



## כאבי גב תחתון

- עמוד שדרה מותני 5- חוליות, "יושבות" על הסקרום, משמשות כמאחז לשרירים ולרצועות. מגנות על החלק התחתון של חוט השדרה ושורשי העצבים המותניים. (נקודת משען לכל משקל הגוף, נקודת מפגש בין הגו לאגן. פיזור עומסים לא תקין יכול להיות בעייתי).
- עומסים גדולים בנקודת מפגש בין הגו לבין האגן, גורמים למנח שגוי ותנועתיות לא תקינה של החוליות.
- דיסק בין חולייתי – בולם זעזועים מגדיל תנועתיות של כל חוליה. הדיסק בין חוליות L4 ו L5 נתון לפציעות רבות יותר מאשר כל שאר הדיסקים. אזור החוליות הבעייתי הוא אזור החוליות התחתונות, יש הרבה תנועות שלא תמיד צריכות להיות שם והרבה עומסים. (מקום שבו יש את מרבית פריצות הדיסק). עצם העובדה שהסחוס הטבעתי נשחק – הזעזועים עוברים אל החוליות. יש חיכוך בין החוליות, הדבר גורם לכאב וטווח התנועה נפגע-כאמור קטן.
- פריצת דיסק: הדיסק בנוי מגרעין וטבעת סחוסית (בנויה מסיב קולגן בצורת שתי וערב- בעל מידה מאוד מצומצמת להימתח-חוזרת לגדול שלה בסוף). העמסה מתמדת (פגיעה כרונית). לא בריאה מביאה לטבעת הסחוסית לצאת מעט החוצה מביאה למצב שנקרא בלט. כשהעומסים הגדולים ממשיכים יכול להיווצר מצב שבו הגרעין יצא החוצה – כלומר מצב בו הדיסק בו לכיוון עמוד השדרה- מצב שנקרא "פריצת דיסק". סיבה נוספת לבלט דיסק או פריצת דיסק זה מצב של פגיעה אקוטית-כלומר עומס גדול מדי שגורם לנוק באופן פתאומי בבת אחת.
- משטחיים מפרקיים מאפשרים בעיקר כפיפה (מעט מאוד תנועות של פשיטה ורוטציות). הם אלו למעשה שקובעים את מישורי התנועה. תנועות מוגזמות שמביאות לחיכוכים נשנים וחוזרים בעומסים גדולים מביאות לבעיות גדולות יותר בעתיד.
- חוט השדרה עובד בתעלת עמוד השדרה. שורשי העצבים יוצאים מהמקומות החלשים ביותר – המרווחים הבין חולייתיים (IFV) פציעה בדיסק עלולה לפגוע באחד בשורשים לדוגמא כאלו שאחראים על הגליים (עצבים מוטורים או תחושתיים).
- התעלה של עמוד השדרה הולכת ונהיית צרה ככל שיוורדים כלפי מטה, עם הגיל נתרחת הצרות של התעלה כתוצאה משינויים ניוונים, שפוגעת בעצבוב. יכולה להביא לפגיעה לדוגמא בשליטה בסוגרים.
- שרירים מותניים- אחראים על תנועתיות האגן והגב, מפעילים עומסים גדולים מאוד על החוליות המותניות.



## דוגמאות לניתוח שגיאות בביצוע מיומנויות שונות

א.

מיומנות: תלייה, השחלת רגליים ועלייה לסמיכה אחורית-התנועה סביב ציר חיצוני.

שגיאות בביצוע:

1. כפיפת ידיים לפני ההשחלה. מבחינה טכנית – לא היה מקום להכניס את הרגליים. מומנט ההתמדה היה קטן, מהירות סיבובית בהתאמה הייתה גדולה יותר-לא היה מספיק זמן מבחינת הזמן. השפעת כוח המשיכה. שלב הירידה: כוח המשיכה מושך מטה –תנע סיבובי גדל. שלב עלייה: כוח המשיכה פועל על מרכז הכובד –התנע הסיבובי הולך וקטן. השפעת כוח צנטריפוגאלי. כוח זה רוצה לזרוק את הגוף מחוץ לסיבוב-נגד כיוון מרכז המעגל, מושפע מהמסה של הגוף ומהמהירות הסיבובית של הגוף. ככל שמהירות הסיבובית גדולה יותר הכוח הצנטריפוגאלי גדול יותר.
2. יישור מוקדם של הגוף אחרי השחלת הרגליים. מצב שהוא בלתי אפשרי ישנה-אורך מקסימאלי של הידיים. מומנט ההתמדה היה גדל בשלב העלייה כשכוח המשיכה פועל על המבצע-ואז הוא היה "גובר" עליו. לכן חשוב בשלב העלייה להקפיד על מומנט התמדה גדול על מנת להשלים את הסיבוב כמה שיותר מהר.
3. הטיית הגוף לפני- מרכז הכובד נמצא בדיוק על הציר וקו הכובד עובר בדיוק בתוכו. ברגע שתהיה הטיית גוף לפני –קו מרכז הכובד יצא מהבסיס וייווצר מומנט. כוח המשיכה ימושך לפני –המבצע עלול לפול על הפנים.

ב.

מיומנות: מעבר משוכות

שגיאות בביצוע:

1. בהגיעו לניתור גוף המבצע נטוי לאחור. הדבר פוגע ברכיב האופקי –תנע אופקי. מגדיל את התנע האנכי –המבצע יקפוץ יותר לגובה מאשר קדימה לפני-במקרה הזה לא בהכרח היה עובר את המשוכה.
  2. הגו לא נטוי לפני בעת המעבר. עקרון פעולה ותגובה באוויר-אם לא היה מטה את הגוף לפני לא היה פועל עקרון פעולה ותגובה, הרגל לא הייתה עולה –ויכול להיות שהרגל הקדמית הייתה נתקעת במשוכה.
- \*למה מכופפים את הרגל האחורית ומעבירים אותה מהצד בעת הביצוע?  
תשובה: 1. הכיפוף מביט להקטנת מומנט ההתמדה ובמקביל יש הגדלה של המהירות הסיבובית. 2. הסיבה שהרגל עוברת מהצד היא ע"פ עקרון פעולה ותגובה-אנחנו לא רוצים שהגו ילך לאחור (חוליה גדולה) ולכן אנחנו מעבירים את מהצד (חוליה קטנה) ומקסימום תהיה תנועה של הגו הצידה אך לא לאחור-דבר שיביא בהכרח להאטה.

ג.

מיומנות: סלטה לאחור

שגיאות בביצוע:

1. ניתור לאחור במקום למעלה ולאחור: הרכיב האנכי במצב זה נפגע, אין מפסיק תנע אנכי. זמן שהייה היה קטן. סביר להניח שהמבצע ייפול על הגב. -לא יצליח להשלים את הסיבוב השלם באוויר.
2. איחור בהרמת הרגליים לחזה: מומנט התמדה נשאר גדול- מהירות סיבובית נשארת קטנה.
3. חוסר תיאום בין הניתור להנפת הידיים: חוסר תיאום יביא לפגיעה בפיתוח של התנע האנכי- פגיעה בהעברת התנע מהידיים לרגליים.
4. יישור מוקדם של הגוף לפני הנחיתה- ההפעלה והתגובה באוויר הייתה מגדילה את מומנט ההתמדה, המהירות הסיבובית הייתה יורדת-הסתכנות בנפילה על הראש.