

# הנוירופיזיולוגיה של מתיחות השרירים

## רקע עיוני וטכניקות מקובלות

המאמר השלישי בסדרת המאמרים העוסקים בגמישות מתמקד בבסיס הנוירופיזיולוגי של רקמת השריר ובשיטות המתיחה הנפוצות: מתיחות אקטיביות, מתיחות פסיביות וטכניקות ה-P.N.F.

### ורדיתה גור

## מוויסקו-אלסטיות לנוירופיזיולוגיה

(תמצית המאמר הקודם)

רקמת שריר, כפי שתוארה במאמר הקודם (1 תשנ"ט), היא צורה מיוחדת של רקמת חיבור: היא מורכבת הן מרקמות החיבור הפסיביות (אפימיזיום, פרימיזיום, אנדומיזיום וסרקולמה), העשויות קולגן, אלסטין, רטיקולין וחומר בין-תאי, והן מרקמה אקטיבית - הסרקומר, שהוא בעל יכולת של כיווץ והרפיה.

השילוב בין שני סוגי הרקמות מקנה לרקמת השריר את תכונותיה המיוחדות:

- \* יכולת כיווץ (CONTRACTILITY)
- \* יכולת התארכות (EXTENSIBILITY)
- \* יכולת להימתח ולחזור לאורך המקורי (ELASTICITY)
- \* יכולת להגיב לגירוי עצבי ממקור חשמלי, כימי או מכני (EXITABILITY).

כמו כל הרקמות הביולוגיות, גם רקמת השריר מתאפיינת בתגובה וויסקו-אלסטית למתח המופעל עליה. תגובה זו מבטאת את היכולת לחולל שינוי הפיך (אלסטי) באורך הרקמה, כמו גם שינוי קבוע (פלסטי). השינוי - המעוות (STRAIN) - באורך השריר תלוי:

- \* בעוצמת הכוח המופעל
  - \* במשך הזמן
  - \* בטמפרטורה של הרקמה
  - \* בסוג הרקמה ובמצבה (הרברט, 1988).
- שינוי אלסטי קצר-מועד הוא בר-השגה, תוך הפעלת כוח רב יותר במתיחות דינמיות ובטמפרטורה נורמלית. מאידך, הנוסחה המאפשרת שינוי פלסטי - קבוע - היא: **הפעלת כוח בשיעור נמוך, לאורך זמן ובטמפרטורה גבוהה מהנורמלית** (אלתר, 1996).

ככל שהרקמה קשיחה יותר, כך נדרש כוח חיכוני ומשך זמן גדולים יותר כדי למותחה.

ה-STRESS RELAXATION וה-CREEP ("זחילה") הן שתי תגובות הנותנות ביטוי מוחשי להשפעת הזמן על תוצאות המתיחה:

\* תופעת ה-STRESS RELAXATION מציינת ירידה במתח הרקמה, הנמצאת באורך קבוע ולאורך זמן. היא מתחילה להתרחש כאשר הרקמה נמתחת במשך 12-13 שניות ומעלה, ומבטאת ירידה בכוח הנדרש כדי לאפשר את קיומו של האורך החדש.

\* תופעת ה-CREEP ("זחילה") מבטאת שינוי מתמשך באורך הרקמה, הנתונה למתח (STRESS) קבוע ולא משתנה לאורך זמן. סטארינג וחבי (1988) טענו ש-15-20 דקות של מתיחה מתמשכת בעוצמה נמוכה, שחזרו עליה 5 ימים רצופים, הביאה לשינוי באורך השרירים פושטי הירך. לחילופין, גם אימון מחזורי שבו חזרו על מתיחה של 10 שניות, המלווה ב-8 שניות הרפיה למשך 15 דקות ובמשך 5 ימים רצופים, נתן תוצאות דומות.

שתי התופעות חשובות בהגברת היענות הרקמה לתהליכי מתיחה, והן מוסברות בשילוב שבין התכונות הוויסקו-אלסטיות עם מנגנונים עצביים שיתוארו בהמשך.

הרעיון התומך בהעלאת הטמפרטורה של הרקמה הנמתחת נשען על ההנחה שזו מחלישה קשרים אינטרמולקולריים של הקולגן, מפחיתה את צמיגות הרקמה ובכך מקלה על יצירת השינוי. החום המשתחרר במהלך מתיחה ממושכת תורם גם הוא להאצת השינוי. כדי לקבע את השינוי ממליצים המהדרים על קירור הרקמה בתום המתיחה ולפני הסרת הגורם המותח (וורן, להמן וקובלנסקי, 1976).

## אימון בטווח האלסטי והפלסטי

**אימון בטווח האלסטי:** כאשר מעוניינים למתוח שרירים כדי להכניס לקראת פעילות גופנית מיידית, או כדי לשמר את הגמישות הקיימת, ניתן להמליץ על אימון בטווח האלסטי, כלומר עד גבול אי-הנוחות. אימון כזה יכול מתיחה סטטית של 8-12 שניות לפחות, המלווה בהרפיה של 4-6 שניות וחזרה רציפה של לא פחות מ-4 פעמים. יודגש ששינוי המתרחש בעקבות מתיחה כזו הוא זמני בדרך כלל וחולף אחרי שעתיים עד יממה, תלוי בטיב הרקמה הנמתחת. רצוי לבצע אימון כזה לפחות 4 פעמים בשבוע כדי לשמר את הקיים (וורן, להמן וקובלנסקי, 1976; סטארינג, 1990).

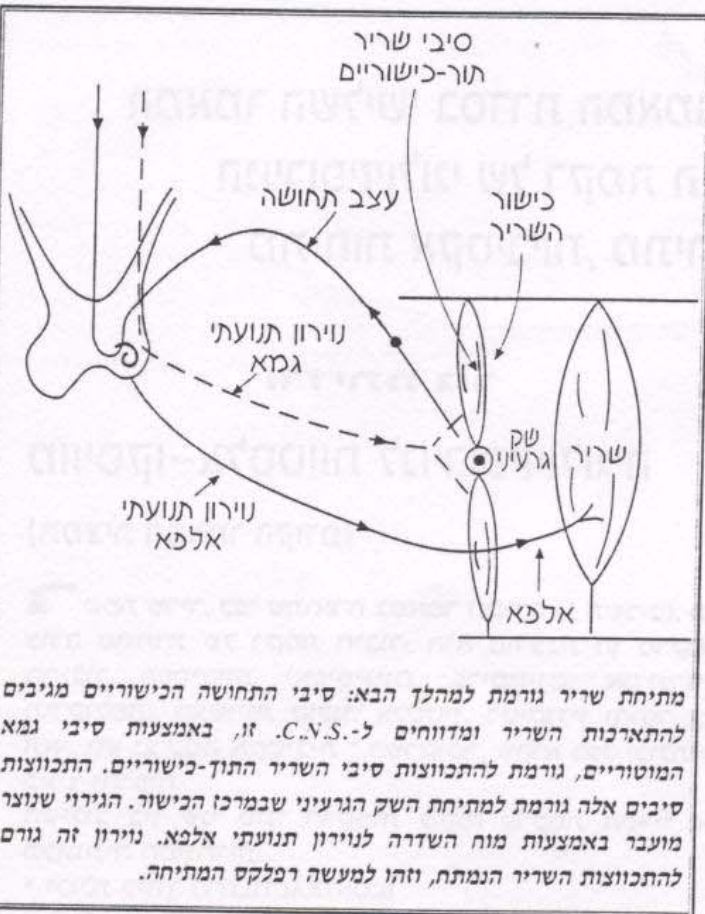
**אימון בטווח הפלסטי:** בתרגול או באימון תקופתי מובנה שמטרתו ליצור שינוי קבוע ומתמשך, יש קודם כול להגביר את

ד"ר ורדיתה גור - ראש המגמה לטיפול היציבה וראש המרכז לטיפול ביציבה במכללה לחינוך גופני ולספורט ע"ש זינמן במכון וינגייט

התמחות מיוחדת התורמת להרפיית השריר, כאשר הוא נמתח באופן איטי ומתמשך (אלתר, 1996).  
להלן אופן פעולתם של כישורי השריר (איור 1):

**איור 1:**

מנגנון הפעולה של כישור השריר



מתיחת שריר גורמת למהלך הבא: סיבי התחושה הכישוריים מגיבים להתארכות השריר ומדווחים ל-C.V.S., זו, באמצעות סיבי גמא המוטוריים, גורמת להתכווצות סיבי השריר התוך-כישוריים. התכווצות סיבים אלה גורמת למתיחת השק הגרעיני שבמרכז הכישור. הגירוי שנוצר מועבר באמצעות מוח השדרה לנירון תנועתי אלפא. נירון זה גורם להתכווצות השריר הנמתח, וזהו למעשה רפלקס המתיחה.

משך המתיחות בנקודת אי-הנוחות, ולאחר מכן ניתן להתאמן בזהירות ובהקפדה גם בטווח הפלסטי. תרגול בטווח זה עשוי להיות כרוך בתחושת כאב קלה עד בינונית. כדי להשיג שינוי פלסטי יש להתמיד במתיחות במשך 10-20 דקות, לפחות 5 פעמים בשבוע, לפרק זמן של כמה שבועות. בכל מקרה, יש להימנע מכול וכול מהפעלת כוחות מתיחה גדולים ומביצועים במהירויות גדולות (קיסנר וקולבי, 1990).

מאחר שהתרגול בטווח הפלסטי כרוך בשינויים תוך-רקמטיים, המלצתי היא להפקיד את המתיחות בטווח הזה בבקרה של אנשי מקצוע מתחום הקליניקה הפיזיקלית, ואילו את השמירה על טווחים קיימים וחדשים - להשאיר לאחריותו של המתאמן. אחריות זו תתבטא בנקודות הבאות:

- \* הקפדה על שגרת מתיחה מתמדת
- \* חיזוק האנטגוניסטים לשרירים הנמתחים
- \* אימוץ הרגלי תנועה ותנוחה, המהווים חלק בלתי נפרד מההתנהגות התנועתית היום-יומית של המתאמן. למשל - יציבה חדשה, ניצול טווחי תנועה גדולים יותר, שינויים ארגונומיים כמו עיצוב מחדש של הריהוט.

**הבסיס הניורופיזיולוגי**

ההמלצות היישומיות שפורטו עד כה נשענות בעיקר על הבסיס הביומכני. אך כאמור, הבסיס הזה אינו מספק את כל המידע הנחוץ לדיון בשיטות המתיחה. להשלמת התמונה יוצגו כמה פרטים חשובים מהתחום הניורופיזיולוגי, שהרי רקמת שריר היא תרכובת של רקמות פסיביות ורקמה אקטיבית. בכל אחד מהמבנים שפורטו במאמר הקודם, קרי שרירים, גידים, קופסית המיפרק, רצועות ומחלתות, נמצאים גופיפים תחושתיים (המכונים חיישנים או פרופריוספטורים). אלו תורמים לבקרת הטונוס השרירי, לתיאום התנועה ולדיוקה. להלן החיישנים החשובים לנושא הנדון במאמר:

1. כישורי השריר (MUSCLE SPINDLES)
  2. גופיפי גולג'י (GOLGI TENDON ORGANS)
  3. מכנו-רצפטורים פרקיים.
- ככלל, גופיף תחושה קולט מידע בדרך אחת ומעביר אותו על-ידי אימפולסים חשמליים לחלקים אחרים במערכת העצבים המרכזית - C.N.S. שם מפוענח המידע ומעובד לשדרים הנשלחים דרך מערכת העצבים לאיבר המטרה, כמו שריר למשל. שני החיישנים הראשונים שהוזכרו לעיל - כישורי השריר וגופיפי גולג'י - החשובים לנושא המתיחות, רגישים לשינויים:
- \* באורך השריר
  - \* במהירות שבה מתחולל השינוי
  - \* בשיעור המתח (TENSION) של השריר.

1. כישורי השריר

כישורי השריר הנמצאים ברוב שרירי השלד מונחים במקביל לסיבי השריר ומחוברים אליהם בשני קצותיהם. הכישורים, כאמור, רגישים לשינויים באורך השריר ומכילים קצות עצבים תחושתיים - ראשוניים ומשניים. הראשוניים מזהים את מהירות המתיחה ואת שיעור ההימתחות. המשניים רגישים כנראה להתארכות סטטית (טונית) בלבד. הם נוטלים חלק בפיקוח על היציבה, וייתכן שיש להם

כאשר שריר מתארך נמתחים איתו קצות העצבים התחושתיים. הם מדווחים, באמצעות חוט השדרה, למוח הקטן או לגרעיני בסיס המוח על מתיחה שעברה את גבולות הטווח האפשרי של רקמת השריר. בתגובה נשלחים אימפולסים מוטוריים (גם הם דרך חוט השדרה), ובאמצעות נירון תנועתי גורמים לכיווץ השריר הנמתח. זוהי תגובת רפלקס המתיחה (STRETCH REFLEX), שהיא למעשה מנגנון המגן על השריר בפני מתיחה שעלולה לפגוע בו. ככל שהמתיחה חזקה ומהירה יותר, או עוברת במהירות ובשיעור ניכר את סוף הטווח הקיים, כך תופיע תגובת כיווץ חזקה יותר. הרפיה כללית ומתיחה איטית שאינה מתחילה ממש בסוף הטווח עשויה להעלות את סף הגירוי של כישורי השריר, להפחית מרגישותם למתיחה ובכך למתן את תגובת הכיווץ הרפלקסיבית (בסמגיאן, 1981).

2. גופיפי גולג'י

שלא כמו כישורי השריר הנמצאים במקביל לסיבי השריר, גופיפי גולג'י ממוקמים במעבר הגידי-שרירי, בתוך הגידים. הם מאורגנים ברצף, בהמשך לסיבי השריר ובכיוון הכוח שמועבר באמצעות גיד השריר אל העצם. גופיפים אלו רגישים במיוחד

תוך-כישוריים ומתרומה של סיבי תחושה פרקיים. רפלקס זה מעכב את תגובת הכיווץ ומאפשר את הרפיית השריר.  
**3. גירוי הדדי (RECIPROCAL INNERVATION)** (שלא הוזכר קודם). הוא מהווה ביטוי להרפיה האוטומטית של האנטגוניסט לשריר המתכווץ. רפלקס זה משמש כבסיס לטכניקת הרפיה הקרויה על שמו (גירוי הדדי).

סקר ספרות בנושא ההשפעה היחסית שיש למרכיב הביומכני בהשוואה למרכיב הנוירופיזיולוגי על ההתנהגות של רקמת השריר הנמתחת, מצביע על חילוקי דעות בין החוקרים. מאמר זה מציג רק את הגירסה המקובלת על רוב החוקרים. זו טוענת שכל שינוי המתרחש בשריר בעקבות מתיחה מערב גורמים אקטיביים פסיביים המערכת העצבית-שרירית, לצד מרכיבים פסיביים המגיבים בעלייה או בירידה של מתח הרקמה (ווילקינסון, 1992; טיילור ודלטון, 1990). הסכמה זו מהווה נקודת מוצא לפירוט השיטות המקובלות ולהצגת מנגנוני הפעולה שלהן, על בסיס העקרונות הביומכניים והנוירופיזיולוגיים.

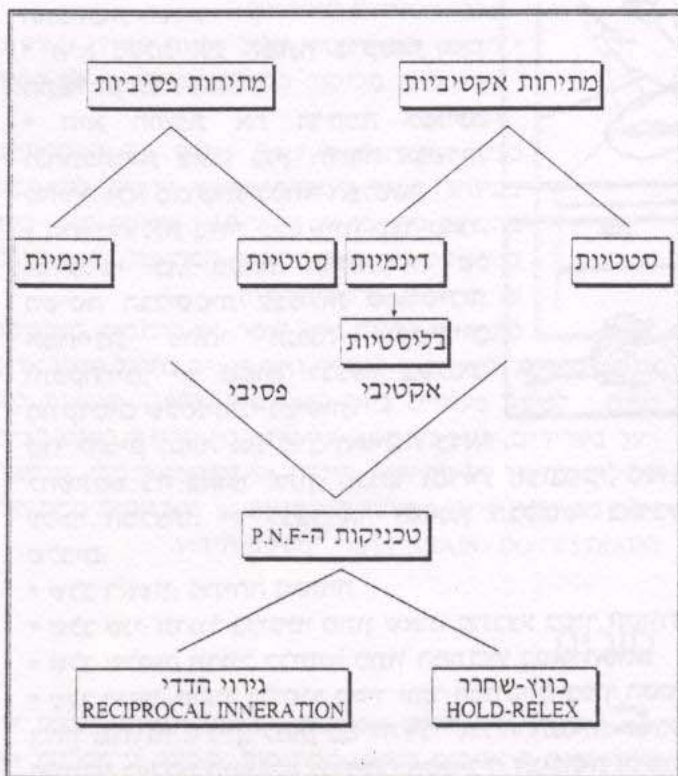
## שיטות המתיחה הנפוצות

אמור, המתיחות הן רק אחת הדרכים היותר מקובלות לשמר או לשפר טווחי תנועה במיפרקים. ניתן לחלקן על-פי הקטיגוריות הבאות:

1. מתיחות אקטיביות
2. מתיחות פסיביות
3. מתיחות השאלות ממכלול הטכניקות של ה-P.N.F. והמשלבות בין תרגול אקטיבי ופסיבי (הולט וסמית, 1983) (איור 2).

### איור 2:

שיטות המתיחה הנפוצות



**לשינויים במתח (TENSION)** המתהווה בשריר ומדייקים במידע שהם מעבירים ל-C.N.S. מקובל היום לייחס לגופיפי גולגיי את היכולת הבאות (אלתר, 1996):

\* **זיהוי שינויים במתח המתפתח בשריר המתכווץ**  
 \* **העמקת התחושה המודעת** (קלט מגופיפי גולגיי מגיע לקליפת המוח, שם מפוענחת הפעילות התחושתית של הגוף)  
 \* **הפחתה בעייפות השריר**. אפשר לייחס הפחתה זו לתגובת ה-AUTOGENIC INHIBITION, המגבירה את הרפיית השריר (ראה בהמשך).

גופיפי גולגיי, מעצם מהותם, הם בעלי סף רגישות נמוך להתכווצות שריר ובעלי סף רגישות גבוה למתיחתו. על כן הם מגיבים בעיקר למתח המתפתח בשריר או להתכווצותו, ואילו למתיחה הם יגיבו רק אם עוצמתה גדולה דיה (מור, 1984).

להלן אופן פעולתם של גופיפי גולגיי:

**כאשר השריר מתכווץ** נמתחים סיבי הגיד ומפעילים לחץ על קצות העצבים התחושתיים, המחברים לגופיפי גולגיי. אלה משגרים אימפולסים לחוט השדרה, המפעיל תגובה מעכבת הממתנת את כיווץ השריר. זוהי תגובת ה-AUTOGENIC INHIBITION הקשורה בעירור ה-INVERSE STRETCH REFLEX. תגובה זו, הגורמת להרפיית השריר, מתרחשת מיידית, כתגובה לכיווץ חזק, או לאחר שהגיד נמתח במשך יותר מ-6-8 שניות. למנגנון זה יש משמעות בשיטות מתיחה המערבות את כיווץ השריר הנמתח, כמו למשל טכניקת ההחזק-שחרר והמתיחה הסטטית האיטית (ראה הסבר בהמשך).

לאחרונה יש נטייה לחשוב שהמקור לתגובה המעכבת, הבאה בעקבות מתיחה איטית מתמשכת, איננו בגופיפי גולגיי הרגישים בעיקר למתיחה חזקה (או למתח השרירי), אלא בסיבים תחושתיים בתוך כישור השריר ובסיבים עדינים המעבירים תחושה מהמיפרק (מור והאטון, 1980; אלתר, 1996).

## גורמי התנגדות ומנגנוני הרפיה

גורמים המשפיעים על התנגדות הרקמות למתיחה ואת המנגנונים המפחיתים אותה ניתן לסכם באופן הבא: **התנגדות השרירים למתיחה באה משני מקורות:**

1. **מקור פיזיקלי**, הקשור בתכונות הביומכניות של רקמות החיבור
  2. **מקור נוירופיזיולוגי**, המתייחס בעיקר לפעילות הרפלקסיבית הקשורה בתפקוד של כישורי השריר ולתגובה של רפלקס המתיחה הנובעת ממנו.
- מעניין להדגיש שהמנגנונים הממתנים את גורמי ההתנגדות הללו מצויים באותם המרכיבים עצמם, כלומר בתכונות הוויסקו-אלסטיות ברמה הביומכנית ובתגובות הרפלקסיביות ברמה הפיזיולוגית. התגובות הרפלקסיביות הן חוליה מתוך מעגל עצבי (קשת הרפלקס), הכולל עצב תחושי, עצב מקשר ועצב מוטורי, והוא מתבצע בחוט השדרה. כפי שתואר, הרפלקסים המעורבים בתהליך המתיחות הם:

1. **רפלקס המתיחה (STRETCH REFLEX)** הגורם לכיווץ השריר. הוא נובע מכישור השריר ופועל בין היתר כמנגנון המגן על השריר מפני מתיחת יתר.
2. **רפלקס המעכב את רפלקס המתיחה (INVERSE STRETCH REFLEX)**. הוא נובע מגופיפי גולגיי, מסיבי תחושה