

מתיחות שרירים: האנטומיה והביומכניקה של רקמות החיבור

מה גורם לרקמת חיבור להתקצר, ומהן ההשפעות המצטברות של שרירים קצרים? מהי חשיבותה של המתיחה לפעילות גופנית בכלל? בשאלות אלה ואחרות ובאיפיונים האנטומיים של רקמות החיבור מתמקד מאמר זה, השני בסדרת המאמרים העוסקים בגמישות.

ורדיתה גור

מבוא

במאמר הראשון בסדרת המאמרים העוסקים במתיחות שרירים הצגתי כמה תרגילי מתיחה נפוצים, המופיעים בדרך כלל בכתובים תחת הכותרת "לא מומלץ" או "אסור" ("החינוך הגופני והספורט" 5, תשנ"ח). המאמר ניסה לנתח את "האיסור המקובל" לאורם של קווים מנחים למתיחת שרירים, ובמקביל להציע חלופות העומדות בתבחינים ידועים ומקובלים.

כל החלופות שהוצעו במאמר נמנות עם שיטה אחת למתיחת שרירים - השיטה הסטטית-פסיבית, ורק נרמז שם על קיומן של שיטות אחרות כמו אלו הלקוחות מתוך ה-P.N.F. למשל. אך אף אחת מהשיטות לא הוצגה על בסיס רעיוני התומך בה. מאמר זה אמור לגשר על פני פער כלשהו שנוצר בין הידע הטכני של שיטות מעשיות רווחות לבין תיאוריות המסבירות אותן. הנחת העבודה היא שהבנת התיאוריה מיעלת את עבודת השדה, כיוון שהיא נותנת בידי איש המקצוע בסיס רעיוני ומקצועי לבחירת דרכי פעולה ההולמות את תפיסתו, יעדיו וסוג האנשים המונחים על-ידו.

גמישות: הגדרת מושגים

מתיחות שרירים מוכרות כאחד האמצעים החשובים ביותר לשיפור הגמישות. היכולת להניע גפה או כל חלק אחר של הגוף למלוא טווח התנועה האנטומי שלו מתבטאת בגמישות המיפרק או המיפרקים המעורבים. על כן, המונח "טווח תנועה" מופיע לעתים קרובות כחלופי למונח "גמישות".

טווח התנועה, אקטיבי או פסיבי, נמדד באמצעות מכשיר הנקרא גוניומטר ומצוין במעלות. הטווח האקטיבי מבטא את מספר המעלות המושג כתוצאה מפעילות השרירים האגוניסטיים הפוסחים על המיפרק, בעוד הטווח הפסיבי, הגדול בכ-8% מהאקטיבי, מוצג במעלות הנמדדות במיפרק המונע על-ידי גורם חיצוני (ללא מעורבות פעילה של שרירים הקשורים למיפרק).

מקובל להעריך גמישות בטווחי תנועה פסיביים. הערכה זו מבטלת את ההשפעה של כוח השרירים, וכך בודקת ביתר דיוק

את כשירותם של מרכיבי הגמישות הבאים:

- א. מיפרקים
 - ב. רקמות חיבור למיניהן
 - ג. מערכת העצבים והרפלקסים.
- מאחר שמאמר זה מכין את הרקע למתיחת שרירים המייצגים מכלול של רקמות חיבור, מן הדין שנתמקד בעיקר בתרומתן של רקמות אלו למערך הגמישות ובתגובתן לצורות הפעלה שונות.

רקמות חיבור וגמישות

רקמות חיבור (FIBROUS TISSUES) נמנות עם קבוצת הרקמות הרכות (SOFT TISSUES), לעומת הרקמות הקשות (כגון עצם, שן, ציפורן). רקמות החיבור מתחלקות:

- * **לרקמות מתכווצות (CONTRACTILE TISSUES)**, המיוצגות על-ידי השרירים
 - * **לרקמות שאינן מתכווצות (NON CONTRACTILE TISSUES)**, כגון מחתלות (פציות), גידים, רצועות, קופסית המיפרק (קפסולה) ועור.
- שני סוגי הרקמות, האקטיבית (המתכווצת (שריר)) והפסיבית (הלא מתכווצת), הן בנות מתיחה, אך האקטיבית מסוגלת לפתח מתח (TENSION) לכל אורכה בזכות היחידה המתכווצת (הסרקומר) הנמצאת בתוך השריר.

רקמות החיבור עשויות להתקצר, לשמור על אורכן או להתארך. כישורים אלה תלויים במנח הפיזיקלי שלהן. כלומר, רקמות שתימצאנה במצב מקוצר לאורך זמן, או לא תימתחנה למלוא פוטנציאל המתיחה שלהן, תסתגלנה למצב מקוצר ותאבדנה מאורכן, עד לפגיעה בטווח התנועה התלוי בהן.

מה גורם לשריר או לרקמת חיבור להתקצר? הגורמים הם:

- * קיבוע ממושך בטווח מוגבל
 - * חוסר תנועה
 - * מנח יציבתי מסוים
 - * הרגל תנועה החוזר על עצמו פעמים רבות למשך זמן מסוים ובטווח מוגבל.
- מקורם של גורמים אלה הוא פיזיקלי, אך הגבלה בטווח המתיחה עשויה לנבוע גם משינויים בבקרה המוטורית:
- א. שינוי בטונוס השריר כתוצאה מדימוי גוף או ממתח רגשי



- המחזקות את חשיבותן של המתיחות לפעילות גופנית:
- המתיחה מעלה את טמפרטורת השריר, מפחיתה את צמיגות הרקמות ומקטינה את התנגדותן לתנועה.
 - המתיחה מעלה את יכולת השריר לפתח מתח (TENSION) במובן כוח.
 - המתיחה משפרת את התחושה הקינסטטית על-ידי גירוי המחלתלות העוטפות קבוצות שרירים גדולות (המחלתלות עשירות בקצות עצבים, המיידיעים את מערכת הבקרה המוטורית אודות מידת המתח שבו הן נתונות).
 - המתיחה מסגלת את החיידנים שבקפסולת המיפרק וברצועות לטווחי תנועה מרביים, ובכך ממתנת תגובות שריריות הגורמות לכיווץ ולהתקצרות, כמו תגובת ה-STRETCH REFLEX.

רקמות חיבור - איפיונים אנטומיים

כל מתיחה מערבת רקמות חיבור פסיביות ואקטיביות (שרירים). כל סוג של רקמה מגיב על-פי תכונותיו, אך יודגש שקיימת השפעה הדדית ביניהם. התכונות הביומכניות של הרקמות הפסיביות משפיעות גם על מנגנון הכיווץ הניורופיזיולוגי המפקח על פעילות השריר, ולהיפך (סטארינג וחבי, 1988).

במימד הביומכני, הוויסקו-אלסטיות היא התכונה החשובה ביותר, המסבירה את התנהגות הרקמות בתגובה ללחץ (STRESS).

בגין התכונה הזו, רקמה הנתונה למתיחה עשויה לעבור שינוי אלסטי זמני וחולף, או שינוי ויסקווי

אלסטי (פלסטטי) קבוע ומתמיד. הדבר תלוי במשך הזמן, בעוצמת המתיחה ובסוג הרקמה. השינוי הקבוע מתרחש כאשר הרקמה נחשפת לעומס בשיעור ובמשך-זמן העוברים את גבול התגובה האלסטית. שני סוגי הרקמות - זו המתכווצת (שריר) וזו הלא מתכווצת (הפסיבית כמו גיד, רצועה או מחלתלת) - הן בעלות תכונות אלסטיות

ופלסטיות. תכונות אלו מוקנות להן על-ידי הקולגן, האלסטין, הרטיקולין והחומר בין-תאי (אלטג, 1996).

השינוי בתגובת הרקמות לכוחות המופעלים עליהן נובע מהבדלים יחסיים בתכולת המרכיבים הללו ובארגון הסיבים שלהם.

קולגן

הקולגן, שהוא המרכיב העיקרי ברקמות החיבור ושמקנה להן תכונות כמו יציבות, נוקשות, חוזק וטווח תנועה מוגבל, סופג גם את עיקר מאמצי המתיחה (STRESS TENSILE). סיבי הקולגן מתרבים ומתעבים כתוצאה מאימון ומתרגול, ומידלדלים כתוצאה מחוסר פעילות. השינויים החלים במבנה גורמים, במקרה של חוסר אימון, לשינוי היחס בין הקולגן והאלסטין לטובת האלסטין, עובדה הגורמת לירידה בחוזק הרקמה.

יצוין שהקולגן חזק פי 5 מהאלסטין. השינוי המרבי באורך, שסיב קולגני מסוגל לעמוד בו, הוא 6% מאורכו המקורי. רקמה שלמה כמו רצועה בעלת מרכיב קולגני גבוה, יכולה לעמוד בשינוי של 20%-40% מאורכה, תלוי ביחס בין תכולת הקולגן לתכולת

ב. פגיעה בקלט האפֶרְנטי הקשורה בירידה פרומו יוספטיבית. הכוונה היא לפגיעה בקולטנים הנמצאים במיפרקינו והמדווחים למערכת העצבים המרכזית (C.N.S) אודות אורך השריר. תנוחת האיבר ועוד. פגיעה כזו משנה את תפקוד השריר הטווח למיפרק (נוריס, 1995).

רקמות עשויות להתקצר גם על רקע של פציעות, חבלות, דלקות כרוניות ושינויים פתולוגיים. קיצורים אלה המסווגים כקונטראקטורות, קשורים בין היתר להידבקויות בין הסיבים וגורמים למגבלה משמעותית בטווח התנועה.

רוב קיצורי השרירים הנובעים מהעיסוק בספורט ובתנועה ואף מהתפקוד היום-יומי, מסווגים כ-MYOSTATIC CONTRACTURE, ומיוצגים על-ידי תופעת ה-TIGHTNESS. זהו מונח לא ייחודי המתייחס לקיצור קל עד בינוני, שאינו נובע מאי-תקינות של הרקמה אלא, כפי שהוזכר כבר, מתנוחת האיבר, מהרגל, מאי-איזון כתוצאה מפעילות ספורטיבית או מ"כיווץ שרירים" כתוצאה ממאמץ.

קיצורים מסוג זה אופייניים לשרירים דו-מיפרקיים כמו פושטי הירך, פושטי הברך, שריר התאומים, או שרירים יציבתיים כמו זוקפי הצוואר וזוקפי הגב המותניים, הנוטים להתקצר בשל תנוחות גוף אופייניות (קיסנר וקולבי, 1990).

ההשפעות המצטברות של רקמות חיבור ושרירים קצרים

לרקמות חיבור ולשרירים קצרים ישנן השפעות מצטברות הגורמות לתופעות הבאות:

- הגבלת טווח התנועה והאצת התהליך של אובדן גמישות
- הגברת אי-האיזון בין שרירים אנטגוניסטים ולפיכך פגימה במנגנון

הגירוי ההדדי הקיים ביניהם (כשריר מתכווץ האנטגוניסט שלו מתרופף) (נוריס, 1995).

ג. יצירת נקודות רגישות לכאב (TRIGGER POINTS) (נוריס, 1995).
ד. הורדת סף הגירוי, מה שגורם לחיידנים הרגישים למתיחה להתעורר מהר יותר ולהפעיל את "רפלקס המתיחה", הגורם לכיווץ נוסף (שרמן, 1990).

ה. יצירת כמות יתר של רקמות חיבור על חשבון הרקמה המתכווצת (נוריס, 1995).

ו. ירידה בגמישות השריר המשנה את עקומת האורך-כוח שלו (ראה הסבר להלן), וגורמת לתופעת ה-TIGHTNESS WEAKNESS שמשמעותה שריר קצר וחלש, ולא כפי שמקובל לחשוב, ששריר קצר הוא בהכרח שריר חזק (קיסנר וקולבי, 1990).

מכל אלה עולה חשיבותה של השמירה על אורכם הנורמלי של השרירים, עם נטייה לזרבה מסוימת כדרך לעמוד בפני הפחתה טבעית בגמישות עם העלייה בגיל.

יש להדגיש שלתרגילי המתיחה מקום חשוב במערך של כל אימון, כמו גם כהכנה לפעילות ספורטיבית מיידית. להלן כמה נקודות

מהקולגן, מהאלסטין ומהחומר הבין-תאי, ביחסים משתנים בהתאם לתפקיד הרקמה וליעדה. מבנים אלה חיוניים בתפקוד של מערכת השלד והתנועה ובעלי משמעות רבה לעניין המתיחות.

גידים

גיד (TENDON) הוא חלק מהשריר, ובאמצעותו הוא מתחבר אל העצם. רוב הגידים הם בעלי צורה דמויית חבל, וסיביהם מסודרים במקביל. החוזק המוקנה לגיד על-ידי הקולגן ואופן הסידור המקביל של סיביו גורם לכך שהמתח הנוצר בו, ולו על-ידי הכיווץ הקל ביותר של השריר, עובר במלואו אל העצם. מתיחה של עד 4% תגרום לשינוי שהוא בבחינת תגובה אלסטית הפיכה, שנגרמת על-ידי יישור הסיבים הקולגניים. מתיחה גדולה יותר קשורה בשינויים בלתי הפיכים (תגובה פלסטית). הגיד מספק כ-10% מסך ההתנגדות לתנועה.

רצועות

רצועות (LIGAMENTS) מחברות עצם לעצם, בעיקר באזורי המיפרק. תפקידן העיקרי הוא בייצוב המיפרק ובהגבלת התנועה בכיוונים מסוימים שאינם מתאימים למבנה המיפרק. כמו הגידים, גם הן מורכבות בעיקר ממרכיב קולגני, מלבד הרצועה הצהובה (LIGAMENTUM FLAVUM) והרצועה הצווארית האחורית (LIGAMENTUM NUCHAE), העשויות בעיקרן מרכיב אלסטיני. אך שלא כמו בגידים, ברצועות הסיבים אינם מאורגנים במקביל, אלא בכיווני התנועה של המיפרק. הרצועות המצויות במקומות מרובי תנועה, המועדים לפגיעות, תהיינה בעלות מרכיב קולגני גבוה, עם סידור סיבים הנוטה להקבלה. אלה מקנים לה חוזק ועמידות (פרנקל ונורדין, 1980).

נוכחותם של חיישנים בתוך הרצועות מעידה על תרומתם לשיווי המשקל ולהתמצאות במרחב (ארמסטרונג, אוקונור וגרדנר, 1992). הרצועות תורמות כ-47% מסך ההתנגדות לתנועה. שמירה על אורכן האופטימלי חיוני ליציבות המיפרק מחד גיסא, ולטווח

האלסטין באותה רצועה. הקולגן מתארך במהירות תחת עומסים קלים. הסיבים הגליים מתיישרים מיד בהפעלת המאמץ, אך עם הגברתו הם מתקשחים, מפתחים התנגדות לכוחות המעוותים ומתחילים לפרק קשרים ביניהם. כאשר נפרם מספר רב של קשרים, הסיבים **כושלים** והרקמה נפגעת.

בתהליך ההזדקנות, הסיבים הקולגניים נעשים קריסטליניים, ונוספים להם קשרים וחיבורים המקשים על החלקתם בזמן מתיחה או תנועה. כמות הנוזלים ביניהם פוחתת, עובדה הפוגעת בסיכוך ומגבירה את שיעור ההידבקויות.

חוסר תנועה מאיץ את התהליך בכך שהוא מגביר את הצפיפות התוך-רקמתית, משנה לחצים פיזיקליים, משבש תהליכים ביוכימיים המשמרים את הרקמה (אלטר, 1996), מקטין את יכולת הרקמה לעמוד במאמצים ומעלה את שיעור החשיפה לפציעה.

אלסטין

סיבים אלסטיניים מלווים את הסיבים הקולגניים בכל אחת מרקמות החיבור בכמויות משתנות, בהתאם לתפקיד הרקמה. מובן שהרקמה האלסטית מורכבת בעיקר מהאלסטין, המקנה לה את גמישותה. היא מצויה בכמות נכבדה ברקמה העוטפת את הסרקומר (סרקולמה), ובכך תורמת ליכולת המתיחה השרירית **ולאלסטיות שלה**, כלומר ליכולתה להימתח ולחזור לאורכה המקורי. האלסטין מאפשר התארכות של עד 200%, ללא השקעה של כוח רב. הרקמה האלסטית כושלת כמעט ללא שינוי פלסטי. גם רקמה זו עוברת בהתבגרותה שינויים כמו התפצלות, הסתיידות, אובדן נוזלים והידבקויות, שמשמעותם המצטברת היא אובדן גמישות.

חומר בין-תאי

לצד שני סוגי הסיבים חשובה נוכחותו של החומר הבין-תאי. זהו חומר דמוי גיל המכיל גליקוגן, פלסמה, פרוטאינים ומים, והוא ממלא תפקיד חיוני בסיכוך הרקמות ובקיום תהליכי סינתזה. גם הוא תלוי גיל ותנועה.

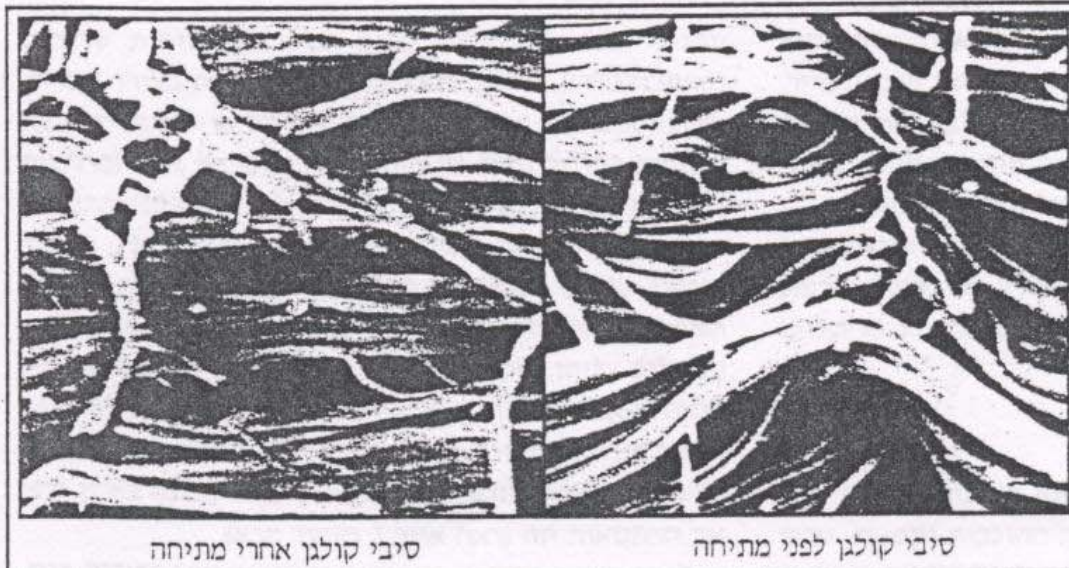
רטיקולין

הרטיקולין הוא חומר המוסיף נפח לרקמה.

גידים, רצועות, מחתלות (פציות) ושרירים

הגידים, הרצועות, המחתלות (פציות) והשרירים מורכבים בעיקר

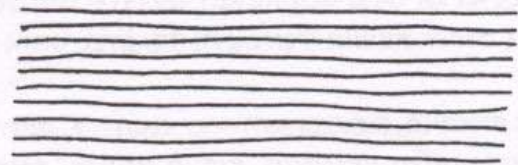
הסיבים הקולגניים לפני מתיחה ואחריה



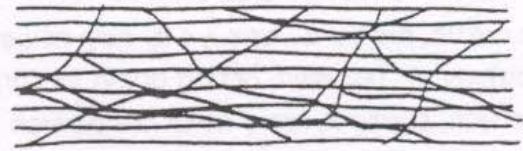
סיבי קולגן אחרי מתיחה

סיבי קולגן לפני מתיחה

איור 1: מערך הסיבים בגיד בהשוואה למערך הסיבים ברצועה



גיד - סיבים מקבילים



רצועה - מגוון של כיוונים

מתוך: פרנקל ונורדין (1980)

התנועה האפשרי בו מאידך. מסיבה זו אין למתוח רצועות באופן ישיר, כל עוד אין התוויה רפואית מיוחדת לכך.

מתיחת רצועות צריכה להיות חלק ממכלול התנועות שעושה האדם, ואם יש צורך במתיחה ספציפית עליה להיעשות בידי איש מקצוע מיומן ומוסמך (כגון פיזיותרפיסט)

מחלת

מחלת (FASCHIA) היא רקמת חיבור בעלת תפרוסת רחבה יותר מהגיד ומהרצועה. היא מופיעה בעוביים שונים ובצפיפות שונה, בהתאם לתפקיד שהיא ממלאת.

המחלת מופיעה בשלוש שכבות: שטחית, עמוקה ועמוקה מאוד. השטחית דקה ושומנית בחלקה העליון; העמוקה חזקה, צפופה ומחוברת באופנים שונים לשרירים, לעצמות ולכלי דם. חלק זה של המחלת מסייע בפיזור כוחות

ובהעברתם אל השלד. השכבה העמוקה ביותר עוטפת איברים פנימיים.

מאחר שהמחלת היא גם מרכיב תוך-שרירי וגם מרכיב העוטף שרירים (סרקולמה, אנדומיזיום, פרימיזיום ואפימיזיום), היא תורמת למיקומם ושומרת על הארגון הפנימי של סיבי השריר, כלי הדם והעצבים. המחלת מפרידה בין סיבי השריר ובכך מקטינה את החיכוך ביניהם. היא מהווה 30% ממסת השריר ותורמת 41% מסך ההתנגדות של השריר לתנועה.

כמו כל יתר רקמות החיבור, גם המחלת מגיבות לחוסר תנועה בהתעבות, בהתקצרות, בהסתיידות וביצירת הידבקויות. תכנית תרגול לשיפור הגמישות צריכה לכלול גם מתיחת מחלתות.

שרירים

השריר הוא תרכובת מיוחדת של רקמות החיבור למיניהן. הוא מכיל מבנים המיוצגים על-ידי יחידות ההולכות וקטנות: שריר בודד מורכב מסיבי שריר רבים (MUSCLE FIBERS). סיב בודד

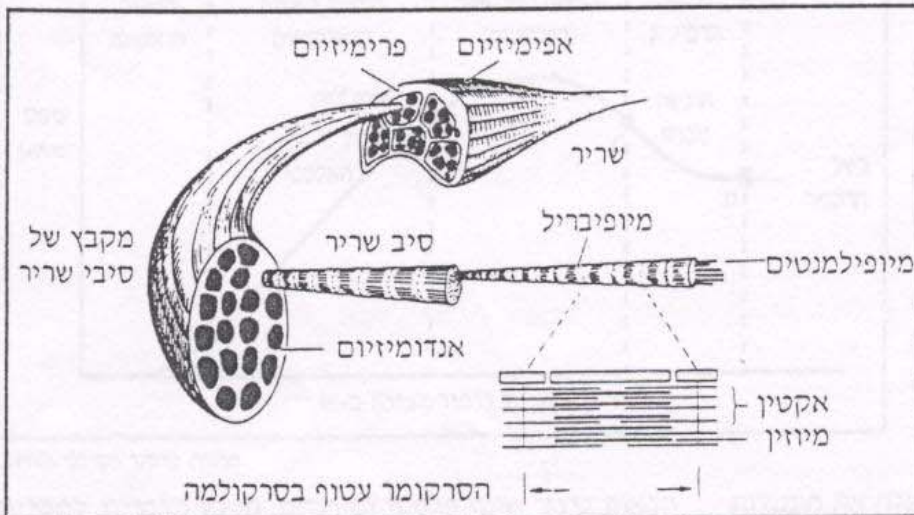
מורכב מהרבה מיופיברילות (MYOFIBRILS), וכל מיופיבריל מורכב מהסרקומר - מיופילמנט (MYOFILAMENT), שהוא היחידה המתכווצת. יחידה זו מאורגנת בסדרות ומורכבת משני החלבונים - אקטין ומיוזין. כל יחידה במערך השרירי עטופה במעטה שעשוי מהמחלת העמוקה (ראה פירוט לעיל).

השרירים מתחברים אל העצם באמצעות גידים או באמצעות רקמת חיבור של השריר עצמו, כלומר מהמחלת העוטפות את השריר. שריר שאינו מונע בקביעות במלוא טווח התנועה שלו נוטה לאבד מגמישותו. מקובלת הגירסה שלפיה שריר יכול להתארך עד 120% מאורכו במצב מנוחה ולהתכווץ עד 50% מאותו אורך.

לאחרונה רווחת הדעה שככל שהמיופיבריל (סיב שריר) ארוך יותר, הוא מכיל מספר רב יותר של סרקומרים המפחיתים את ההתנגדות למתיחה.

יש להבחין בין הגדלה של מספר הסרקומרים המופיעים במקביל, שהם תוצאה של אימוני כוח, לבין אלה המופיעים ברצף, שהם תוצאה של אימונים הכוללים מתיחות שרירים.

איור 2: הרקמות הפסיביות והרקמה האקטיבית של השריר בפיצולן



מתוך: בלומפילד ואקלנד (1994)

ההתנהגות של רקמת חיבור בתגובה למתיחה

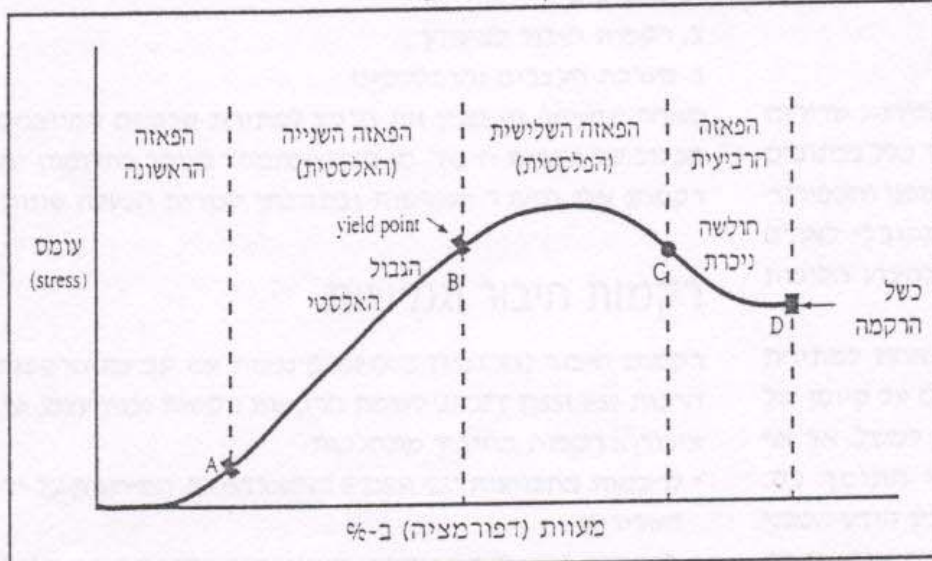
תרגילי גמישות כוללים ברוב המקרים מתיחות שרירים (STRETCHING), והתוצאה המצופה היא הגדלה באורך השריר. ישנה הסכמה בין החוקרים שההתנגדות העיקרית למתיחה באה מרקמות החיבור התוך-שריריות ואלה המקיפות אותו (מחלתות - 41% מסך ההתנגדות, רצועות - 47% וגידים - 10%). התנגדות פחותה יותר מקורה ברקמה המתכווצת (ספגה, 1981; טיילור ודלטון, 1990). מכאן שדרכי המתיחה צריכות להתבסס על האופן שבו רקמות חיבור מתנהגות בתגובה לכוחות מתיחה הפועלים עליהן. כזכור, התנהגות זו היא על בסיס ויסקו-אלסטי. הוויסקו-אלסטיות היא ביטוי ליכולתן של הרקמות להתארך ולחזור לאורכן המקורי, בשילוב עם היכולת הוויסקוזית להתארך ולהתקבע באורך החדש. עקומת האורך-מתח מציגה באופן גרפי את ההתנהגות הזו (ראה איור 3 בעמוד הבא). העקומה מציגה ארבע פאזות המתחמות בארבע נקודות ציון.

זמן היא חורגת גם אל הפאזה הפלאסטית, וקשורה בשינויים מתמידים.
ככל שהרקמה קשיחה יותר, כך יידרשו כוח חיכוני ומשך זמן גדולים יותר כדי למותחה.

כדי לטפח גמישות, האם יש לאמן בטווח האלסטי או הפלסטי?

היעד והמקרה הספציפי יכתיבו את טווח המתיחה, משכה ועוצמתה. ככלל, אימוני גמישות צריכים להתבצע בטווח האלסטי, עד גבול אי-הנוחות. פירושו של דבר - בפאזה הראשונה והשנייה בעקומה. יש להזרז ולהדגיש שמתחילת החוצות את הגבול האלסטי גורמות לשינויים תוך-רקמתיים הגובלים בפגיעה. על כן, מתיחות

איור 3: עקומת אורך-מתח של רקמות החיבור



מתוך: קיסנר וקולבי (1990)

הבאות ליצור שינוי פלסטי ומיועדות, מטבע הדברים, למקרים של קיצורים על רקע פתולוגי, תיעשנה על בסיס התוויה רפואית ובפיקוח של פיזיותרפיסט.

חוקרים רבים סוברים שמהירות המתיחה משמעותית לשלומה של הרקמה יותר מסוג המתיחה (אקטיבי או פסיבי). על כן, בשגרת אימוני גמישות:

- * יש להישמר מהפעלת כוחות מתיחה גדולים.
- * יש להימנע מחזרות תכופות מדי ללא תקופות התאוששות.
- * יש להימנע מפעילות במהירויות גדולות ולא מבוקרות.

לסיים: מאחר שמתחלה של רקמות חיבור בכלל ושל שרירים בפרט מערבת, בנוסף למרכיבים הביומכניים שנידונו במאמר, גם מנגנונים עצביים, הרי תמונת הרקע לדיון בשיטות המתיחה לא תהיה שלמה כל עוד לא הוצג המימד הניורופיזיולוגי. המאמר הבא ישלים את הרקע הניורופיזיולוגי וירחיב את הדיון בשיטות המתיחה השונות וביישומי הבסיס התיאורטי.

רשימת המקורות שמורה במערכת.

היא מבטאת את היחס שבין המאמץ (STRESS) לתגובת הרקמה המוצגת בשיעור המעוות (דפורמציה) (STRAIN), שהוא גם תלוי זמן.

בפאזה הראשונה (TOE REGION) - עד לנקודה A, מתרחש יישור מהיר של הסיבים הקולגניים, הגליים מטבעם. הכוח הנדרש ליצירת השינוי הוא נמוך, והמעוות מתבטא בשיעור של 1%-2%. בפאזה הראשונה מתבצעות רוב פעולות היום-יום.

בפאזה השנייה, האלסטית - שבין A ל-B, הגרף הליניארי מבטא את המשך השינוי ואת אופיו: הרקמה מובאת עד לסוף הטווח הנורמלי שלה, בנקודה A, ומכאן ואילך היא ממשיכה להימתח תוך התנגדות ההולכת וגדלה בשל התקשחות הסיבים הקולגניים והתארגנותם בכיוון הכוח. השינויים המתרחשים בפאזה זו הם אלסטיים, כלומר, לאחר הסרת הגורם המותח הרקמה חוזרת בהדרגה לאורכה המקורי. שיעור המעוות כאן הוא של 3%-4%.

בפאזה השלישית, הפלסטית, - שבין B (הגבול האלסטי העליון) ל-C, מתרבים השינויים הבלתי הפיכים בצורה של מיקרו-טראומות. בפאזה זו משתחרר חום הנספג ברקמה ומאיץ את השינוי שהוא קבוע במהותו. לאור השינויים הבלתי הפיכים המתרחשים בפאזה זו, יש המכנים את נקודה B בשם YIELD POINT. המעוות הוא בשיעור של 4%-6%.

בפאזה הרביעית - שבין נקודה C (NECKING) ל-D, ממשיך המעוות (הדפורמציה) בעומס מתיחה קטן יותר. תופעה זו נובעת מהיחלשות הרקמה. אם הרקמה ממשיכה להימצא תחת עומס, היא תגיע לנקודת הכשל שלה - D (FAILURE POINT) ותיקרע. שיעור המעוות הגורם לקריעת הרקמה מגיע ל-8%-10%.

התארכות הרקמה הקולגנית בשיעור של 5% מעלה את התנגדות הרקמה בצורה משמעותית, בשל התקשחות הסיבים. התארכות בשיעור של 10% תגרום לכשל הרקמה. לדוגמה, התארכות ב-4 מ"מ, של רצועה שהיא רקמה קולגנית בעיקרה, מתרחשת בפאזה האלסטית הבטוחה מבחינת שלמות הרקמה. אחרי התארכות של 5 מ"מ יתרחשו שינויים בלתי הפיכים בפאזה הפלסטית. רצועה שעיקרה מרכיב אלסטי, כמו הרצועה הצהובה בתעלת עמוד השדרה, תדגים התארכות אלסטית עד לנקודת הכשל שלה, ללא שלב פלסטי.

שתי תופעות חשובות, לעניין המתיחה ויעילותה, מתרחשות במהלך שתואר על-ידי עקומת אורך-מתח:

1. **תופעת ה-STRETCH RELAXATION** - ירידה במתח (TENSION) הרקמה, המתרחשת לאחר התארכות והתמדה של 30 שניות לפחות באורך החדש. רפיון זה מגביר את היענות הרקמה למתיחה.
2. **תופעת ה-CREEP** - שינוי מתמשך באורך הרקמה, בעומס נמוך, קבוע ולאורך זמן (קיסנר וקולבי, 1990). תופעה זו נובעת מתכונת הוויסקוסיטי של הרקמות, ולכן היא תלויה זמן וטמפרטורה. היא מתרחשת כבר בפאזה האלסטית, אך לאורך