



## תזונה חלבית להתאוששות שריר בספורטאים

ד"ר אוליבר ס ויטארד  
המרכז למדעים פיסיולוגיים אנושיים ויישומיים, קינג'ס קולג' בלונדון, הממלכה המאוחדת.

### מבוא

תזונת ספורט הינה רכיב בסיסי של ביצועי ספורטאים. בספורט עלית, הביצוע המנצח בתחרות יוכרע בדרך כלל בהפרשים זעירים. בחירות תזונתיות נבונות לפני ו/או בזמן תחרות משמשות, בין שאר הדרכים ב "ארגז הכלים" של הספורטאי, להשגת יתרון קטן על יריבו/ו. במובן זה, במהלך עשרות השנים האחרונות מיקמה את עצמה התזונה החלבית בחזית תזונת הספורט היישומית מבוססת – הראיות.

ביצועי הספורטאים תלויים גם באיכות האימון. בדומה לביצועים תחרותיים, בחירות תזונתיות נבונות מספקות בסיס לאימון איכותי, במיוחד בנושא תמיכה באימון בעל עצימות גבוהה, ו/או תדירות אימון גבוהה. גורם מפתח נוסף הקובע אימון איכותי הינו קצב ההתאוששות ממנו. ההגדרה של התאוששות מאימון גופני היא מורכבת ותלויה בסוג האימון הגופני (כלומר, התנגדות לעומת סיבולת לעומת כיווצי שריר מקבילים, קונצנטריים לעומת אקסצנטריים), הזמן בין אימונים גופניים (שעות עד ימים) וכן המטרות של הספורטאי / מתאמן (ביצועים תחרותיים לעומת הסתגלות לאימון). לכן, ככל שהספורטאי יהיה מסוגל להתאושש מהר יותר, האימון האיכותי הבא יוכל להתבצע מהר יותר.

במונחי תזונת ספורט, השיקולים העיקריים של התאוששות מפעילות גופנית קשורים לקידום ה-"4 R's". ה-4 R's מתייחסים ל: (i) פירוק ובניה של חלבוני שריר (remodelling), (ii) תיקון חלבוני שריר ישנים שהם לרוב פגומים (repairing), (iii) מילוי מאגרי דלק לשרירים (replenishing), ו-(iv) מניעת התייבשות הספורטאים (rehydrating)<sup>1</sup>. בהינתן הפרופיל התזונתי המגוון של מוצרים חלביים – המכילים חלבון, פחמימות ושומן, יחד עם ויטמין D, סידן ויוד – כמות ניכרת של ראיות מדעיות בדקה את תפקידה של התזונה החלבית בקידום של כל ארבעת רכיבי ההתאוששות מפעילות גופנית<sup>2</sup>. מאמר זה מספק ביקורת על הראיות המדעיות הקיימות שחקרו את היעילות של התזונה החלבית בקידום התאוששות שריר, וזאת במונחי תיקון ופירוק ובניה של חלבוני שריר. בנוסף, מודגשים כיווני מחקר עתידיים לתחום התזונה החלבית והתאוששות מפעילות גופנית.

### תזונה חלבית לפירוק ובניה של שרירים לאחר פעילות גופנית

רכיב מפתח בתהליך הפירוק והבניה של שריר הינו סינתזת חלבוני שריר (muscle protein synthesis - MPS). MPS מתאר את התהליך הפיסיולוגי של ייצור חלבוני שריר קשורים, תפקודיים, חדשים מחומצות אמינו זמינות (בדם או במאגרי שריר תוך – תאיים). חלבוני שריר ניתנים

לכך, ישנן ראיות לגורל מטבולי טוב יותר של חומצות אמינו הנגזרות מחלבון חלב המכוננות לרקמות ההיקפיות (כלומר, לשריר) במקום להיספג במעי כפי שהודגם עם חלבון סויה<sup>9</sup>.

שנית, החלבונים החלביים הושוו גם לחלבון חיטה מבחינת השראת MPS, אם כי הדבר נעשה בספורטאים מבוגרים יותר<sup>10</sup>. נתונים אלה גילו השראת MPS גדולה יותר עם צריכת 35 גרם של קזאין מיצללרי לעומת 35 גרם של הידרוליזאט חיטה שכנראה תווכה ע"י פרופיל ה-EAA ותכולת הלאוצין העדיפים יותר בקזאין. מבחינה זו, החיטה לוקה בחסר ב-EAA, ליזין, ותכולת הלאוצין בקזאין גבוהה באופן ניכר מבחלבון חיטה.

לבסוף, מחקר שנערך לאחרונה מדד את תגובת ה-MPS לאחר צריכה של 350 מ"ל של חלב דל – שומן נוזלי בהשוואה ל-158 גרם של בשר בקר טחון רזה מבושל, בזמן התאוששות מפעילות גופנית בגברים צעירים שהתאמנו באימוני התנגדות<sup>11</sup>. שני המזונות הכילו 30 גרם של חלבון, אך החלב עשיר יותר בתכולת אנרגיה כתוצאה מתכולת הפחמימות הגבוהה יותר שלו. מעניין לציין כי חומצות אמינו הנגזרות מחלבון בשר בקר הופיעו בזרם הדם מהר יותר בהשוואה לחלב. עם זאת, על אף הטיפול העדיף בחלבון לאחר ארוחה שכללה צריכת בשר, נטתה הבקרה של צריכת חלב דל – שומן להשרות תגובת MPS גדולה יותר בזמן התאוששות מפעילות גופנית יחסית לבשר בקר בגברים צעירים מאומנים (Figure 3). כל הנתונים האלה יחד מעידים כי ישנן תכונות אחרות של החלב, שטרם התגלו, שהשרו תגובת MPS גדולה יותר לעומת צריכת בשר בקר. ראיות ראשוניות ממחקרים על בעלי חיים מעידים שייתכן כי פפטידים ביואקטיביים (כלומר, די- / טרי- פפטידים), הנמצאים בשפע במוצרי חלב, גורמים לתגובה זו ומצדיקים בדיקה.

עבור ספורטאי עילית, מציעה תקופת הלילה חלון הזדמנויות חשוב להשגת יתרונות קטנים מבחינת הגדלת תגובת הפירוק והבניה של שריר לאימון בערב. שנת לילה היא לרוב תקופת הצום הארוכה ביותר ביום. בהתאם לכך, הרעיון של צריכת חלבון לפני השינה זכה לאחרונה לתשומת לב בתזונת הספורט, עם דגש במיוחד על חלבון קזאין מיצללרי איכותי בעל שחרור איטי<sup>12,13</sup>. מחקרים אלה הדגימו כי צריכה של 40 גרם קזאין 30 דקות לפני זמן השינה משרה גידול של 20% ב-MPS בהתאוששות לאורך הלילה בהשוואה לפלצבו מים<sup>13</sup>. המשמעות של כך בפועל היא שייתכן כי יש להרחיב את העצה האימהית המסורתית לצרוך כוס חלב גדולה לפני השינה על מנת לבנות שיניים חזקות גם לספורטאי עילית – זאת בנושא פירוק ובניה של שריר עקב האימון השני ביום.

לסיכום, הנתונים האלה מעידים כי חלבוני מוצרי חלב יעילים יותר בקידום פירוק ובניה של שריר מחלבון סויה, חיטה ואפילו בשר בקר בזמן התאוששות מפעילות גופנית, על בסיס גרם –

לסיווג גס כחלבונים מיופירילאריים כוויצים (אקטין, מיוזין, טרופומיוזין, טרופונין), או חלבונים מיטוכונדריאליים מייצרי אנרגיה. תהליך מטבולי יקר אנרגטית זה מתרחש בעיקר בתקופת ההתאוששות לאחר אימון גופני.

התמריץ התזונתי החזק ביותר ל-MPS הינו חלבון תזונתי. מזון חלבי מכיל שתי פרקציות חלבוניות שונות - קזאין ומי גבינה. קזאין ומי גבינה מהווים 80%-ו-20% מהחלבון החלבי בהתאמה. שני גורמי מפתח קובעים את הפוטנציאל של מקור חלבון לגרות MPS, אלו הם: פרופיל חומצות האמינו המרכיבות את מקור החלבון<sup>3,4</sup> והתכונות העיכוליות.

בנוגע לפרופיל חומצות האמינו, מחקרים מכאניסטיים מדגימים כי חומצות האמינו החיוניות (EAA - essential amino acids), ובמיוחד לאוצין, הינם קריטיים להשראת MPS<sup>5</sup>. שתי הפרקציות החלבוניות עשירות ב-EAA ולאוצין. מי גבינה מורכבים מ-52% EAA ו-14% לאוצין, בעוד שקזאין מורכב מ-48% EAA ו-10% לאוצין (במונחי אחוז מתוכן חלבון כולל). לשם השוואה, חלבון תפוחי אדמה מורכב מ-33% EAA ו-5% לאוצין בלבד. למעשה, מי גבינה וקזאין הינם החלבונים היחידים בעלי הרכב EAA גבוה בהשוואה לשריר אנושי (Figure 1).

במונחי תכונות עיכוליות, קזאין מסווג כחלבון "איטי"<sup>6</sup>. קזאין נקשר בקיבה, ולכן חומצות האמינו נספגות לזרם הדם לאט יחסית. כתוצאה מכך, ההעברה והספיגה של חומצות אמינו מקזאין לשריר שלד מעוכבת. בניגוד לכך, מי גבינה הינם מסיסי – חומצה (כלומר, הם לא נקשרים בקיבה) וכתוצאה מכך הם מסווגים כ"חלבון מהיר", כלומר, חומצות האמינו נספגות לתוך זרם הדם במהירות ונספגות ע"י שריר שלד בעיכוב מינימלי. בהינתן התכונות העיכוליות הטובות ופרופיל חומצות האמינו של חלבוני מי גבינה וקזאין, עניין מדעי רב בתחום תזונת הספורט התמקד בחלבון חלבי בהקשר של קידום פירוק ובניה של שריר בזמן ההתאוששות מפעילות גופנית בספורטאים<sup>2</sup>.

כמה סוגי ראיות תומכים ברעיון כי מוצרי חלב מספקים מקור חלבון יעיל, ואולי אפילו מועיל, לקידום פירוק ובניה של שריר לאחר פעילות גופנית באוכלוסיות של ספורטאים. ראשית, מחקר רב – השפעה בגברים צעירים שהתאמנו באימוני התנגדות דיווח כי צריכה של 18 גרם של חלב דל – שומן לאחר פעילות גופנית משרה תגובת MPS גדולה ב-34% במשך תקופת התאוששות מפעילות גופנית של 4 שעות בהשוואה ל-18 גרם של חלבון סויה<sup>7</sup>. חשוב לציין כי נתונים מרשימים אלה תורגמו למחקר אימון כרוני שבו נצפו שיפורים גדולים יותר במסת גוף רזה לאחר 12 שבועות של אימון התנגדות כאשר משקאות של חלבון חלב, ולא סויה, נצרכו לאחר כל אימון<sup>8</sup> (Figure 2). סביר שהשיעור הגבוה של הפירוק והבניה של שריר עם חלבון חלב בהשוואה לחלבון סויה תווך ע"י פרופיל ה-EAA ותכולת הלאוצין העדיפים יותר בחלב. בנוסף

## סיכום

לסיכום, מוצרי חלב הינם זמינים, זולים יחסית, ובעלי פרופיל תזונתי ההופך אותם לבחירה תזונתית פופולרית בתזונת ספורט לקידום התאוששות מפעילות גופנית בספורטאים. מחקרים מדעיים מדגימים כי צריכת חלבון חלבי, בצורת חלב או בצורת תת – פרקציות חלבוניות שלמות (קזאין ומי גבינה), הינה חזקה יותר ממקורות חלבון אחרים (סויה, חיטה ובשר בקר) בהשראת פירוק ובניה של שריר לאחר פעילות גופנית. בנוסף לכך, לצריכת חלב לאחר אימון גופני יש פוטנציאל להקטנת כאבי שריר ולשימור טוב יותר של ביצועים פיזיים בזמן תקופת ההתאוששות האקוטית מפעילות גופנית. במונחים מעשיים, מוצרי חלב מספקים אסטרטגיה תזונתית מבוססת – ראיות לקידום התיקון והפירוק והבניה של חלבוני שריר בזמן ההתאוששות מפעילות גופנית בספורטאים. בהתאם לכך, למוצרי חלב יש מקום מרכזי בתחום תזונת הספורט, בעיקר בנושא קידום התאוששות השריר בספורטאים.

לגרם. נדרשים מחקרים עתידיים להערכת החוזק בהשראת MPS של מקורות חלבוני מוצרי חלב אחרים, בנוסף לחלב, מי גבינה או קזאין מבודדים, כגון יוגורט או קוטג'. בנוסף לכך, להשוואה של חלב למקורות חלבון מבוססי – צמחים אחרים (כלומר, תירס, שיבולת שועל, קינואה) להשראת MPS דרוש מחקר נוסף, וזאת על מנת לספק תמונה מלאה של מקורות החלבון היעילים ביותר לקידום פירוק ובניה של שריר בזמן התאוששות מפעילות גופנית בספורטאים.

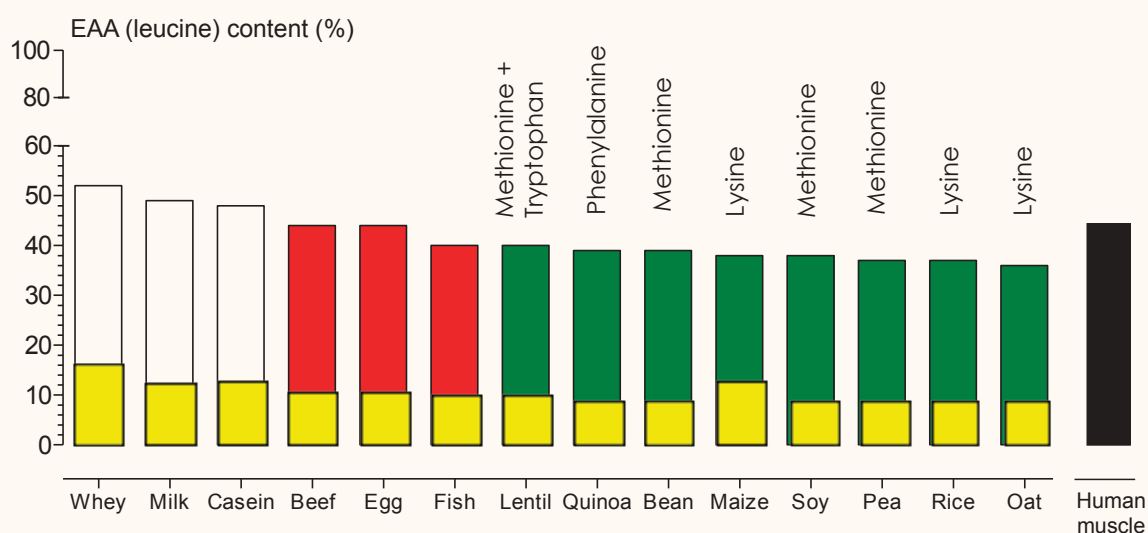
## תזונה חלבית להחלמת שרירים לאחר פעילות גופנית

לפני הפירוק והבניה של חלבוני שריר פונקציונליים חדשים, התיקון ו/או הסרה של חלבוני שריר ישנים פגומים הינה דרישת קדם לקידום התאוששות מפעילות גופנית בספורטאים. כמה מחקרי הוכחת היתכנות מכווני – היפותזה בדקו את תפקידן של אסטרטגיות תזונתיות מגוונות בקידום החלמת שריר לאחר פעילות גופנית "פוגעת שריר" עם תוצאות לא חד – משמעותיות<sup>14</sup>. שני מחקרים מבוססי – שטח תוכננו לבדיקת היעילות של התערבות מבוססת – חלב בקידום מדדי התאוששות מפעילות גופנית ספציפיים לכדורגל<sup>15,16</sup>. מחקרים אלה סיפקו חלב דל – שומן או מים לשחקני כדורגל במהלך 3 ימי התאוששות מפעילות גופנית אינטנסיבית אקסצנטרית, במטרה לחקות את האופי לסירוגין והרב – כיווני של משחק כדורגל. בעזרת סטטיסטיקה מסקנתית מבוססת – גודל דווח כי ישנה ככל הנראה השפעה מיטיבה לצריכת חלב דל – שומן במקום פלצבו המים מבחינת החלשת פגיעות במהירות ובביצועי זריזות במהלך התאוששות מפעילות גופנית<sup>15</sup>. תוצאות חיוביות דומות דווחו גם בשחקני כדורגל מקצוענים עם צריכת קזאין לפני השינה<sup>16</sup>. במחקר זה, שחקני כדורגל השתתפו במשחק ערב ובעקבותיו קיבלו בולוס של 40 גרם חלבון קזאין לפני השינה (קבוצת הביקורת קיבלה פחמימות). צריכת קזאין לפני השינה החלישה את רמת כאב השריר שדווח במהלך תקופת התאוששות מפעילות גופנית של 60 שעות, לצד תחזוקה טובה יותר של כוח שריר כפי שהוערך ע"י ביצועי קפיצה אנכית. המנגנון/ים בבסיס ההשפעה המיטיבה של צריכת חלב על החלמת השריר אינם ברורים כיום. עם זאת, ההשלכות המעשיות של נתונים אלה מעידות כי צריכת החלב מספקת אסטרטגיה שמבטיחה שימור טוב יותר של ביצועים פיזיים בזמן התאוששות מפעילות גופנית, דבר המוביל לשיפורים באיכות האימון ו/או סיוע במניעת פציעות בספורטאים. בנוסף לכך, ניתן להסיק אינטואיטיבית שבמתאמנים, הקטנת החומרה או קיצור משך כאבי השריר שלאחר אימון גופני יכולים להגדיל את תדירות האימונים ו/או את הדבקות באימונים, עם השלכות חשובות עבור יעדי כושר או שמירת משקל.

1. Heaton, L.E., Davis, J.K., Rawson, E.S., Nuccio, R.P., Witard, O.C., Stein, K.W., Baar, K., Carter, J.M., and Baker, L.B. (2017). Selected In-Season Nutritional Strategies to Enhance Recovery for Team Sport Athletes: A Practical Overview. *Sports Med.* 47(11), 2201-2218.
2. James, L.J., Stevenson, E.J., Rumbold, P.L.S., and Hulston, C.J. (2019). Cow's milk as a post-exercise recovery drink: implications for performance and health. *Eur. J. Sport. Sci.* 19(1), 40-48.
3. Gorissen, S.H.M., and Witard, O.C. (2018). Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proc. Nutr. Soc.* 77(1), 20-31.
4. van Vliet, S., Burd, N.A., and van Loon, L. J. C. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. *J. Nutr.* Ahead of print
5. Anthony, J.C., Yoshizawa, F., Anthony, T.G., Vary, T.C., Jefferson, L.S., and Kimball, S.R. (2000). Leucine stimulates translation initiation in skeletal muscle of postabsorptive rats via a rapamycin-sensitive pathway. *J.Nutr.* 1302413-2419.
6. Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M.P., Maubois, J.L., and Beaufriere, B. (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 9414930-14935.
7. Wilkinson, S.B., Tarnopolsky, M.A., Macdonald, M.J., MacDonald, J.R., Armstrong, D., and Phillips, S.M. (2007). Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am.J.Clin.Nutr.* 851031-1040.
8. Hartman, J.W., Tang, J.E., Wilkinson, S.B., Tarnopolsky, M.A., Lawrence, R.L., Fullerton, A.V., and Phillips, S.M. (2007). Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am.J.Clin.Nutr.* 86373-381.
9. Boirie, Y., Gachon, P., and Beaufriere, B. (1997). Splanchnic and whole-body leucine kinetics in young and elderly men. *Am.J.Clin.Nutr.* 65489-495.
10. Gorissen, S.H., Horstman, A.M., Franssen, R., Crombag, J.J., Langer, H., Bierau, J., Respondek, F., and van Loon, L.J. (2016). Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial. *J. Nutr.* 146(9), 1651-1659.
11. Burd, N.A., Gorissen, S.H., van Vliet, S., Snijders, T., and van Loon, L.J. (2015). Differences in postprandial protein handling after beef compared with milk ingestion during postexercise recovery: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 102(4), 828-836.
12. Snijders, T., Res, P.T., Smeets, J.S., van, V.S., van, K.J., Maase, K., Kies, A.K., Verdijk, L.B., and van Loon, L.J. (2015). Protein Ingestion before Sleep Increases Muscle Mass and Strength Gains during Prolonged Resistance-Type Exercise Training in Healthy Young Men. *J.Nutr.* 1451178-1184.
13. Res, P.T., Groen, B., Pennings, B., Beelen, M., Wallis, G.A., Gijsen, A.P., Senden, J.M., and van Loon, L.J. (2012). Protein ingestion before sleep improves postexercise overnight recovery. *Med.Sci.Sports Exerc.* 441560-1569.
14. Howatson, G., and van Someren, K.A. (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med.* 38483-503.
15. Cockburn, E., Stevenson, E., Hayes, P.R., Robson-Ansley, P., and Howatson, G. (2010). Effect of milk-based carbohydrate-protein supplement timing on the attenuation of exercise-induced muscle damage. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35(3), 270-277.
16. Abbott, W., Brett, A., Cockburn, E., and Clifford, T. (2019). Presleep Casein Protein Ingestion: Acceleration of Functional Recovery in Professional Soccer Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 14(3), 385-391.



**Figure 1: פרופיל חומצות אמינו חיוניות ותכולת לאוצין של מקורות חלבון חלביים, בשריים, ומבוססי - צמחים הנצרכים לרוב. מותאם מ-(4)**



**Figure 2: צריכת חלב לאחר פעילות גופנית מקדמת פירוק ובניה רב יותר בשריר בהשוואה לסויה בגברים צעירים. מותאם מ-(7,8)**

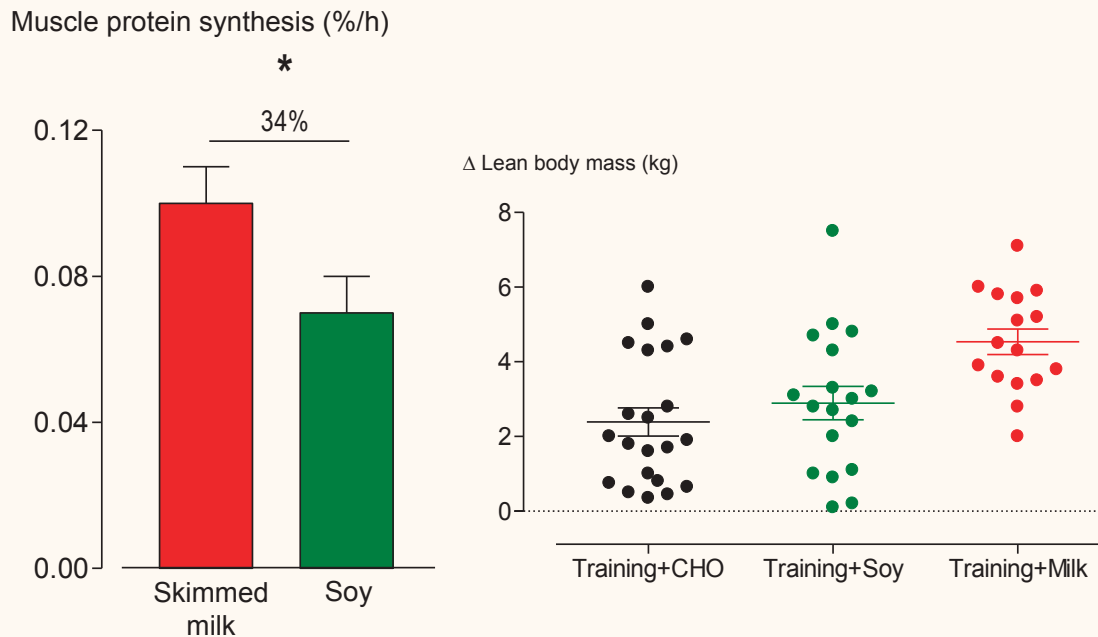


Figure 3: צריכת חלב משרה תגובה גדולה יותר של ייצור חלבוני שריר מאשר בשר בקר טחון בזמן התאוששות מפעילות גופנית בגברים צעירים שהתאמנו באימוני התנגדות. מותאם מ- (11)

