
השפעתה המיידית של ריצה מתמשכת ומתישה על גובה הניתור

נבות מילוא^{1,2}, אמיליה פלורינה גרוסו³, מיכאלה מילוא⁴

¹ המכללה האקדמית בוינגייט

² מכללת ספיר

³ אוניברסיטת בבס בוליא, קלוז' נפוקה

⁴ מכללת קיי

תקציר

מטרת הסקירה היא לרכז את הידוע עד כה על תופעה שבה ריצה מתמשכת ומתישה, או קרובה למתישה, אם ברצף ואם במקטעים, והנמשכת בין עשרים לארבעים דקות, מביאה למיצוי מיטבי של יכולת הניתור לגובה, אשר מתבצע בסדרת ניתורים, כשתי דקות מסיומה של הריצה. זאת, לעומת ניתור לגובה המתבצע לאחר חימום שגרתי. בדרך מקרה ומתוך כוונה לבחון הפקת כוח ברגליים בקרב רצים למרחקים ארוכים נמצא שניתור אנכי לאחר ריצה מתמשכת ומתישה היה גבוה מניתור לאחר חימום המוגדר שגרתי (Vuorimaa, Virlander, Kurkilahti, Vasankari & Häkkinen, 2006). מחקר זה היווה פתח לסדרה של מחקרים שנעשו בעיקר בקרב אתלטי סבולת, חלקם מאשרים את התופעה וחלקם לא. מן הסקירה עולה המידע הזה: 1. הסיבות לתופעה אינן חד-משמעיות. יש הטוענים שהריצה המתישה משפרת את השימוש באנרגייה האלסטית האצורה בסיבי השריר. יש הטוענים לקשר לתופעת ה-Post-Activation Potentiation (PAP), ויש הטוענים לאסטרטגיית פיצוי שונה ולא ידועה של הפעלה או גיוס יחידות מוטוריות לצורך פעולת הניתור לגובה; 2. במקורב, ריצה כמעט מתישה ברמה של כ-85% מצריכת החמצן המרבית (צח"מ), שנמשכה כעשרים דקות, הביאה לשיפור הגדול ביותר בגובה הניתור, אך מידע זה מתבסס על ניסויים מעטים מדי; 3. נמצא כי זמן ההפסקה המיטבי בין סוף הריצה לניתורים הוא כשתי דקות. לאחר זמן הפסקה ארוך יותר נמצאה ירידה בגובה הניתור; 4. יש נבחנים

שהגיבו בשיפור, ויש נבחנים שלא. הסיבה לכך איננה ברורה דייה. ייתכן שיש קשר בין תגובת שיפור שמקורה ב-Stretch-Shortening Cycle (SSC) ליכולת אירובית טובה יותר.

תאריכים: חימום, ניתור לגובה, ריצה מתמשכת ומתישה, Stretch-Shortening Cycle, Post-Activation Potentiation, Counter-Movement Jumps.

היכולת לנתר גבוה היא תכונה חשובה ומבוקשת בענפי ספורט שבהם הדבר מהווה יתרון על פני היריב. גובה הניתור נקבע על פי כמה גורמים המשתלבים אלה באלה (Baker, 1996): (1) היכולת להפיק כוח רב יותר, אשר מותנה בריבוי היחידות המוטוריות מסוג Fast Twitch a (FTa) ו-Fast Twitch b (FTb) (המהירות והסופר-מהירות, בהתאמה) (Xenofondos et al., 2010); (2) ההשפעה העצבית, המתאפיינת ביכולת לגייס יחידות מוטוריות רבות יותר מסוג FTb בפרק זמן קצר יותר ויותר, המתבטאת בכוח מתפרץ מוגבר (Hodgson, Docherty & Robbins, 2005; Ziv & Lidor, 2010) והמשתלבת עם (3) המנגנון המתבסס על מחזור המתיחה וההתקצרות של השריר – Stretch-Shortening Cycle (SSC) המשלב גם ניצול אנרגייה אלסטית³.

החשיבה ההגיונית מניחה שמיד לאחר ריצה מתמשכת ומתישה, הנמשכת כעשרים דקות, ועד כחמש דקות לאחריה תיפגם הפקה איכותית של כוח בשרירים הפשוטים של הרגלים (Millet & Lepers, 2004), ויכולת הניתור לגובה תפחת יחסית למיצוי יכולת זו לאחר חימום שגרתי המותאם לקפיצות. יתרה מזו, ספורטאים בענפי ספורט הדורשים יכולת ניתור גבוהה (הקופצים לסוגיהם באתלטיקה, שחקני כדורעף וכדורסל) ובענפים הדורשים רמת כוח מתפרץ גבוהה נמנעים מלבצע ריצות רצף ארוכות כחלק מתוכנית האימונים שלהם, משום שהדבר עלול לנגוד את הפקת הכוח המתפרץ ברגליהם, ומכאן גם את ביצועיהם. בענפי ספורט שכאלה החימום היעיל ביותר המוצע לצורך מיצוי יכולת הניתור הוא ניתור עם תוספת משקל או סקוויטים בעומסי התנגדות של כ-80% מ-RM1 (Needham, Morse & Degens, 2009).

³ Stretch-Shortening Cycle (SSC) הוא שילוב של שני מנגנונים: האחד, מנגנון שניתן לדמותו לקפיץ בפעולות כניתור לגובה (Roberts & Azizi, 2011). הוא כולל את השלב (1) האקסצנטרי בכפיפת המפרקים ואשר בו נאגרת האנרגייה האלסטית בשרירים ובאזור החיבור גיד-שריר, אשר מוביל לשלב (2) מעבר איזומטרי, אשר מוביל לשלב (3) הקונצנטרי ופשיטת המפרקים בעצמה מתפרצת. לאנרגייה האלסטית ב-SSC מצטרף המנגנון השני: רפלקס המתיחה, שתחילתו בשלב האקסצנטרי במתיחת כישורי השריר (Muscle Spindles), וגופי גולג'י (Golgi Tendon Organs), המצויים בגידים, אשר נותנים את האות העצבי להפעלתה של קשת רפלקס המפעילה גיוס וכיווץ מוגבר של יחידות מוטוריות מהירות (FTb) שישפיעו לטובה על הפקת כוח מוגברת בחלקו השני של השלב הקונצנטרי. SSC הוא הסיבה לכך שניתור CMJ, המתבסס על שקיעה לפני הניתור, יהיה גבוה מ-SJ, שבו מבוטל השלב האקסצנטרי (Turner & Jeffreys, 2010; Komi, 1984; Nicol, Avela & Komi, 2006).

ואולם, במבדקי שטח אקראיים לא זו בלבד שספורטאים שביצעו ריצה מתמשכת ומתישה של כעשרים דקות ומיד לאחריה ניתורים לגובה הצליחו לבצע ניתורים איכותיים, חלקם אף הצליחו לבצע ניתורים גבוהים מאלה שבוצעו לאחר חימום מקובל. יתרה מזאת, חלק לא מבוטל מהקופצים שהתנסו בביצוע שכזה דיווחו שהניתור בוצע כאילו ללא מאמץ ובתחושה של ריחוף. במקרים מסוימים, שבהם הזדמנה השוואה בין ניתורים לגובה לאחר חימום מקובל לבין ניתורים לגובה לאחר ריצה מתישה שנמשכה כ-15 עד 25 דקות, נצפו הבדלים בגובה הניתור לטובת אלו שלאחר הריצה המתישה. ההנחה המתבקשת היא שהחימום שבוצע לפני הקפיצות היה לא ממצה, ולכן היו הניתורים נמוכים מאלו שלאחר הריצה.

אף על פי כן בדרך מקרה ומתוך כוונה לבחון הפקת כוח ברגליים בקרב רצים למרחקים ארוכים, כשאחד המדדים הוא גובה ניתור אנכי, נמצא במחקרם של וורימה ועמיתיו (Vuorimaa, Virlander, Kurkilahhti, Vasankari & Häkkinen, 2006), שהניתור לאחר ריצה מתמשכת ומתישה היה גבוה מהניתור שבוצע לאחר חימום המוגדר שגרתי. מחקר זה היווה פתח לסדרה של מחקרים שחלקם אישרו את התופעה וחלקם לא. מטרת הסקירה היא לרכז את הידוע עד כה על התופעה ולבדוק אם ניתן להסיק מכנה משותף בין ביצועי הריצות המתישות שלאחריהן נצפה שיפור בגובה הניתור. וגם כיצד מסבירים החוקרים את הסיבה לקיומה של התופעה. באיזה אופן ובאיזו עצימות של ריצה יתרחש השיפור האקוטי (לטווח קצר) המרבי בגובה הניתור, מהו זמן ההפוגה הנכון בין סוף הריצה לביצוע הניתור לצורך מיצויו המרבי, וכיצד קורה שיש נבדקים המגיבים בשיפור הניתור ויש כאלו שלא, ומה ניתן ללמוד מכך בנוגע לסיבה האפשרית לתופעה.

המחקרים שיובאו בהמשך בחנו בעיקר אתלטי סבולת (למעט שני מחקרים שבחנו שחקני כדורגל צעירים), ולא נמצא בספרות מחקר הבוחן השפעת ריצה מתמשכת ומתישה על גובה ניתור של ספורטאים הנדרשים ליכולת ניתור גבוהה כחלק מתפקודם הייעודי, כמו קופצים לגובה או שחקני כדורעף, כדורסל וכדוריד. יש בסקירה זו כדי להעלות שאלות הנוגעות לדרכי חימום והכנה אפשריות לספורטאים שכאלה, לאימון ואולי אף לתחרות.

גילוי התופעה התאפשר משום שהחוקרים השתמשו במדידת גובה ניתור מסיבת היותו דרך פשוטה ובת מדידה של הפקת כוח בשרירים הפושטים של הרגליים (Vuorimaa et al., 2006). שלושה מבדקי ניתור בוצעו במחקרים: ניתור Squat (SJ), המתבצע מהמקום מזווית של כ-90° בברכיים, ללא שלב השקיעה בניתור; ניתור Counter-Movement (CMJ), שהוא ניתור רגיל לגובה מהמקום, בעזרת ידיים אשר נשארות אוחזות במותניים, או בדרך כלל בלא עזרתן, והוא כולל את שלב כפיפת הברכיים לפני הניתור; ניתור Drop (DJ) אשר קדמה לו קפיצה/נפילה מגובה של 40 ס"מ בדרך כלל. שילוב של בלימה ובהמשכה ניתור. ניתורי ה-CMJ וניתורי ה-DJ מתבססים, מלבד על הפקת הכוח בשריר, גם על רפלקס המתיחה שהוא תחילת פעולתו של ה-SSC. לעומתם, ניתורי ה-SJ מאפשרים לנטרל כמעט במלואו את מחזור ה-SSC ולמדוד בעיקר את הכוח המופק בניתור (Bosco, Viitasalo, Komi,)

ניתורי ה-SJ אינם יכולים לנטרל את מחזור ה-SSC לחלוטין, משום שגם במאמץ ובהתכווצות שריר בשלב הקונצנטרי, ללא השלב האקסצנטרי, מתחיל במתיחה של הרכיבים האלסטטיים בשריר. לפיכך גם אם אין שינוי כולל באורך של מנגנון השריר-גיד הכולל, עדיין חל שחרור אנרגייה אלסטית בתחילתו של השלב הקונצנטרי (Komi, 2011; Rack & Westbury, 1974). במחקרים שלהלן נמדד בעיקר ניתור .CMJ

השפעתה המיידית החיובית של ריצה מתמשכת ומתישה על גובה הניתור

וורימה ועמיתיו (Vuorimaa et al., 2006) היו הראשונים לאבחן את התופעה. הם חקרו שינויים מיידיים בפעולת השרירים פושטי הרגליים וביצועי הכוח שלהם לאחר תרגולי ריצה שונים. מכיוון שניתור לגובה מהמקום מבטא היטב, לטענתם, הפקת כוח בשרירי הרגליים, הם ערכו לכל אחד מ-24 רצי עילית למרחקים ארוכים מדידות של CMJ לפני שלושת הפרוטוקולים האלה ואחריהם: (1) ריצת רצף על מסילה בשיפוע (עליה) של 1° . מהירות התחלתית של 10 קמ"ש בשלב הראשון, כאשר מהירות הריצה עולה בקמ"ש אחד בכל שלב. כל שלב במבדק ארך שתי דקות. הריצה הופסקה כאשר הנבדק הגיע לתשישות; (2) 40 דקות ריצת טמפו על מסילה. שתי דקות ריצה ושתי דקות מנוחה. במנוחה היה ניתן ללכת ליד המסילה. מהירות הריצה הותאמה ל-80% $VO_2 \max$; (3) 40 דקות ריצה באותה מתכונת כמו פרוטוקול 2 כאשר מהירות הריצה הותאמה ל-100% $VO_2 \max$.

סדר הביצוע של כל מבדק כלל: (1) חימום סטנדרטי של לפני תחרות הכולל 20 דקות ריצה קלה, לאחריה שלושה ספרינטים של 100 מטר ב-80% מהמהירות המרבית, עם הפסקת התאוששות של שתי דקות בין ספרינט לספרינט. לאחר מכן 10 דקות של מתיחות סטטיות של השרירים העיקריים השותפים בניתור ועוד חמש דקות של ריצה קלה; (2) מיד בתום החימום בוצע מבדק הניתור האנכי המוקדם באמצעות שלושה ניתורי CMJ. נתוני הניתורים נאספו באמצעות פלטת כוח (Bosco, Luhtanen & Komi, 1983) (על פי דיוק של $s+0.001$; Ergojump, Psion ; XP, MA.GI.CA, רומא שבאיטליה), במאמץ מרבי ובהפרש של חמש שניות בין הקפיצות. הקפיצה הגבוהה ביותר הובאה בחשבון. לא צוין איזו קפיצה מבין השלוש הייתה הגבוהה ביותר; (3) ביצוע אחד משלושת הפרוטוקולים של הריצה (רצף, טמפו 80% וטמפו 100%); (4) מיד לאחר כל פרוטוקול ביצוע המבדק המאוחר הזהה למבדק המוקדם ולצורך השוואה.

במפתיע נמצא שיפור מובהק מיידי בכל שלושת ה-CMJ: פרוטוקול 1: 2.7 ס"מ; פרוטוקול 2: 4.2 ס"מ; פרוטוקול 3: 3.2 ס"מ ($P < 0.001$). החוקרים הסיקו כי לאחר תרגול ריצה אינטנסיבי אסטרטגיית התיאום העצבית-שרירית שונה מזו הפועלת לאחר חימום שגרתי, מנטרלת אובדן כוח ואף משפרת כוח המתבצעת

בניתור לגובה. כל זאת נוסף על שיפור פעולת הרכיבים האלסטיים בשרירים ובגידים, המשמשים קפיץ (SSC) (Bosco et al., 1982) ואשר פועל טוב יותר לאחר ריצה מתישה או כמעט מתישה, כפי שמציעים וורימה ועמיתיו (2006).

שיפור מעניין בגובה הניתור במבדק המאוחר, אם כי לא מובהק סטטיסטית, נמדד בידי חוארז ועמיתיו (Juarez, Lopez de Subijana, Mallo & Navarro, 2011) בקרב שחקני כדורגל צעירים מהליגה הראשונה בספרד. ביצוע סדר המבדק היה דומה למבדקים הקודמים: (1) חימום של 15 דקות הכולל ריצה קלה של חמש דקות, שתי מערכות של מתיחות בנות שמונה שניות כל אחת, לקבוצות שרירים עיקריות משרירי הרגליים (לא צוין אם סטטיים או דינמיים), ושמונה CMJ תת-מרבניים; (2) מייד בסוף החימום בוצע מבדק מוקדם של שלושה ניתורי CMJ מרבניים (ידיים נשמרות על המותניים) בהפרש של 15 שניות ביניהם (מדידת הניתורים בוצעה באמצעות פלטת כוח (Hz 250, Dinascan, IBV, Valencia, Spain). הניתור הגבוה ביותר הובא בחשבון, לא צוין איזה מבין השלושה היה הגבוה ביותר; (3) מיד אחר כך בוצעה ריצת 20 דקות על מסילה נעה במהירות שבה הדופק נשאר קבוע על ערך של 80% מהדופק המרבי ולא עד להתשה (Gorostiaga et al., 2004); (4) ביצוע מייד של מבדק ניתורים הזהה למבדק הניתורים המוקדם. בהשוואת ממוצע גובה הניתורים האישיים הגבוהים ביותר אשר הובאו בחשבון מתוך שלושה ניסיונות לכל שחקן כדורגל, התקבל שיפור של 4% (41 ס"מ במבדק המוקדם ו-43 ס"מ במבדק המאוחר). גם במבדק המוקדם וגם במבדק המאוחר לא דווח איזה ניתור מבין השלושה היה הגבוה ביותר.

כדי לבדוק שימור כוח לאורך משחק כדורסל שלם, בחנו קורטיס ועמיתיו (Cortis et al., 2011) ביצועי כמה מדדים לפני משחק כדורסל על כל הפסקותיו ואחרי 40 דקות של המשחק בקרב עשרה שחקני כדורסל צעירים ששיחקו כל זמן המשחק. המדדים שנבחנו: לחיצת יד, ספרינט של עשרה מטרים, תיאום בין ידיים ורגליים וניתורי CMJ. סדר הביצוע של כל המבדק כלל: (1) 10 דקות חימום כדורסל שגרתית 40%-60% מדופק מרבי. לא צוין אם בוצעו תרגילי מתיחות; (2) ביצוע ראשוני של כל המדדים כמבחן מוקדם ועל פי סדר אקראי. ניתנו שני ניסיונות לכל פרמטר, והובאה בחשבון התוצאה הטובה יותר. גובה הניתורים נמדד באמצעות אופטוג'אמפ (Microgate, Bolzano, Italy); (3) משחק כדורסל מלא; (4) ביצוע נוסף של כל המדדים כמבחן מאוחר. בלחיצת היד, הספרינט והקואורדינציה נצפתה ירידה ביכולת. רק השוואת ניתורי CMJ הראו יציבות ואף שיפור, אם כי לא מובהק: 35.2 ס"מ במבחן המוקדם ו-35.7 ס"מ במבחן המאוחר.

מחקרים המייחסים את אפקט ה-PAP⁴ כהסבר אפשרי לתופעה

בולוסה וטוימיל (Boullosa & Tuimil, 2009) בדקו גם הם את התופעה בקרב 12 רצים למרחקים ארוכים. פרוטוקול המבדק כלל: (1) חימום של 10 דקות ריצה בקצב 60% מדופק מרבי (על פי הנוסחה 120 פחות גיל הנבדק) ותרגול של שלוש CMJ; (2) ביצוע מבדק מוקדם מיד לאחר החימום, של שני CMJ בהפרש זמן של 15 שניות, כשהגבוהה שבהן היא הובאה בחשבון. המדידה בוצעה על משטח מגע (Ergojump, Bosco System, Rome, Italy); (3) לאחר כמה ימים ביצוע מבחן אוניברסיטת מונטראול (UMTT) (UMTT) (Leger & Berthoin, Baquet, Rabita & Blondel, 1999; Boucher, 1980), הכולל ריצה על מסלול 400 מ' המתחילה בקצב של 10 קמ"ש ומתגברת בכל שתי דקות ב-1 קמ"ש, עד לתשישות; (4) ביצוע שני מבדקים מאוחרים זהים למבדק המוקדם: שתי דקות לאחר סיום UMTT ושבע דקות לאחר סיום UMTT. גם כאן נמצא שממוצע תוצאות הקפיצות במבדקים המאוחרים היה גבוה ($P < 0.05$) מממוצע תוצאות הקפיצות במבדק המוקדם (29.1 ס"מ), אך מעניין שתוצאת המבדק המאוחר הראשון שבוצע בסמיכות לסיום הריצה (33 ס"מ) הייתה גבוהה מתוצאת המבדק המאוחר השני (31.2 ס"מ) שבוצע חמש דקות לאחר מכן.

במחקר מאוחר יותר של בולוסה ועמיתיו (Boullosa, Tuimil, Alegre & Lusquiños, 2011), ובשימוש בפרוטוקול מדידה דומה לזה של בולוסה וטוימיל (Boullosa & Tuimil, 2009), נמדדו באמצעות פלטת כוח (Quattro jump, Kistler, Post- – 30.6 ס"מ, Pre-test – 29.5 ס"מ, Switzerland 500 Hz) תוצאות CMJ. על פי שני המחקרים, החוקרים מייחסים את השיפור ($P < 0.01$), לטענתם בפעם הראשונה, לאפקט ה-Post-Activation Potentiation (PAP), כאשר במקום היווצרות עייפות יכולת הפקת הכוח דווקא מתגברת דקות ספורות לאחר ביצוע מאמץ מתיש. תופעה זו מיוחסת בדרך כלל להתעצמות הפקת כוח בשרירים הפושטים של הרגליים מיד לאחר סט של תרגיל התנגדות (משקולות) בעצמות של כ-3RM (Batista et al., 2007). קיומו של PAP לאחר הריצה המתישה אינו סותר, כך הם מציינים, גם הגברת היכולת לאגור אנרגייה אלסטית במהלך SSC, המתרחשת בעת מתיחת סיבי השריר המהירים ובמערכת השריר-גיד בכללותה לאחר ריצה מתמשכת ומתישה בת כ-20–25 דקות.

במחקר של בולוסה ועמיתיו (Boullosa et al., 2011) שנערך בקרב 22 רצים למרחקים ארוכים ותרואתלטים ברמות יכולת שונות, מציינים החוקרים שכמחצית מהנבדקים לא הגיבו לריצה בשיפור (Potentiation) של גובה הניתור אלא בעייפות

⁴ PAP מכון לכך שבמקום היווצרות עייפות (Fatigue) לאחר התכווצות קונצנטרית בהתנגדות מתישה של RM3 או פחות, לדוגמה, בעת ביצוע סקוויס בהתנגדות שכזו, מתרחשת דווקא התעצמות יכולת הפקת כוח (Potentiation) דקות ספורות לאחר המאמץ המתיש (Wilson et al., 2013; Bomfim-Lima et al., 2011). ההסבר לכך קשור בסיבות האלה: ראשית, שיפור ביעילות ייצור ATP במסלול האנרגייה הפוספוגני (ATP-CP) (Hodgson, Docherty & Robbins, 2005); שנית, הגברת גיוס יחידות מוטוריות מהירות (Fast Twitch b) וייעול כל המערך האלקטרוכימי (העצבי) הכרוך בגיוס (Enoka, 2002; Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, Dyhre-Poulsen, 2002; Aagaard, 2003).

(Fatigue), לעומת שאר הנבדקים שהגיבו לריצה בשיפור ניכר (PAP): 29.5 ס"מ במבדק המוקדם לעומת 31.2 ס"מ במבדק המאוחר. במחקר זה הוסיפו החוקרים למדידת הניתורים ולאחריה בסדר המבדק גם ריצת ספרינט של 20 מטר. כאן לא נראה שינוי בתוצאה בין המבדק המוקדם למאוחר שזוהי עובדה מעניינת משום הציפייה לעייפות וירידה במהירות לאחר ריצה מתמשכת ומתגברת עד לתשישות (Nummela et al., 2008).

בהתבסס על חלק מהמחקרים שהוזכרו (Vuorimaa et al., 2006; Boullosa & García-Pinillos, 2011; Tuimil, 2009; Boullosa et al., 2011) ביקשו גרסיה ועמיתיו (Soto-Hermoso & Latorre-Román, 2015) לבחון אם עוצמת הניתור (כמדד להפקת כוח ברגליים) תקבר אקוטית (לטווח קצר) גם בתוך כדי אימון הפוגות נרחב (EIT) וגם אחריו, ואם גם כאן יתקיים אפקט ה-PAP שיביא לידי ביטוי שיפור גובה הניתור. 30 רצים למרחקים ארוכים מדרג משני ביצעו את המבדק לפי הסדר הזה: (1) חימום: 5–10 דקות ריצה בקצב נוח, 10 דקות של תרגילים כלליים הכוללים דילוגים גבוהים, קפיצות שונות וריצות מתגברות קצרות. לא צוין אם בוצעו מתיחות בשלבי החימום; (2) מבדק מוקדם, ניתורי CMJ (ידיים על המותניים) במרווח של 15 שניות בין ניתור לניתור. גובה הניתור נמדד באמצעות FreePower Jump Sensorize (FreePower, Sensorize srl, Rome, Italy). ממוצע הניתורים מובא בחשבון (לא צוין איזה מהניתורים היה הגבוה ביותר); (3) ביצוע EIT שכלל ארבעה מקבצים של שלוש ריצות 400 מטר (על מסלול 400 מטר) כל אחד. מהירות הריצה הייתה 85%–100% VO2 Max (בין 60 ל-90 שניות לריצת 400 בודדת), דקה הפסקה בין הריצות בתוך המקבץ ושלוש דקות הפסקה בין המקבצים. שתי דקות מסיומו של כל מקבץ נמדדו שלושה CMJ כמו במבדק המוקדם; (4) מבדק מאוחר אשר בוצע כמדידת CMJ אחרונה, לאחר מקבץ הריצות הרביעי.

החוקרים חילקו את סיכום התוצאות לשתי קבוצות. האחת (מגיבים), זו של הרצים שרצו את מקבצי 2, 3, 4, מאשר מהר מבמקבץ 1. והשנייה (לא מגיבים) של אלו שזמנם הואט בין מקבץ 1 למקבצי 2, 3, 4. מתברר שבקרב אלו שרצו מהר יותר חלה עלייה מובהקת בגובה הניתור ($P < 0.001$): מבדק מוקדם 36 ס"מ, מבדק מאוחר 1 (לאחר מקבץ #1) – 39 ס"מ, מבדק מאוחר 2 (לאחר מקבץ #2) – 40 ס"מ, מבדק מאוחר 3 (לאחר מקבץ #3) – 40 ס"מ, מבדק מאוחר 4 (לאחר מקבץ #4) – 41 ס"מ. לעומתם, בקרב אלו שזמנם הואט לא נצפתה עלייה בגובה הניתור, והדבר מעלה את השאלה אם צח"מ גבוהה עשויה להיות גורם המאפשר פעולתם של מנגנונים הגורמים לשיפור בגובה הניתור לאחר ריצה מתישה, בקרב רצים למרחקים ארוכים שאחד מהם הוא אפקט ה-PAP.

משום שאפקט ה-PAP אינו מיוחס בדרך כלל לתגובה שלאחר ריצה מתמשכת ומתישה ביקשו גרסיה וחבי' (García-Pinillos, Molina-Molina & Latorre-Román, 2016) לבחון מחדש אם PAP הוא הגורם להיווצרות שיפור בגובה הניתור. הפעם נבחנו הבדלים בגובה ניתורי CMJ בין מבדק מוקדם למאוחר, כאשר פרוטוקול הריצה המתישה הוא Léger Test (Léger, Mercier, Gadoury & Leger, 2016).

(Lambert, 1988) המתבצע בתוך כדי ריצת הלך חזור במקטע של 20 מטר כאשר כל דקה יש להגביר את מהירות הריצה עד למצב של התשה (בדומה ל-Yo-Yo Test) (Bangsbo, Iaiia & Krustup, 2008). גובה הניתור נמדד באמצעות FreePower Jump Sensorize (FreePower, Sensorize srl, Rome, Italy).

גם כאן נחלקו התוצאות לשתי קבוצות: מגיבים אלו שניתורם עלה ($P < 0.001$) במבדק המאוחר – 3 ס"מ בממוצע, ולא מגיבים אלו שניתורם ירד במבדק המאוחר – 1.4 ס"מ בממוצע. ההנחה הייתה שאפקט ה-PAP יביא להבדל קינמטי בין קבוצת ה"מגיבים" לקבוצת ה"לא מגיבים", אשר יבוא לידי ביטוי בפרמטרים האלה: אורך השלבים האקסצנטריים – קונצנטרים בשקיעה ולפני הניתוק מהקרקע וזוויות מפרקי קרסוליים, ברכיים ואגן בשיא השקיעה. משום ההבדל הקטן שעלה במחקר החוקרים מסיקים שיש לבחון הסבר אחר לתופעה ומציעים שבעקבות עייפות מתקיימת "אסטרטגיית" פיצוי היוצרת תבנית שונה של תיאום תוך-שרירי וגיוס יחידות מוטוריות. כפי הנראה אסטרטגיה זו מאפשרת לספורטאי להפיק ניתור גבוה יותר (Garcia et al., 2016).

השפעתו המיידית השלילית של מאמץ ארוך ומתיש על גובה הניתור

למרות הנאמר לעיל, אוליבר ועמיתיו (Oliver, Armstrong & Williams, 2008) הראו דווקא תוצאות של ירידה בגובה הניתור בין Pretest ל-Posttest, בביצועים שונים של קפיצות של עשרה שחקני כדורגל צעירים (גיל 16 בממוצע). הקפיצות נמדדו לפני ריצה על מסילה לא ממונעת, במקטעים המדמים את אופי ההספק האירובי כפי שבא לידי ביטוי במשחק כדורגל ולאחר 42 דקות של הריצה. לאחר חימום של חמש דקות ריצה קלה על המסילה בשילוב שני ספרינטים קצרצרים בני ארבע שניות (לא צוין אם בוצעו מתיחות) נמדדו שלושה סוגי קפיצות: SJ, DJ, CMJ. בכל הקפיצות אחזו הידיים במותניים, ולכל סוג קפיצה ניתנו שלושה ניסיונות. לאחר ביצוע פרוטוקול ריצת המקטעים נמדדו שוב אותן קפיצות. התוצאות הראו ב-CMJ ירידה של 3.0 ס"מ, ב-DJ ירידה של 2.3 ס"מ, ב-SJ ירידה של 1.4 ס"מ בין המבדק המוקדם למאוחר.

האם התופעה יכולה לחזור על עצמה במאמץ מתמשך מסוג שונה, למשל רכיבה על אופניים? מקינטייר ועמיתיו (McIntyre, Mawston & Cairns, 2012) בחנו עשרה רוכבים חובבים אשר ביצעו את המבדק על פי הסדר הזה: לאחר חימום של 10 דקות רכיבה בקצב נוח נמדדו כמבדק מוקדם קפיצות DJ. הטובה שבהן הובאה בחשבון. לאחר מכן רכבו 20 דקות בקצב שהביא אותם לידי התשה ואז ביצעו מיידית ניתורי DJ כמבדק מאוחר מס' 1. 15 דקות מסוף הרכיבה ביצעו שוב ניתורי DJ כמבדק מאוחר מס' 2, ו-30 דקות מסוף הרכיבה ביצעו מבדק מאוחר מס' 3. למרות הדמיון לפרוטוקולים הקודמים שבוצעו בריצה נצפו במחקר זה עייפות וירידה ביכולת הניתור לאחר רכיבת אופניים: 31.2 ס"מ במבדק המוקדם, 28.7 ס"מ במבדק

מאוחר מס' 1 ושיפור קל ביותר במבדקים המאוחרים 2, 3, שהיו נמוכים מהמבדק המוקדם לפני הרכיבה.

גם תוצאות המחקרים הבאים הציגו ירידה בגובה הניתור: לפרז ועמיתיו (Lepers, Pousson, Maffioletti, Martin & Van Hoecke, 2000) של 10% בגובה ניתורי CMJ לאחר שעתיים של ריצה בקצב של 75% VO2 Max. ניקול ועמיתיו (Nicol, Komi & Marconnet, 1991) דיווחו על ירידה בניתורי DJ לאחר ריצת מרתון. צ'מברס ועמיתיו (Chambers, Noakes, Lambert & Lambert, 1998) מדדו ירידה בגובה ניתורי SJ בקרב רצים בני 46 (+/- 7) לאחר ריצה של 90 ק"מ.

ממוצע מעניין הושג במרחק ריצה מעט קצר יותר של תחרות ריצת חצי מרתון הררי, שבו הושגה רק ירידה קלה בגובה CMJ במבדק מאוחר מס' 1, שבוצע כחמש דקות לאחר הריצה: 25.5 ס"מ לעומת 26.6 ס"מ במבדק המוקדם (שבוצע לאחר חימום אישי של 15–20 דקות). אולם בניגוד לציפייה לתהליכי התאוששות, כחמש דקות אחר כך בוצע מבדק מאוחר מס' 2 והראה ירידה גדולה אף יותר בגובה הניתור: 24.5 ס"מ (Elissavet, Ioannis, Gregory, Konstantinos, 2016).

לוח 1. סיכום המחקרים העוסקים בהשפעת מאמץ מתמשך, מתיש או קרוב למתיש, על גובה הניתור

מבחן מאוחר מס' 2, 3 Post-test 2, 3		מבחן מאוחר מס' 1 Post-test 1		אופי המאמץ המתמשך (מתיש או קרוב למתיש)	מבחן מוקדם Pre- test	אופן ביצוע מתיחות כחלק מחימום לפני Pre-test	נבחנים	מחברים
זמן התאוששות	CMJ ס"מ	זמן התאוששות	CMJ ס"מ		CMJ ס"מ			
		מייד	***34.9	כ-35 דקות, ריצת רצף עד התשה	32.2	10 ד. של מתיחות סטטיות	רצי עילית למרחקים ארוכים	Vuorimaa et al. (2006)
		מייד	***35.1	40 דקות, ריצת טמפו, 80% צח"מ	30.9	לשרירים הפושטים של הרגלים. ללא		
		מייד	***34.5	40 דקות, ריצת טמפו, 100% צח"מ	31.3	ציון משך הזמן של כל מערכת מתיחות		
שבע דקות	**31.2	שתי דקות	**33.0	מבחן מונטראול UMTT עד להתשה	29.1	לא צוין אם בוצעו מתיחות	רצים מאומנים למרחקים ארוכים	Boullosa & Tuimil (2009)

		שתי דקות	30.6*	מבחן מונטראול עד UMTT להתשה	29.5 29.6 (רק מגיבים)	לא צוין אם בוצעו מתיחות	אתלטי סבולת	Boullosa et al. (2011)
		מייד	43.0	ריצת 20 דקות, 80% צח"מ	41.0	8X2 ש. לקבוצות שרירים עיקריות משרירי הרגלים	שחקני כדורגל, ליגת נערים מהדרג הראשון בספרד	Juarez et al. (2011)
		מייד	35.7	משחק כדורסל מלא	35.2	לא צוין אם בוצעו מתיחות	שחקני כדורסל צעירים	Cortis et al. (2011)
15 דקות	דומה למבחן מאוחר מס' 1 ונמוך מהמבחן המוקדם	מייד	28.7 (DJ)	רכיבת אופניים מתגברת של 20 דקות, עד להתשה	31.2 (DJ)	לא צוין אם בוצעו מתיחות	רוכבי אופניים מתחרים וחובבים	McIntyre et al. (2012)
30 דקות	דומה למבחן מאוחר							

מס' 1 ונמוך מהמבחן המוקדם							
	שתי דקות	(1) ***41.03	מבחן הפוגות נרחב	38.63	לא צוין אם בוצעו מתיחות	רצים למרחקים ארוכים	Garcia et al. (2015)
	שתי דקות	(2) ***39.94	4X3X400 (מטר)			מדרג משני, נתוני	
	שתי דקות	(3) ***40.86				המגיבים בלבד	
	שתי דקות	(4) ***39.45					
	מייד	ירידה בגובה הניתור -3.0 CMJ ס"מ -2.3 DJ ס"מ -1.4 SJ	ריצת 42 דקות במקטעים שונים, לא עד התשה	לא נרשם	לא צוין אם בוצעו מתיחות	עשרה שחקני כדורגל צעירים	Oliver et al. (2008)

		מייד	23.7 (DJ)	ריצת מרתון	28.6 (DJ)	לא צוין אם בוצעו מתיחות	תשעה רצים מנוסים למרחקים ארוכים	Nicol et al. (1991)
כ-10 דקות לאחר סיום הריצה	24.5	כ-5 דקות לאחר סיום הריצה	25.5	ריצת חצי-מרתון הררית	26.6	לא צוין אם בוצעו מתיחות	27 מתחרי חצי-מרתון	Rousanoglou et al. (2016)
		מייד	***38.8 (מגיבים)	Léger Test (דומה ל-Yo-Yo Test)	35.8 (מגיבים)	לא צוין אם בוצעו מתיחות	33 רצים חובבים למרחקים ארוכים	Garcia et al. (2016)
			36.6 (מגיבים) (לא)		38 (מגיבים) (לא)			

המובהקות הסטטיסטית במחקרים שבהם נמצא שיפור: $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$

דיון

על פי הממצאים שסיפקו החוקרים ועל פי ההשערות הנוגעות לגורמים לתופעה, אי אפשר להסיק שהריצה המתמשכת, המתישה או הכמעט מתישה היא הגורם הישיר לשיפור המייד והאקוטי (לטווח קצר) בגובה הניתור. החוקרים מציינים שהמאמץ וההתשה אכן פוגעים ביכולות ביצוע/תפקוד שונות, אך מעוררים מנגנונים שעליית השפעתם מביאה לשיפור בגובה הניתור. עדות ליכולתה של ההתשה להשפיע לטובת שיפור ובה בעת לפגוע ביכולת ניתן למצוא בקרב נבדקים שהגיבו בשיפור לעומת נבדקים שערכו את אותו הטסט, אך הגיבו בירידה ביכולת הניתור לגובה (Boullosa et al., 2011; Garcia et al., 2015; Garcia et al., 2016). לפיכך, יש להניח, לא נמצאה במחקרים המלצה לשקול שימוש בתופעה כבחימום לפעילות המתאפיינת בזריזות רבה ובכוח מתפרץ רב.

המבדקים כולם לא בוצעו על מנת לבחון דרכים לשיפור ניתור. מבדקי הניתור, בדרך כלל CMJ, נערכו כדרך פשוטה ויעילה לבדוק הפקה ושימור כוח בקרב קבוצות אוכלוסייה של ספורטאים שיכולת ניתור לגובה איננה אחת ממטרותיהם, וגם אם נבדקו שחקני כדורסל (Cortis et al., 2011), המחקר לא נעשה על מנת להסיק מסקנות הנוגעות לשיפור הניתור, אלא כמו במחקרים האחרים, לבחון יכולת של שימור הפקת הכוח. במבדק הראשון (Vuorimaa et al., 2006) לא הייתה כלל כוונה למצוא שיפור בגובה הניתור, והממצא היה מפתיע. לא נמצאו מבדקים שנערכו בקרב ספורטאים המעוניינים במציאת דרכים לשיפור ניתור (שחקני כדורעף או קופצים לגובה), כפי הנראה משום שריצה מתמשכת, או ריצה מתמשכת במקטעים, איננה מקובלת כמרכיב באימוני כושר ייעודיים לאותם ספורטאים.

הסיבות האפשריות להתרחשותה של התופעה

בוסקו ועמיתיו (Bosco et al., 1986) מצאו עלייה באנרגייה האלסטית העצורה ברכיבים האלסטיים בשרירים ובגידים (שיפור ב-SSC) בעת ההגעה לעייפות השריר לאחר פעילות התנגדות (משקולות) חזקה הנמשכת כמה שניות, אבל בתוך כדי ירידה בכוח המתפרץ. החוקרים ממקדים וטוענים שהעייפות שבסופה של פעילות מתישה מאפשרת לסיבי השריר המהירים לצבור אנרגייה אלסטית רבה מזו שצוברים סיבי השריר האיטיים. כל זה במהלך פעולה שיש בה מתיחה והתכווצות של השריר בטווח תנועה גדול כאשר מתיחת השריר (התארכות השריר בשלב האקסצנטרי) מתבצעת באיטיות, בדומה לניתור לגובה המבוצע בתוך כדי שקיעה ב-CMJ.

מכאן ניתן להסיק שלאחר מאמץ מתיש, בניתור מנחיתה (DJ) או באימון פליאומטרי (Bauer, Thayer, & Baras, 1990), שבהם התארכות השריר בשלב האקסצנטרי מתבצעת במהירות, תופעה זו לא תתרחש, ואכן במחקרים שהוצגו ושנמדד בהם גובה הניתור ב-DJ, לא נמצא שיפור. אולם היות שנמצאו מעט מדי מחקרים כאלה, שאחד מהם בוצע ברכיבת אופניים (McIntyre et al., 2012) והשאר בריצות ארוכות מאוד (Oliver et al., 2008), שאלה זו ראויה לבחינה נוספת, לא

משום שהשפעת "אפקט הקפיץ" שב-SSC איננה נכונה, אלא משום שאולי מדובר בשילוב של כמה סיבות שאחת מהן היא אפקט ה-PAP, כפי שמסבירים זאת בולוסה ועמיתיו (Boullosa et al., 2011), אשר הגיעו למסקנה שתובנה זו נכונה גם למצב שלאחר התשת שרירי הרגליים באמצעות ריצה מתמשכת.

יש לציין כי בהיעדר הסבר ברור ליצירת שיפור בגובה הניתור לאחר ריצה מתמשכת ומתישה מצאו החוקרים (Boullosa et al., 2011) את ה-PAP כהסבר המתאים ביותר להיווצרות השיפור בגובה הניתור, הסבר שעד כה נמצא נכון לפעילות קצרה מאוד של התנגדות, כדוגמת ביצוע סקוטים בהתנגדות שתאפשר 3–5 RM כגירוי להיווצרות PAP ושיפור אקוטי (לטווח קצר) בניתור (Batista et al., 2007). זאת, למרות הטענה של טילין ובישופ (Tillin & Bishop, 2009) שפעילות בעצימות נמוכה, כדוגמת ריצה, היא מחוץ למגוון האפשרויות העשויות להביא לאפקט PAP. גם גרסיה וחבי' (Garcia et al., 2016) מטילים ספק ב-PAP כהסבר לתופעה וגורסים כי יש לבחון אם לאחר ריצה מתמשכת, מתישה או קרובה למתישה חלה אסטרטגיית פיצוי נוספת, היוצרת תבנית שונה של תיאום תוך-שרירי וגיוס יחידות מוטוריות, אשר מביאה לניתור גבוה יותר.

מהו סוג הריצה המתאים ביותר למיצוי מיטבי של התופעה?

במחקר הראשון (Vuorimaa et al., 2006) היה המבדק שהראה את השיפור הרב ביותר בגובה הניתור לאחר ריצת טמפו ב-80% VO₂ max, אולם בהבדל לא רב מריצת הטמפו ב-100% VO₂ max ומריצת הרצף המתגברת עד להתשה. במבדק ה-80% VO₂ max נצפו גם ההבדלים הגדולים ביותר בין המבדק המוקדם למאוחר לעומת שאר המחקרים שבהם נצפה שיפור בניתור במבדק המאוחר. קיימת אפשרות שהדבר נבע גם מירידה מסוימת בגובה הניתור במבדק המוקדם בשל עריכת מתיחות סטטיות במשך כעשר דקות בסמוך לביצוע המבדק.

יש לציין כי משך זמן והאופן שבו מתבצעות המתיחות (סטטיות או דינמיות) עשויים להשפיע על גובה הניתור לרעה או לטובה או לא להשפיע כלל. מתיחות סטטיות ארוכות לשרירים הפושטים של הרגליים, הנמשכות יותר מ-30 שניות למערכה ומתבצעות בסמיכות לפעילות מתפרצת כמו ניתור לגובה, מחלישות את עוצמת הכוח שהשריר יכול לייצר ואת אפקט ה-SSC. לעומתן מתיחות סטטיות, שמשכן שניות בודדות או מתיחות דינמיות, השפעתן על גובה הניתור נעה בין ניטרלית למסייעת (Behm, Button & Butt, 2001; Young & Behm, 2003; Sim, Dawson, & Guelfi, Wallman, & Young 2009; Wilson et al., 2010; Robbins & Scheuermann, 2008). אולם במחקרם של וורימה וחבי' (Vuorimaa et al., 2006) לא צוין כמה זמן נמשכה כל מערכת מתיחות.

רק בעוד מחקר אחד (Juarez et al., 2011) צוין ביצוע מתיחות כחלק מהחימום לפני המבדק המוקדם, אך היו אלה מערכות מתיחות בנות שמונה שניות כל אחת, דבר שכאמור אין בו כדי להשפיע לשלילה על מיצוי יכולת הניתור לגובה. בשאר המחקרים לא צוין אם בוצעו מתיחות כחלק מתהליך החימום, ובחלקם הודגש

דווקא חימום דינמי (Garcia et al., 2015; Garcia et al., 2016), שכלל סדרות דילוגים גבוהים, סדרת ניתורים וכמה ספרינטים מתגברים ונמצא יעיל ביותר למיצוע יכולת הניתור לגובה (Pearce, Kidgell, Zois & Carlson, 2009), ובכל זאת נמצא שיפור בגובה הניתור בקרב חלק מהנבדקים במבדק המאוחר (ראה תת-פרק "נבדקים מגיבים ולא מגיבים"). מלבד זאת, אי אפשר על פי המחקרים לקבוע בוודאות מה עדיף – אם התשה מרבית או רק קרובה לכך; אם ריצת רצף או ריצת מקטעים. הממצאים תומכים בקיומה של התופעה בטווח שבין 80% ל-100% VO2 max בין שזו ריצת רצף או ריצת מקטעים. טווח המאמץ מאפשר, במחקרים עתידיים, לא "ללחוץ" את הנבחנים ו"לסחוט" מעצמם את המרב בעת ביצוע הריצה. ניתן להסיק מכך ששימוש בריצת מקטעים ההולכת ומתגברת עד התשה או קרובה להתשה כדוגמת מבחן ה-יו-יו (Bangsbo et al., 2008), ייתן פתרון ראוי לפרוטוקול של ריצה מתישה גם בקרב נבחנים ספורטאים שאינם אתלטי סבולת.

בנוגע לזמן הנדרש לפרוטוקול הריצה המתישה. מהמחקרים עולה שלאחר ריצות שזמנן נע בין כ-10 דקות (Garcia et al., 2015) לכ-40 דקות (Vuorimaa et al., 2006) ניתן להפיק תגובת שיפור אקוטית (לטווח קצר) בגובה הניתור אם כאשר זה מתבצע מיד או כשתי דקות לאחר הריצה. אולם ייתכן שלקבוצות אוכלוסייה שאינן רצים מאומנים למרחקים ארוכים, 40 דקות יהיה זמן ארוך מדי (Cortis et al., 2008; Oliver et al., 2011). בחלק מהמחקרים ובפרוטוקולים ששילבו כ-20 דקות של ריצה מתישה (Juarez et al., 2011; Boullosa & Tuimil, 2009; Boullosa et al., 2011) נמצא שיפור אקוטי בגובה הניתור. על פי זאת ניתן להניח, בנוגע למחקרים עתידיים, שריצה מתישה או כמעט מתישה שמשכה כפרק זמן זה, עשויה להיות יעילה ליצירת שיפור אקוטי בגובה הניתור. אולם בגלל מיעוט המחקרים שעסקו בסוגיה נותרה זו פתוחה וראויה לבחינה נוספת.

מה בדבר סוגים נוספים של מאמצים מתמשכים לשרירי הרגליים, והאם גם הם יכולים להשפיע על יצירת שיפור אקוטי בגובה הניתור? אוליבר ועמיתיו (Oliver et al., 2008) ומקינטייר ועמיתיו (McIntyre et al., 2012) מצאו שריצה של במקטעים המדמים 42 דקות של משחק כדורגל על מסילה לא ממונעת ורכיבת אופניים מתישה של 20 דקות, בהתאמה, אינן יוצרות אפקט שיפור אקוטי בגובה הניתור. משום שריצה בתוך כדי דחיפה לאחור על מסילה לא ממונעת ורכיבת אופניים מעמיסות ואף מתישות את יכולת הפקת הכוח בשרירי הרגליים, ייתכן שלא עייפות השרירים היא המובילה לשיפור האקוטי לאחר הריצה. דבר זה עשוי לחזק את ההנחה כי הגורם העיקרי בשיפור האקוטי הוא שיפור במנגנון ה-SSC, ובעיקר בשיפור האנרגייה האלסטית. אולם ברכיבת האופניים ייתכן גם שבמעבר המידי מהתבנית התנועתית של הרכיבה לתבנית התנועתית של הניתור מתעורר קושי בהתאמה לתבנית התנועתית הבאה, כשם שמתעורר קושי בהתאמה לריצה מייד לאחר הרכיבה בטריאתלון (Millet & Vleck, 2000).

מהו פרק הזמן המיטבי בין סיום הריצה לתחילת הניתורים המאוחרים (post-tests) למיצוי הגובה המרבי של הניתור?

בלוח 1 צוין שפרק הזמן בין סיום הריצה לתחילת הניתורים המאוחרים שבהם הושג הניתור הגבוה מזה שהושג לאחר חימום שגרתי נע בין – מייד (Vuorimaa et al., 2006; Juarez et al., 2011 Cortis et al., 2011; Oliver et al., 2008; Garcia et al., 2016) לשתי דקות (Boullosa & Tuimil, 2009; Boullosa et al., 2015; Garcia et al., 2011), שגם הן קצרות ואינן מותירות זמן להתאוששות. גם כאן מחקרם של בולוסה וטיומיל (Boullosa & Tuimil, 2009) מדגים את יעילותה של המיידיות בביצוע הניתורים לאחר פרוטוקול הריצה לאור ההשוואה, בין שהניתורים מתבצעים שתי דקות לאחר סיומה – 33.0 ס"מ – ובין שהם מתבצעים חמש דקות מאוחר יותר. ירידה של כמעט שני ס"מ – 31.2 ס"מ – שהוא תופעה מעניינת בשל הציפייה להתאוששות מנגנון ה-SSC לאחר מאמץ הריצה המתמשך (Komi, 2000).

לעומת זאת אם מייחסים את התופעה לאפקט ה-PAP, הרי שעל פי בישופ (Bishop, 2003), "חלון ההזדמנויות" להשגת אפקט ה-PAP הוא בין 5 דקות ל-15 דקות מסופה של הריצה. הסתירה המסוימת בין ממצאי המחקר הזה לקבלת אפקט PAP מצטרפת להנחתם של גרסיה ועמיתיו (García et al., 2016), המסיקים שיש לבחון הסבר אחר לתופעה ומציעים שבעקבות עייפות חלה "אסטרטגיית" פיצוי היוצרת תבנית שונה של תיאום תוך-שרירי וגיוס יחידות מוטוריות אשר מאפשרות לספורטאי להפיק ניתור גבוה יותר.

נבדקים מגיבים ולא מגיבים

בשלושת המחקרים (García et al., 2015; Boullosa et al., 2011; García et al., 2016) צוין שחלק מהמשתתפים לא הגיבו לפרוטוקול הריצה בשיפור הניתור. בשניים הראשונים, בהתאמה, תוצאות המבדק המוקדם והמבדק המאוחר היו שוות, ובשלישי נצפתה ירידה בגובה הניתור בקרב הלא מגיבים. בשלושת המחקרים המשתתפים באו ממגוון יכולות אירוביות, ובמחקר השני (García et al., 2015), שבו נבחנה התגובה לאימון הפוגות נרחב (EIT), נמצא קשר בין חוסר ההגבה לתוצאות חלשות יותר בתוצאות הריצה ב-EIT. ממצא זה יש בו כדי להעלות השערה כי יש קשר בין יכולת אירובית טובה לניתור גבוה יותר במבדק המאוחר, אך ייתכן שהשינוי בדפוס התנועה הנובע מאותה התשה מתיש גם את אפקט ה"קפיץ" שבמערכת השריר-גיד או הבקרה העצבית (כישורי השריר וגופי גולג'י), שהם מנגנון ה-SSC, והם העשויים להיות הסיבה להיעדר גירוי לשיפור המידי בגובה הניתור.

חיזוק לכך שעייפות מנגנון ה-SSC היא היוצרת את ההבדל בין המגיבים ללא מגיבים ניתן לקבל מקומי (Komi, 2000), המציין שעייפות מתונה של מנגנון SSC יכולה להביא לתגובת שיפור לעומת עייפות מרבית של המנגנון, אשר מביאה לשינוי בדפוס התנועה. ניתן להניח שהנבדקים בעלי היכולת האירובית הגבוהה במחקרם של

גרסיה וחבי (Garcia et al., 2015) חוו עייפות מתונה בלבד ושיפור במנגנון ה-SSC, שהביא לשיפור האקוטי (לטווח קצר) ביכולת הניתור.

סיכום

נוסף על הסברה שהריצה המתישה או הקרובה למתישה מגבירה את אפקט ה-SSC או את אפקט ה-PAP, שאיננו מקובל על דעת כל החוקרים כהסבר לתופעת העלייה המיידית בגובה הניתור לאחר הריצה, יש לבחון הסבר נוסף הנובע מההשערה של גרסיה ועמיתיו (García et al., 2016), שבעקבות התשישות חלה אסטרטגיית פיצוי הקשורה לגיוס יחידות מוטוריות בשריר: הריצה המדוברת מתישה בשרירי הרגליים את היחידות המוטוריות האיטיות (ST) Slow-Twitch ואף את היחידות המהירות מסוג Fast Twitch a (FTa), החלשות מבין המהירות, אשר פעילות גם בריצה המתישה, מה שמותיר את היחידות המהירות במיוחד (FTb) Fast Twitch b לפעול באין מפריע, עד להתאוששותן של ST ו-FTa. ייתכן שהדבר מסביר את הירידה ביכולת בין המבדק המאוחר 1 (33.0 ס"מ) שבוצע שתי דקות מסופה של הריצה, לבין המבדק המאוחר 2 (31.2 ס"מ) שבוצע חמש דקות אחר כך במחקרם של בלוסה ועמיתיו (Boullosa et al., 2009). הסבר זה טרם נבדק.

נראה שיש בסיס מחקרי לעדויותיהם של ספורטאים מענפים הדורשים יכולת ניתור גבוהה, שחוו שיפור רגעי בגובה הניתור לאחר ריצה או מאמץ דומה, ארוך ומתיש. אולם רוב הממצאים המחקריים לא הושגו ממבדקים שבוצעו באוכלוסייה זו אלא באוכלוסיית ספורטאי סבולת שכמעט הפוכה לה בדרישות הכוח והאנרגיה. נוסף על כך יש ספק בדבר הצלחת מבדק שכזה בקרב ספורטאי ניתור, משום שאלו בדרך כלל אינם ניחנים ביכולת אירובית טובה, והם מותאמים לה פחות ועלולים להימצא "לא מגיבים" ולא משפרים בשל עייפות. למרות זאת ראוי לבחון אם שילוב של מאמץ דומה לריצה מתמשכת ומתישה או קרובה למתישה ונמשך בין 15 ל-20 דקות, ומייד לאחריו אימון לשיפור הניתור יכול להביא הן לשיפור היכולת האירובית והן לשיפור כרוני (מתמשך) של יכולת הניתור לגובה.

רשימת המקורות

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 31*, 61-67.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptations to resistance training: Evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology, 92*, 2309-2318.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 10*, 131-136.
- Bangsbo, J, Iaia, FM, & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine, 38*, 37-51.
- Batista, M. A., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Lotufo, R., Ricard, M. D., & Tricoli, V. A. (2007). Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 21*, 837-840.
- Bauer, T., Thayer, R. E., & Baras, G. (1990). Comparison of training modalities for power development in the lower extremity. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 4*, 115-121.
- Behm, D. G., Button, D. C., & Butt, J. C. (2001). Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Canadian Journal of Applied Physiology, 26*, 262-272.
- Berthoin, S., Baquet, G., Rabita, J., & Blondel, N. (1999). Validity of the Universite de Montreal Track Test to assess the velocity associated with peak oxygen uptake for adolescents. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 39*, 107.
- Bishop, D. (2003). Performance changes following active warm-up and how to structure the 574 warm-up. *Sports Medicine, 33*, 575.

- Bomfim Lima, J., Marin, D., Barquilha, G., Da Silva, L., Puggina, E., Pithon-Curi, T., & Hirabara, S. (2011). Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Human Movement, 12*, 324-330.
- Bosco, C., Atteri, F., Fekete, G., Apor, P., & Rusko, H. (1986). The effect of fatigue on store and re-use of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle. *Acta Physiologica, 128*, 109-117.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 50*, 273-282.
- Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V., & Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica, 114*, 557-565.
- Boullosa, D. A., & Tuimil, J. L. (2009). Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 23*, 1560-1565.
- Boullosa, D. A., Tuimil, J. L., Alegre, L. M., Iglesias, E., & Lusquinos, F. (2011). Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 6*, 82-93.
- Chambers, C., Noakes, T. D., Lambert, E. V., & Lambert, M. I. (1998). Time course of recovery of vertical jump height and heart rate versus running speed after a 90-km foot race. *Journal of Sports Sciences, 16*, 645-651.
- Cortis, C., Tessitore, A., Lupo, C., Pesce, C., Fossile, E., Figura, F., & Capranica, L. (2011). Inter-limb coordination, strength, jump, and sprint performances following a youth men's basketball game. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 25*, 135-142.
- Enoka R. M. (2002) *Neuromechanics of human movement* (3rd ed). Champaign, IL Human Kinetics.

- Rousanoglou, E. N., Noutsos, K., Pappas, A., Bogdanis, G., Vagenas, G., Bayios, I. A., & Boudolos, K. D. (2016). Alterations of vertical jump mechanics after a half-marathon mountain running race. *Journal of sports science & medicine*, *15*(2), 277-286.
- García-Pinillos, F., Molina-Molina, A., & Latorre-Román, P. Á. (2016). Impact of an incremental running test on jumping kinematics in endurance runners: can jumping kinematic explain the post-activation potentiation phenomenon? *Sports Biomechanics*, *15*, 103-115.
- García-Pinillos, F., Soto-Hermoso, V. M., & Latorre-Román, P. A. (2015). Acute effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: postactivation potentiation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*, 11-21.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, *91*, 698-707.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation. *Sports Medicine*, *35*, 585-595.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, *35*, 585-595.
- Juarez, D., Lopez de Subijana, C., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, *11*, 191-196.
- Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *12*, 81-122.

- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, *33*(10), 1197-1206.
- Komi, P. V. (Ed.). (2011). *The encyclopaedia of sports medicine, neuromuscular aspects of sports performance* (Vol. 17). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Leger L, Boucher R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, *5*, 77 -84.
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, *6*, 93-101.
- Lepers, R., Pousson, M. L., Maffiuletti, N. A., Martin, A., & Van Hoecke, J. (2000). The effects of a prolonged running exercise on strength characteristics. *International Journal of Sports Medicine*, *21*, 275-280.
- McIntyre, J. P., Mawston, G. A., & Cairns, S. P. (2012). Changes of whole-body power, muscle function, and jump performance with prolonged cycling to exhaustion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *7*, 332-339.
- Millet, G. P., & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *British Journal of Sports Medicine*, *34*, 384-390.
- Millet, G. Y., & Lepers, R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine*, *34*, 105-116.
- Needham, R. A., Morse, C. I., & Degens, H. (2009). The acute effect of different warm-up protocols on anaerobic performance in elite youth soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*, 2614-2620.

- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P. V. (2006). The stretch-shortening cycle. *Sports Medicine*, *36*, 977-999.
- Nicol, C., Komi, P. V., & Marconnet, P. (1991). Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *1*, 10-17.
- Nummela, A. T., Heath, K. A., Paavolainen, L. M., Lambert, M. I., Gibson, A. S. C., Rusko, H. K., & Noakes, T. D. (2008). Fatigue during a 5-km running time trial. *International Journal of Sports Medicine*, *29*, 738-745.
- Oliver, J., Armstrong, N., & Williams, C. (2008). Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. *Journal of Sports Sciences*, *26*, 141-148.
- Pearce, A. J., Kidgell, D. J., Zois, J., & Carlson, J. S. (2009). Effects of secondary warm up following stretching. *European Journal of Applied Physiology*, *105*, 175-183.
- Rack, P. M., & Westbury, D. R. (1974). The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. *The Journal of Physiology*, *240*, 331-350.
- Robbins, J. W., & Scheuermann, B. W. (2008). Varying amounts of acute static stretching and its effect on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *22*, 781-786.
- Roberts, T. J., & Azizi, E. (2011). Flexible mechanisms: the diverse roles of biological springs in vertebrate movement. *Journal of Experimental Biology*, *214*, 353-361.
- Rousanoglou, E. N., Bayios, I. A., Bogdanis, G. C., & Boudolos, K. (2016). Alterations of vertical jump mechanics after a half-marathon mountain running race. *Journal of Sports Science and Medicine*, *15*, 277-286.
- Sim, A. Y., Dawson, B. T., Guelfi, K. J., Wallman, K. E., & Young, W. B. (2009). Effects of static stretching in warm-up on repeated sprint

- performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*, 2155-2162.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, *39*, 147-166.
- Turner, A. N., & Jeffreys, I. (2010). The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength & Conditioning Journal*, *32*, 87-99.
- Vuorimaa, T., Virlander, R., Kurkilahti, P., Vasankari, T., & Häkkinen, K. (2006). Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, *96*, 282-291.
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., ... Ugrinowitsch, C. (2013). Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*, 854-859.
- Wilson, J. M., Hornbuckle, L. M., Kim, J. S., Ugrinowitsch, C., Lee, S. R., Zourdos, M. C., ... Palton, L. B. (2010). Effects of static stretching on energy cost and running endurance performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*, 2274-2279.
- Xenofondos, A., Laparidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, C., Bassa, E., & Kotzamanidis, C. (2010). Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education & Sport/Citius Altius Fortius*, *28*.
- Young, W. B., & Behm, D. G. (2003). Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *43*, 21.
- Ziv, G., & Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male volleyball players: a review of observational and experimental studies. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*, 556-567.