

אולטרה-סאונד אבחנתי בשימוש הפיזיותרפיה

גלי דר, PhD

החוג לפיזיותרפיה, הפקולטה למדעי הרווחה והבריאות, אוניברסיטת חיפה
מחלקה לפציעות ספורט, מרכז ריבשטיין לרפואת ספורט, מכון וינגייט

תקציר

התכונות השריר ע"י השוואה בין תוצאות מדידת גודל השריר במצב מנוחה למצב של כיווץ.² (תמונה מס' 1,2).

שימושים עיקריים של RUSI בפיזיותרפיה הינם בהערכת שרירי בטן וגב (בהקשר של כאבי גב תחתון), הערכת שרירי קרקעית ריצפת האגן וכבייפידבק.

דימות אולטרה-סאונד בזמן אמת (Real time ultrasound imaging)

אחד היתרונות הגדולים של האולטרה-סאונד הוא היכולת של הקלינאי לבצע, בזמן אמת, בדיקה דינאמית (כאשר האיבר נימצא בתנועה). בדיקה דינאמית מתבצעת כאשר איבר המטופל נימצא בתנועה אקטיבית או פסיבית והפיזיותרפיסט עוקב אחרי השינויים החלים במבנה וברקמות מסביב לו בזמן התנועה. הבדיקה נראית למעשה כמו סרטון וידאו קצר הנצפה על גבי המסך ולא כתמונה רגילה. בדיקה כזו מאפשרת לאבחן בעיות אשר לא ניתנות להערכה או לא באות לידי ביטוי בבדיקת האולטרה-סאונד במנח סטטי (ללא תנועה). דוגמא למצב שיתבטא רק בזמן תנועה היא שינוי במיקום הגידים (subluxation/dislocation) בזמן פעילות. למשל, דיסלוקציה של גיד הראש הארוך של שריר הדו-ראשי (biceps) בזמן תנועת רוטציה חיצונית של הכתף, או דיסלוקציה של גידי שרירי ה-fibularis (peroneus) בזמן תנועת dorsiflexion של הקרסול. דוגמאות נוספות לאבחון שחשוב שיעשה כבדיקה דינמית הינן לחץ על עצב בזמן תנועה, לחץ של אוסטיאופיט על רקמה רכה וכדומה.

בנוסף, בבדיקה דינאמית המטופל יכול להגיב באופן מיידי לכל גירוי ולכוון את המטפל למיקום ולנקודת הזמן המדויקת שבה מופק הכאב. המטפל יכול לבחון באיזו תנוחה או תנועה מופק הכאב תוך כדי הבדיקה עצמה וכך, להסתכל על המבנים המעורבים בזמן הרלוונטי לבעיית המטופל. לדוגמא, אצל מטופל המתלונן על כאב במישוש ניתן לבצע את המישוש תחת אולטרה-סאונד (או לשנות את הלחץ של המתמר על פני האיבר) ולראות את השפעת הלחץ על המבנה. בדיקה דינאמית חשובה גם בהערכה של קרע מלא בשריר, גיד או רצועה. לדוגמא, אם בזמן תנועה של האיבר שני קצוות הגיד מתרחקים זה מזה ניתן לאבחן קרע או אם המרווח המפרקי גדל תוך כדי התנועה זהו קרע ברצועה.³

מכשיר האולטרה-סאונד בהערכת מערכת שלד-שריר

לכל מכשיר אולטרה-סאונד קיים מתמר המחובר ליחידת המחשב ומסך מחשב. תדירות המתמר הינה מרכיב חשוב בבדיקה ומשפיעה על איכות התמונה. תדירות גבוהה תתבטא ברזולוציה טובה יותר אך הדבר בא על חשבון חדירות נמוכה יותר לתוך המבנה ולהיפך. התדירות בה עובדים בהערכת מערכת שלד-שריר נעה בין 5-18 MHz כאשר בדיקה של הגפיים תתבצע לרוב בתדירויות הגבוהות יותר ובדיקת שרירי הבטן והגב תתבצע בטווח התדירויות הנמוך יותר, זאת בכדי לאפשר חדירות עמוקה יותר.

אולטרה-סאונד אבחנתי הינו חשיפה של איבר גוף לגלי קול בתדירות גבוהה ויצירת תמונה של האיבר על גבי מסך. אולטרה סאונד אבחנתי של מערכת שלד-שריר מספק לנו תמונה של שרירים, גידים, רצועות, מפרקים ורקמה רכה מסביב להם. בשנים האחרונות גובר השימוש באולטרה-סאונד בתחום הפיזיותרפיה (נקרא גם אולטרה-סאונד שיקומי) במטרה להעריך מורפולוגיה והתנהגות של שרירים ורקמה רכה בזמן פעולות שונות על מנת לשפר את תוצאות הטיפול הפיזיותרפי. השימושים העיקריים של אולטרה-סאונד שיקומי בפיזיותרפיה קיימים בהערכת שרירי בטן וגב (בהקשר של כאבי גב תחתון) ושרירי ריצפת האגן. בנוסף, בשנים האחרונות הוא משמש בקליניקה כאמצעי ביופיידבק.

המאמר מתאר את מרכיבי מכשיר האולטרה-סאונד האבחנתי ועקרונות השימוש בו בתחום הפיזיותרפיה וממצאים עיקריים במחקרים אשר נעשו על שרירי הבטן והגב. כמו כן משווה המאמר את האולטרה-סאונד האבחנתי לאמצעי הדמייה אחרים וסוקר את יתרונותיו וחסרונותיו של כלי זה.

מילות מפתח: אולטרה-סאונד, פיזיותרפיה, אמצעי הדמייה.

הקדמה

אולטרה-סאונד אבחנתי הינו חשיפה של איבר גוף לגלי קול בתדירות גבוהה ויצירת תמונה של האיבר על גבי מסך. התמונה המתקבלת הינה של האיבר בזמן אמת ולכן יכולה להראות לנו את המבנה, צורתו ותנועתו (לדוגמא איברים פנימיים וזרימת דם). אולטרה סאונד אבחנתי של מערכת שלד-שריר מספק תמונה של שרירים, גידים, רצועות, מפרקים ורקמה רכה מסביב להם. התמונה המתקבלת מאפשרת אבחון קרעים בגידים (לדוגמא גידי rotator cuff, גיד אכילס), הסתיידויות של גידים, קרעים בשרירים, הצטברות של נוזלים סביב לגידים, גידולים ברקמה רכה, דימום ונוזלים במפרק, שריר ובורסה.

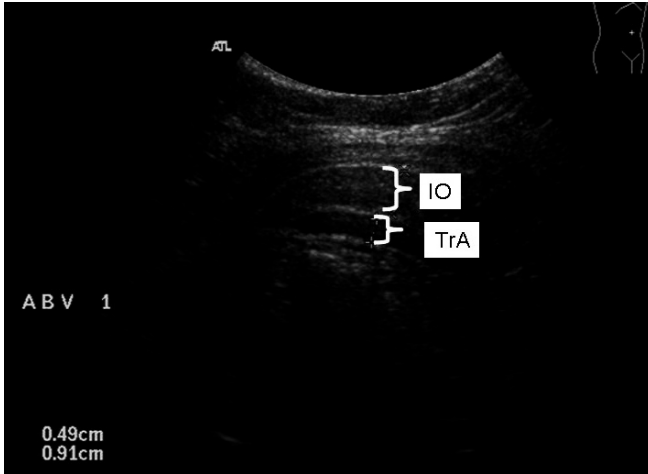
השימוש באולטרה-סאונד בתחום הפיזיותרפיה ובשיקום החל כבר בשנות השמונים כאשר בשנים האחרונות קיימת מגמת עלייה בשימוש בו הן בקליניקה והן במחקר.

דימות אולטרה-סאונד שיקומי (Rehabilitative ultrasound imaging)

כיום מקובל המושג "אולטרה-סאונד שיקומי" (Rehabilitative ultrasound imaging - RUSI) כאשר ההגדרה של מושג זה מתייחסת לתהליך המבוצע ע"י פיזיותרפיסטים על מנת להעריך מורפולוגיה והתנהגות של שרירים ורקמה רכה בזמן פעולות שונות במטרה לשפר את תוצאות הטיפול הפיזיותרפי.¹

אולטרה-סאונד שיקומי (RUSI) מאפשר להתבונן ולבחון את מורפולגיית השריר (מבחינת גודל וצורה). דוגמא למדדים מורפולוגיים של שריר הניתנים למדידה הינם: גודל חתך רוחב של שריר (cross sectional area) ועובי השריר. עובי שריר משתנה בזמן התכווצות בהתאם לכוח שהוא מייצר. אולם, קשר זה שונה בין השרירים השונים. יחד עם זאת, ניתן להעריך את מידת

תמונה מס' 2: שרירי הבטן העמוקים בזמן כיווץ. מדידת עובי שרירי ה- OI ו- TrA צד ימין.



בגברים שריר ה- IO הוא הגדול ביותר.^{6,7} הנתונים שקיימים בספרות על עובי שרירי הבטן חשובים לקליניקה כיוון שהם יכולים לעזור בזיהוי מצב של דלדול שרירי (אטרופיה) או באבחון אופי התגובה של הנבדק לאימון שרירי.

גודל חתך רוחב של שרירי ה- multifidus והשינוי במידת הכיווץ של השרירים (ממצב מנוחה למצב של כיווץ איזומטרי) קטנים יותר בקרב מטופלים עם כאב גב תחתון בהשוואה לבריאים, בעיקר בגובה סגמנט L5. תוצאות אלה מדגימות כי הדלדול השרירי בקרב מטופלי גב תחתון הינו מקומי ויכולת הכיווץ של השרירים קטנה יותר.⁸ לאחר אימון מתאים ניתן לראות שינוי ועלייה בחתך הרוחב של השרירים ובמקביל, ירידה בדיווח על כאבי גב.⁹ עוד נמצא שגודל חתך רוחב של שרירי ה- multifidus קטן יותר בצד הכאב אצל אנשים הסובלים מכאב גב אקוטי חד צדדי.¹⁰

יישום קליני: ביופידבק

המושג ביופידבק מתייחס למשוב חיצוני שמשמש להעלאת ההכרה (קוגניציה) של הנבדק לגבי מה שקורה בגוף מבחינה פיזיולוגית ובהתאם לכך, הנבדק לומד להשפיע או לשנות את התגובות הפיזיולוגיות שלו.¹¹ RUSI בהגדרתו הוא כלי מצוין כביופידבק כיוון שהוא מאפשר למטופל ולמטפל להתבונן בכיווץ השריר בזמן אמת ולראות את השפעתו על המבנים הסמוכים לו. המטפל יכול להסביר ולהדגים בצורה פיזית מה קורה בזמן כיווץ השריר והמטופל מקבל משוב חוזר לגבי תפקוד השריר ע"י צפייה בתמונה.² מחקרים מצביעים כי השימוש ב- RUSI יכול לשפר למידה מוטורית, דבר החשוב בשיקום המטופלים גם לאחר שהכאבים חלפו זאת כיוון שבמקרים רבים השליטה המוטורית או הקואורדינציה בין השרירים נפגמת במטופלים עם תחום רחב של סימפטומים.^{12,13} השימוש ב-RUSI כביופידבק מתאים במיוחד לצפייה בשרירי הבטן והגב שהם חשובים בשיקום מטופלים עם כאבי גב תחתון. השימוש ב-RUSI בלמידה של כיווץ שרירי הגב העמוקים (multifidus) הראה כי מטופלים אלו מראים שיפור משמעותי ביכולת הכיווץ של השרירים, דבר שבא לידי ביטוי בעובי גדול יותר של השרירים. שיפור זה נשמר גם במעקב מאוחר יותר של הנבדקים (לאחר שבוע).¹³ מחקרים שבהם הנבדקים למדו

קיימים שני סוגים עיקריים של מתמרים: שטוח (linear) ומקומר (curve). המתמר השטוח מיועד לבדיקה של הגפיים וייעודו, להעריך מבנים צרים וארוכים (גיד, רצועה) ואילו המתמר המקומר משמש בעיקר לבדיקת שרירי הבטן והגב משום שהוא מאפשר שדה ראייה רחב יותר.³

עקרונות בסיסיים

על מנת לבצע בדיקת אולטרה-סאונד נכונה צריך לדעת את האנטומיה של מערכת שלד-שריר על בורייה. יש לדעת גם את היחסים בין המבנים השונים בשלושה מימדים וכיצד מבנים אלה נראים בצורה תקינה על מצג האולטרה-סאונד. על מנת לזהות תהליכים לא תקינים ברקמות יש צורך להעריך את הגודל, הצורה וגבולות המבנה ולבצע בדיקת השוואה לצד השני במידה והוא תקין.³

אולטרה-סאונד של שרירי הבטן והגב

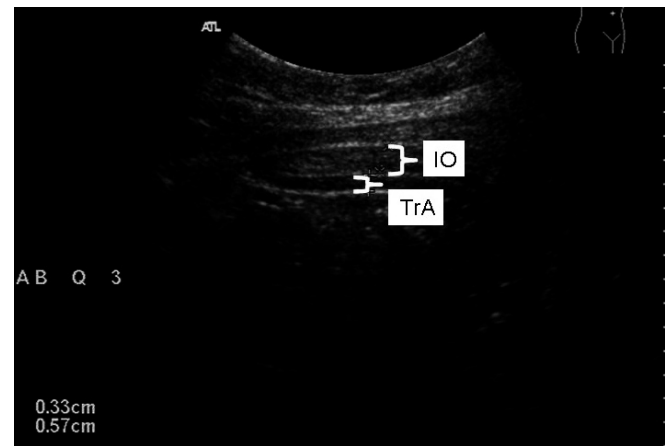
השימוש העיקרי של אולטרה-סאונד שיקומי, כיום, הוא בהערכת תפקוד שרירי הבטן והגב ולכן, מאמר זה יתמקד בשרירים אלו.

מחקרים שונים⁴⁻⁷ בחנו את עובי שרירי הבטן במצב מנוחה (שכיבה על הגב) (תמונה מס' 1) ובזמן כיווץ (תמונה מס' 2). הכיווץ יכול להיות אוטומטי (למשל, המטפל מנחה את המטופל שנמצא במצב שכיבה להרים רגל ישרה באוויר לגובה של כ-5 ס"מ) או רצוני (הנחייה של המטופל לבצע abdominal drawing in maneuver). הערכת תפקוד או פעילות השריר מתבצעת ע"י חישוב מידת השינוי בעובי השריר בין מצב מנוחה למצב כיווץ.

מחקרים שבוצעו לגבי פעילות שרירי הבטן בקרב נבדקים ללא כאבי גב תחתון לעומת נבדקים עם כאבים מצאו, כי פעילות ושינוי בעובי של שרירי ה- Internal abdominal oblique (IO) + Transverse abdominus (TrA) היו נמוכים יותר אצל מטופלים עם כאבי גב תחתון.⁴

בקרב אנשים בריאים לא נמצא הבדל בעובי השריר בין צד ימין לשמאל. לעומת זאת, יש קשר בין מין הנבדק לצורת השריר.⁵ כאשר מתקננים את התוצאות למסת גוף נמצא, שאצל נשים שרירי ה- TrA מהווה חלק גדול יותר ממסת שרירי הבטן בהשוואה לגברים.

תמונה מס' 1: שרירי הבטן העמוקים בזמן מנוחה. מדידת עובי שרירי ה- OI ו- TrA צד ימין.



מסכנת כלשהיא ולכן גם ניתן לבצע את הבדיקה למטופלים בעלי קונטרה-אינדיקציות לבדיקות הדמיה שונות כגון מטופלים עם קוצב לב או שתלים. כמו כן, לא ידוע על סיכונים לבדיקה בגלי קול.

הבדיקה הינה ממוקדת לאיבר הרלוונטי ומספקת תמונה ברורה של רקמה רכה אשר אינה נראית ברנטגן. יתרון מרכזי וחשוב לעבודת הפיזיותרפיסט הינו היכולת בהערכת שרירי הבטן והגב העמוקים החשובים בשיקום הפיזיותרפי (לעומת בדיקת ה-surface EMG שאינה מתאימה להערכתם ואילו בדיקת ה-needle EMG שהינה בדיקה פולשנית הגורמת חוסר נוחות למטופל).

מכשיר האולטרה-סאונד הינו זול וזמין באופן יחסי לאמצעי הדמיה אחרים (נספח 1א') ובעל יתרונות נוספים כמו האפשרות לבדיקה דינאמית ושימוש בכיפודיבק.

חסרונות

קיימים מספר חסרונות לבדיקת אולטרה-סאונד כאשר העיקרי שבהם קשור לעובדה שהמטפל צריך להיות מיומן בביצוע הבדיקה ובפענוח, דבר הדורש הכשרה מתאימה וניסיון רב (נספח 1ב'). התמונה המתקבלת על מסך האולטרה-סאונד הינה בגוונים של אפור והבנתה מורכבת. הבדוק צריך להכיר כיצד המבנים השונים נראים בתמונת האולטרה-סאונד וכיצד מבדילים בין מצב תקין לפתולוגיה. בנוסף, בבדיקת אולטרה-סאונד יכולים להופיע ממצאי שווא (artifact) (לדוגמא: הצללה של מבנה) הקשורים לפעמים לאופן ביצוע הבדיקה ויכולים להשפיע על פענוח הממצאים והמידות. הבדוק חייב להיות מודע לממצאי השווא השכיחים ולדעת להבדיל בינם לבין ממצאי אמת. ממצאי השווא תלויים לעתים קרובות בזווית המתמר ולכן הידע והניסיון הם מרכיב מרכזי בבדיקת אולטרה-סאונד נכונה. חסרון נוסף קשור בעובדה שגלי הקול לא חודרים עצם ולכן הערכת מבנים גרמיים מוגבלת.

סיכום

האולטרה-סאונד השיקומי הוא כלי פשוט, זול ויעיל בעל יישומים רבים בתחום הפיזיותרפיה הן לצרכי אבחון והן לצרכי טיפול. לנוכח יתרונותיו של המכשיר פיזיותרפיסטים צריכים להיות מודעים לאפשרויות שהוא מציע ולהגביר את השימוש בו במכוני הפיזיותרפיה. יש לעודד מחקרים בתחום האולטרה-סאונד על מנת לשפר את הערכה והטיפול בבעיות של המערכת הניירומוסקולוסקלטלית.

נספח 1:

א. טווח המחירים של מכשירי האולטרה-סאונד נע בין \$7,000-50,000. המחיר תלוי בסוג היצרן (לדוגמא: Mindray, Sonosite, Biosound GE), בניידות (מכשיר קבוע או נייד), במספר המתמרים וסוגם, טווח התדירויות הקיים במכשיר, נוכחות של דופלר במכשיר (יכולת בדיקת זרימת דם) ועוד.

ב. כיום, קיימים בעולם (עדיין לא בארץ) מספר קורסים המיועדים לפיזיותרפיסטים או לבעלי רקע רפואי ללימוד הערכה בסיסית של מערכת שלד-שריר באמצעות אולטרה-סאונד אבחנתי. משך הקורסים הוא ממספר ימים ועד חודשים (תלוי בנושאים הנלמדים). יש לציין כי בקורסים לומדים בעיקר כיצד נראים מבנים אנטומיים תקינים בתמונת אולטרה-סאונד אך יש צורך באימון רב לאחר סיום הקורס על מנת להתמצא בתחום.

לכוון את שרירי הבטן העמוקים (abdominal drawing in maneuver) הראו, כי תרגול בעזרת RUSI מפחית את מספר האימונים הדרושים ע"מ לבצע את התרגיל בצורה נכונה (לעומת למידה בעזרת הסבר מילולי ותחושתו בלבד). יתרה מזו, יותר מטופלים בקבוצת הנבדקים שלמדה בעזרת ה-RUSI הצליחו לכוון נכון את שרירי הבטן העמוקים. ממצאים אלו נמצאו נכונים הן לגבי נבדקים בריאים והן לגבי נבדקים עם כאבי גב תחתון כרוניים.^{11,12} עם זאת, ראוי להזכיר שקיימים מספר מחקרים אשר לא מצאו הבדל בין אימון ע"י RUSI לעומת אימון אחר.¹⁴ הסיבות לחוסר ההסכמה בין המחקרים יכולות להיות מגוונות: מספר נבדקים קטן, משך כאבי הגב ועוד. יעילות RUSI משתנה כנראה בתת-הקבוצות השונות וכמובן שיש צורך בהמשך מחקר בנושא.

יישום מחקרי

השימוש ב-RUSI במחקר מאפשר מדידה אובייקטיבית וכמותית של המאפיינים המורפולוגיים של השרירים (אורך, היקף, חתך רוחב, עובי, שטח), אבחנה של שינויים במאפיינים אלו (סטיות מהסטנדרטים הנורמאליים) והשפעתם על מבנים סמוכים (לדוגמא: פסיה, עצב, איברים פנימיים) בזמן כיווץ, דיספונקציה או טיפול. לשם כך, יש צורך בסטנדרטיזציה של תהליך ביצוע המדידות כגון: הגדרת גבולות השריר, תנוחה קבועה של מטופל, מיקום ומנח המתמר לפי נקודות אנטומיות מדויקות ועוד.²

השוואה לאמצעי הדמיה אחרים - תוקף

MRI נחשבת כבדיקה האולטימטיבית ("gold standard") לבחינת שרירי הבטן הן בזמן מנוחה והן בזמן כיווץ. במחקרים שבדקו את כיווץ שרירי הבטן העמוקים או את חתך הרוחב של שרירי ה-multifidus ב-RUSI וב-MRI נמצאה קורלציה גבוהה בין שתי שיטות המדידה כאשר קיימת עלייה בעובי השרירים בזמן כיווץ.^{15,16} כמו כן, נמצא קשר בין עוצמת הפעילות החשמלית של שרירי הבטן העמוקים (IO+TrA) ב-EMG ועוביים כפי שהיא משתקפת בבדיקת אולטרה-סאונד (עם עלייה בפעילות החשמלית של השרירים קיימת עלייה בעוביים). עם זאת, כאשר הכיווץ הינו מעל 20% של כיווץ איזומטרי מקסימלי של השריר, הקשר פחות ברור.¹⁷ ההסבר לכך קשור בעובדה ששינוי בעובי השריר תלוי בהתקצרות של סיבי השריר בזמן פעילותו ובמקביל בהתארכות/מתחה של הגיד. בכוח נמוך, נוקשות הגיד נמוכה וקיימת אפשרות להתארכות ולהתקצרות של סיבי השריר. ככל שהשריר מפעיל יותר כוח, גדלה נוקשות הגיד והאפשרות לקיצור סיבי השריר נמוכה יותר.⁵ ממצאים דומים לגבי הקורלציה בין ממצאי פעילות שריר ב-EMG ועובי השריר קיימים עבור שרירי ה-multifidus.¹⁸ נכון להיום לא נמצא קשר בין פעילות שרירי ה-external abdominal oblique בבדיקת EMG ובין שינוי בעובי שלו בבדיקת האולטרה-סאונד ולכן, יש להניח שפעילות שריר זה לא ניתנת להערכה ע"י אולטרה-סאונד.¹⁷

מהימנות

בבדיקה על שרירי הבטן העמוקים ושרירי הגב העמוקים נמצאה מהימנות גבוהה בין בדיקות של אותו בודק בימים נפרדים ומהימנות טובה בין בודקים שונים. מבחני המהימנות היו גבוהים יותר במדידת עובי שריר במצב נתון לעומת מדידות של מידת שינוי בעובי השריר בין מצב מנוחה וכיווץ. כאשר מבצעים לפחות שתי מדידות רצופות ניתן להעלות את מידת המהימנות של הבדיקה.^{19,20}

יתרונות

לבדיקת האולטרה-סאונד יתרונות רבים. הבדיקה אינה פולשנית ומתבצעת ע"י העברת המתמר על פני העור של המטופל ללא הפקת כאב. גלי הקול המועברים ע"י מכשיר האולטרה-סאונד לא חושפים את המטופל לקרינה

מקורות

1. Teyhen D. Rehabilitative Ultrasound Imaging Symposium San Antonio, TX, May 8-10, 2006. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36(8):A1-3.
2. Whittaker J.L., Teyhen D.S., Elliott J.M., Cook K., Langevin H.M., Dahl H.H., Stokes M. Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its applications. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007; 37(8):434-449.
3. Jacobson J.A. Fundamentals of Musculoskeletal Ultrasound. Philadelphia: Saunders Elsevier Inc, 1st edition. 2007.
4. Teyhen D.S., Bluemle L.N., Dolbeer J.A., Baker S.E., Molloy J.M., Whittaker J., Childs J.D. Changes in lateral abdominal muscle thickness during the abdominal drawing-in maneuver in those with lumbopelvic pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009; 39(11):791-8.
5. Teyhen D.S., Gill N.W., Whittaker J.L., Henry S.M., Hides J.A., Hodges P. Rehabilitative ultrasound imaging of the abdominal muscles. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007; 37(8):450-66.
6. Springer B.A., Mielcarek B.J., Nesfield T.K., Teyhen D.S. Relationships among lateral abdominal muscles, gender, body mass index, and hand dominance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36(5):289-97.
7. Rankin G., Stokes M., Newham D.J. Abdominal muscle size and symmetry in normal subjects. *Muscle Nerve.* 2006; 34(3):320-326.
8. Wallwork T.L., Stanton W.R., Freke M., Hides J.A. The effect of chronic low back pain on size and contraction of the lumbar multifidus muscle. *Man Ther.* 2009; 14(5):496-500.
9. Hides J.A., Stanton W.R., McMahon S., Sims K., Richardson C.A. Effect of stabilization training on multifidus muscle cross-sectional area among young elite cricketers with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008; 38(3):101-8.
10. Hides J.A., Stokes M.J., Saide M., Jull G.A., Cooper D.H. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine.* 1994; 19(2):165-72.
11. Henry S.M., Teyhen D.S. Ultrasound imaging as a feedback tool in the rehabilitation of trunk muscle dysfunction for people with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007; 37(10):627-34.
12. Henry S.M., Westervelt K.C. The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005; 35(6):338-45.
13. Van K., Hides J.A., Richardson C.A. The use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of lumbar multifidus muscle contraction in healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36(12):920-5.
14. Teyhen D.S., Miltenberger C.E., Deiters H.M., Del Toro Y.M., Pulliam J.N., Childs J.D., Boyles R.E., Flynn T.W. The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005; 35(6):346-55.
15. Hides J.A., Richardson C.A., Jull G.A. Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. Comparison of two different modalities. *Spine.* 1995; 20(1):54-8.
16. Hides J., Wilson S., Stanton W., McMahon S., Keto H., McMahon K., Bryant M., Richardson C. An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall. *Spine.* 2006; 31(6):E175-8.
17. Hodges P.W., Pengel L.H., Herbert R.D., Gandevia S.C. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle Nerve.* 2003; 27(6):682-92.
18. Kiesel K.B., Uhl T.L., Underwood F.B., Rodd D.W., Nitz A.J. Measurement of lumbar multifidus muscle contraction with rehabilitative ultrasound imaging. *Man Ther.* 2007; 12(2):161-6.
19. Koppenhaver S.L., Hebert J.J., Fritz J.M., Parent E.C., Teyhen D.S., Magel J.S. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging of the transversus abdominis and lumbar multifidus muscles. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009; 90(1):87-94.
20. Wallwork T.L., Hides J.A., Stanton W.R. Intrarater and interrater reliability of assessment of lumbar multifidus muscle thickness using rehabilitative ultrasound imaging. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007; 37(10):608-12.