

מערכת הבקרה האוטונומית-הלבבית בטיפול הפיזיותרפיה שונות קצב הלב עם ביופיידבק ובלעדיו

גדי ברטור^{1,2}, שרה פלג-שני¹

¹ המחלקה לפיזיותרפיה, המרכז הרפואי השיקומי "רעות", ² המעבדה לפסיכו-ביולוגיה שיקומית, מכון המחקר והפיתוח "רעות"

תקציר

רקע: המערכת האוטונומית מהווה תשתית ובקרה לפעילות תקינה של כל המערכות החיוניות בגוף. ניתן להעריך את התפקוד של המערכת האוטונומית לבבית באמצעות מדידות שאינן פולשניות. השיטה הנפוצה היא שימוש בממד של שונות קצב הלב (HRV) Variability Rate Heart בעת פעילות ומנוחה. לקות אוטונומית בדגם של פעילות-יתר סימפטטית היא לקות שכחה, למשל בעקבות אירוע מוחי, COPD או כאב כרוני.

מטרות: מחקר זה נועד לפתוח צוהר ליישומים אפשריים של מדד שונות קצב הלב (HRV) בהקשר של טיפול הפיזיותרפיה.

שיטות: סקירת ספרות לא שיטתית של הספרות המקצועית והמדעית העושה שימוש ב-HRV כמדד של פעילות מערכת הבקרה האוטונומית-הלבבית.

תוצאות: מתוך הספרות עולה שמדד ה-HRV נמצא כסמן למצבי בריאות וחולי וניתן להשפיע על שונות קצב הלב באמצעות אימון גופני או נשימה קצובה. למערכת הבקרה האוטונומית לבבית מקום חשוב בהקשר של כאב, תפקודים קוגניטיביים, אימון גופני, חוסן פיזי ונפשי.

מסקנות: יש מקום לשלב את הידע המצטבר על יכולת ההשפעה על המערכת האוטונומית-הלבבית במגוון הטיפולי בתחומי העיסוק של מקצוע הפיזיותרפיה, כגון שבץ, כאב כרוני, טיפול נשימתי, אימון גופני וספורט.

מילות מפתח: שונות קצב הלב, מערכת הבקרה האוטונומית-הלבבית, ביופיידבק, נשימה קצובה

מבוא

המערכת האוטונומית מהווה תשתית ובקרה לפעילות תקינה של כל המערכות החיוניות בגוף. למערכת האוטונומית ישנו תפקיד מרכזי בעת אימון גופני ופעילות אצל צעירים ומבוגרים באוכלוסייה הבריאה והחולה כאחת.^{1,2,3,4} ניתן להעריך את התפקוד של המערכת האוטונומית הלבבית באמצעות מדידות שאינן פולשניות. השיטה הנפוצה היא שימוש ב-Heart Rate Variability (HRV) בעת מנוחה ופעילות. HRV מוגדר כהשתנות של קצב התכווצות הלב אשר נמדדת בשינויים שחלים בזמן שבין פעימה לפעימה, והיא מדד מקובל לתיאור שינויים מיידיים של ה-R-R Interval. ה-R מבטא את שיא הפעילות החשמלית של התכווצות החדרים במחזור התכווצות הלב. על מנת להבין את המשמעות של ה-HRV משתמשים בנוסחאות ובמודלים מתמטיים המבוטאים כמדדי זמן, תדר או מדדים לא ליניאריים.⁵

ידוע שערכי שונות קצב הלב יורדים עם הגיל,³ וכן כי אפקט ארוך טווח של פעילות אירובית הוא עלייה במדדי HRV בקרב אנשים מבוגרים וצעירים שעוסקים בפעילות גופנית בהשוואה לאלה שממעטים בה.² בתחום הספורט והאימון הגופני מתרחב השימוש במדדי שונות קצב הלב, בין השאר כמדד שמורה על עומסי האימון העוזר בהכוונת האימון.¹ נוסף על כך, נמצא כי קיים קשר בין HRV כאומדן לפעילות וגאלית לבין תהליכים קוגניטיביים כמו למשל תהליכים אקזקוטיביים⁵ ותהליכי זיכרון.^{6,7} הקבוצה של Thayer^{6,7} הציעה מודל של אינטגרציה נורו-ויסצרלית, אשר מתאר את יחסי הגומלין בין המוח לבין הלב. באמצעות עבודות פרמקולוגיות והדמיות מוחיות הם הראו כיצד ויסות רגשי, ויסות קוגניטיבי ויסות פיזיולוגי קשורים לפעילות לבבית בתיווך וגאלי, כפי שהדבר בא לידי ביטוי בדופק וב-HRV. אזורים פרה-פרונטליים שקשורים לתפקודים מוטוריים, רגשיים וקוגניטיביים, בעיקר באמצעות תהליכים אינהיביטוריים, (בעיקר בהמיספרה הימנית) פועלים דרך גרעינים תת-קורטיקליים על מנת

עד חמש דקות אחרי אימון, ניתן לזהות שוני בתגובה של המערכת האוטונומית שקשור לעומס (קל בינוני ואינטנסיבי) של האימון.¹ ניתן להחליט אם להגביר או להקטין את עומס התרגול באופן פרטני כדי לשפר את יעילות התרגול ולהימנע מאימון - יתר. יש יתרון גדול למדידה זו כי קל ונוח לבצע בהשוואה למדידות מקובלות לבדיקת המאמץ, כגון VO_2 max או בדיקות דם. ניתן לחשוב על יישומים אפשריים נוספים, כמו למשל באימונים צבאיים, בשיקום ובפעילות גופנית. חשוב לציין בהקשר הזה שמבחינה טכנית קל היום לאסוף נתוני HRV, אפילו באמצעות שעוני פולר (Polar) שעלותם סבירה למדי, והם מספקים נתונים אמנים (ראה² והמאמר של נועה רפאלי-באר ועמיתים בחוברת זו). התוכנות לניתוח הנתונים הנאספים בשעוני פולר ניתנות להשגה בחינם, כך שהדרך ליישומים קליניים פתוחה במגוון רחב של תחומי עניין כנזכר לעיל.

התחום שבו מיושם מדד HRV באופן נרחב ביותר הוא תחום טיפולי הביופידבק. תחום זה התפתח באמצע המאה ה-20 בענפי המחקר בפסיכולוגיה ובפיזיולוגיה, ושורשיו נעוצים בניסוי של פבלוב (Pavlov) על ההתניה הקלאסית, והגילוי שבא בעקבותיו בדבר היכולת להשפיע על המערכת הוויסצרלית ועל בלוטות ההפרשה הפנימית, שלא נחשבה אפשרית עד אז.¹⁰ כיום, חלק ניכר ממטפלי הביופידבק הם פסיכולוגים, אבל גם פיזיותרפיסטים עוסקים בתחום זה. במסגרת מגוון טיפולי הביופידבק, יש מקום נכבד למדד שונות קצב לב הן באבחון והן בתהליך הטיפול. היעילות של טיפולי ביופידבק שעושים שימוש במדדי HRV תוארו במקרים כמו במחלת פיברומיאליגיה, מחלות קרדיאליות,¹⁰ באיזון לחץ דם,^{11,13} בתחום הנשימתי טיפול ב-COPD,¹¹ ובאסטמה,^{14,15} בניהול לחצים,¹² ועשויים להיות בעלי משמעות בהקשר של כאבים מיו-פאציאליים.^{12,16} השיפור הקליני הנצפה בעקבות טיפולי ביופידבק העושים שימוש ב-HRV מיוחס לחיזוק מנגנוני הוויסות של המערכת האוטונומית-הלבבית או באמצעות השפעה על מערכת העצבים המרכזית באמצעות גירוי וגאלי אֶפֶרְנְטִי.¹⁷

גירוי המערכת האוטונומית באמצעות נשימה (עם או בלי ביופידבק)

נשימה היא תפקוד חיוני שמתקיים ללא צורך במודעות, אולם ניתן לעורר את המודעות לביצועה וללמוד לנשום באופנים

לאפשר התנהגות מכוונת-מטרה. מוצגים כמה מחקרים שבחנו את הקשר בין HRV לבין תפקודים קוגניטיביים שונים, בהם הדגימו כיצד נבדקים בעלי עוצמה גבוהה בתחום התדר הגבוה של HRV (שמשויכת לפעילות פרה-סימפתטית גבוהה יותר) מראים ביצועים טובים יותר במטלות בעלי מרכיב אקזקוטיבי בהשוואה לנבדקים עם עוצמה נמוכה בתדר הגבוה. בניסוי אחר שנערך בקרב שוטרים אשר נדרשו לבצע מטלה וירטואלית שהצריכה מודעות סביבתית גבוהה כדי לקבל החלטה אם לירות או לא, הראה שהשוטרים שמדד ה-HRV שלהם היה גבוה יותר הביצועים שלהם היו טובים יותר.

מלבד מחקרים שבחנו את הקשר בין HRV לבין רמת ביצוע מטלה, נבחנה גם האפשרות להשפיע על ביצוע מטלה כלשהי על-ידי הגברת ה-HRV באמצעות תרגול. ידוע שניתן להשפיע על HRV באמצעות תזונה, תרגילי הרפיה, ביו-פידבק ומדיטציה⁶ אחת העבודות האלו בחנה את האפשרות להשפיע על זיכרון חזותי ארוך טווח באמצעות הרפיה.⁸ נמצא שבקרב נבדקים שתרגלו טכניקה של הרפיה (אשר במהלכה נמדדה הגברה של הטונוס הפרה-סימפתטי), אחרי חשיפה ל-280 שקפים, נמדדו תוצאות טובות יותר בשמירה על הזיכרון כעבור ארבעה שבועות לעומת קבוצת הביקורת. לטענת המחברים, התרגול אחרי המטלה היה בעל השפעה רטרוגרדית על תהליכי הקונסולידציה של הזיכרון.

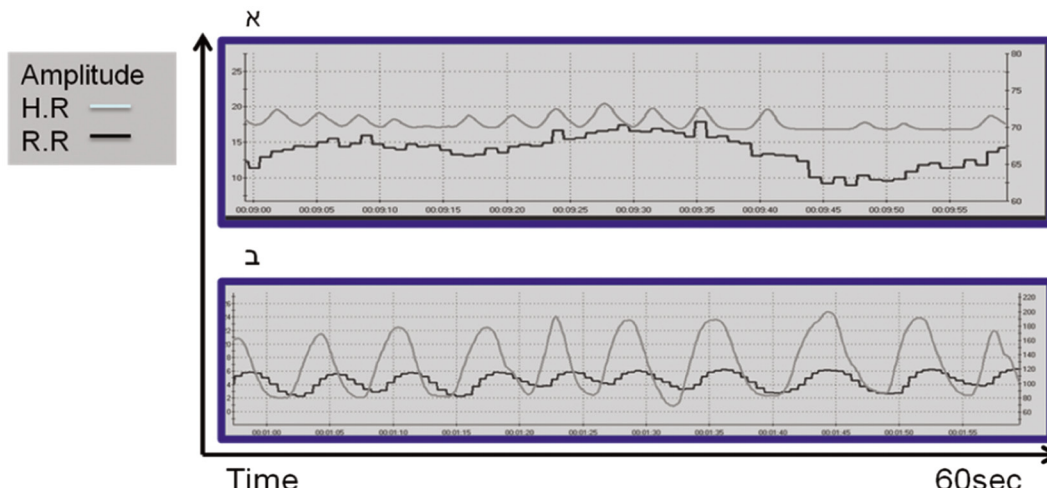
קצב הלב ו-HRV נמצאו כסמנים למצבי חולי וסיכון לתמותה ממחלות קרדיווסקולריות ונירולוגיות שונות,^{5,6} או בניסוח חיובי יותר, וכפי שתואר לעיל, שונות קצב לב גבוהה יותר מעידה על גמישות ויכולת הסתגלות טובה יותר של המערכת האוטונומית לשינויים המתרחשים בתוך הגוף או בסביבתו החיצונית. HRV נמנה עם מדדי שונות ביולוגיים אשר השימוש בהם הולך ומתרחב ככלים אבחוניים, טיפוליים ומחקריים (לסקירה בנושא מדדים ביולוגיים ראה⁹).

השימוש במדד ה-HRV נעשה בעיקר במסגרות מחקריות, במגוון רחב של תחומים. לחלק ניכר מתחומי מחקר אלה עשויות להיות השלכות מעשיות על האבחון והטיפול הפיזיותרפי. בתחום האימון והספורט יש לא מעט ממצאים,¹ ששילובם בטיפולי הפיזיותרפיה עשוי לתרום לטיפול והוא אף מתבקש. למשל נמצא, שכאשר מודדים HRV שתיים

בדו-תחמוצת הפחמן. נוסף על כך, מתקיימת גם מערכת יחסי גומלין בין לחץ הדם לבין הדופק. כאשר לחץ הדם עולה, הברורפלקס - המגורה על ידי הרצפטורים הרגישים למתיחה ב-Aorta וב-Artery Carotid - גורם לקצב הלב לרדת. קצב הלב הנמוך - שמשמעו הוא הקטנת נפח הדם במערכת כלי הדם בגוף - גורם ללחץ הדם לרדת. ההפך מתרחש כאשר לחץ הדם יורד.¹⁷

ניתן ללמוד סוגי נשימות שונים באמצעים שונים. נתרכז בשיטת הביופידבק ונזכיר גם אמצעים פשוטים מאוד לתרגול הנשימה. שיטת הטיפול בביופידבק מאפשרת ללמוד טכניקות של נשימה כדי להשפיע על המערכת האוטונומית- הלבבית בעיקר באמצעות הזרוע הפרה - סימפטטית. נוסף על כך, הביופידבק מהווה כלי יעיל להגברת המודעות של המטופל לתגובות הפיזיולוגיות שלו, כמו למשל קצב הנשימה או קצב הלב, ומסייע להבנת התהליכים הרגשיים המקבילים להן.¹⁸ למשל, נמצא ששליטה בנשימה עמוקה ואיטית יכולה להיות קשורה בוויסות מצבי מתח מנטלי ופיזי (mental and physical tension state) וניטור הנשימה יכול לספק אינדיקטור לעוררות פיזיולוגית שנגרמת כתוצאה ממצבי מתח של המתרגל.¹⁹

שונים. בעזרת לימוד הנשימה המודעת ניתן לגרום לשינויים לא רק במערכת הנשימה עצמה אלא אף להשפיע על תפקודים נוספים במערכות שונות המווסתות על-ידי המערכת האוטונומית. הנשימה, באמצעות גירוי ה-node sinoatrial, משפיעה על תנודת קצב הלב, כאשר שאיפה מגבירה את קצב הלב ואילו נשיפה מאיטה את קצב הלב. תופעה זו מכונה (RSA, Arrhythmia Sinus Respiratory) ראה איור 1. תנודות בקצב הלב הקשורות למערכת הנשימתית מתרחשות בדרך כלל בתדירות של 0.15-0.4 Hz (קצב של 9-24 נשימות בדקה), אך קיימת גם תנודה בעלת טווח רחב יותר בתדירות של 0.04-0.15 Hz (קצב של 3-9 נשימות בדקה). בקצב הנשימה האופייני למנוחה לא מתקיים סנכרון בין תדר הנשימה ותדר הדופק כפי שניתן לראות לדוגמה באיור 1א. על מנת להגיע לסנכרון של תדרי הנשימה והדופק (קוהרנטיות) על המתרגל לנשום בקצב איטי המגרה את הברורפלקס (baroreflex). ניתן להבחין במתאם בפאזה שבין עליית הנשימה לעליית הדופק במרחב הזמן, ראה איור 1ב. גירוי מתמשך על-ידי תרגול יום-יומי במשך שלושה חודשים מאמן את הברורפלקסורים, ובכך משפר את יעילות תפקודם.¹⁸ ל-RSA נודעת חשיבות בתהליכי ויסות, למשל במעבר יעיל של גזים באלבאולי, כך שהדופק גבוה ביותר כאשר הריאות עשירות בחמצן, והדופק נמוך ביותר כאשר הריאות עשירות



איור 1

א. דוגמה להשתנות קצב לב בלתי אחידה, ניתן להבחין בכך שאין קוהרנטיות בין קצב הנשימה והדופק.

ב. דוגמה לשונות קצב לב גבוהה הנמצאת בקוהרנטיות עם קצב נשימה קצוב ואיטי. נשימות קצובות ואיטיות אשר מייצרות שונות גדולה משקפת מצב בריאות טוב.

H.R Heart rate
R.R Respiration rate

(למשל, בלון באזור הסרעפת), ולמקסם את האמפליטודה של הנשימות וקצב הלב תוך כדי ליווי המשוב המופיע על מסך הביופידבק.²⁰ על המטופל לבצע שיעורי בית ולתרגל נשימות במשך 20 דקות כל יום (רצוי לבצע את התרגול כמה פעמים ביום ולא ברצף אחד). האימון בנשימות עמוקות וקצובות מאפשר להגיע למצב של קוהרנטיות,²¹⁽¹³⁾ כלומר, התאמת קצב הלב לקצב הנשימה והגדלת מדדי השונות הביולוגית של קצב הלב. תכנית הביופידבק מאפשרת למטופל לעקוב ברציפות אחר גרף קצב הלב שלו ובכך עוזרת לו לשפר את הלמידה.

אפשר ללמד נשימה באמצעים פשוטים מאוד. מומלץ להשתמש בידיים של המטפל שמונחות על אזור הבטן העליונה ולתת הוראות דומות לאלו שניתן למתרגל עם ביופידבק. אפשרות נוספת היא שהמטופל עצמו יניח את ידיו כך שיד אחת מונחת על אזור החזה העליון והיד השנייה מונחת על הבטן העליונה במטרה לחוש את ההתרחבות של אזור הסרעפת בעוד שבית החזה העליון לא יתרחב. למטופלים שמתקשים מאוד במיקוד הנשימה הסרעפתית ניתן לשים משקולת על אזור הבטן העליונה ולבקש מהמטופל לנשום לאזור זה ולהרים את המשקולת. כמו כן גם כאן רצוי מאוד להיעזר בדמיון של המטופל ולשלב בין הטכניקות האלה.

סיכום וכיוונים עתידיים

מתוך הספרות עולה שמדד ה-HRV הוכח כסמן למצבי בריאות וחולי וניתן להשפיע על שונות קצב הלב באמצעים שונים. ניתן לשלב נשימות איטיות קצובות כדי להשפיע על המערכת האוטונומית ולגרות את הזרוע הפרה-סימפטטית הן באמצעות מכשיר הביופידבק והן באמצעים פשוטים ולא יקרים, בקרב מגוון קבוצות מטופלים ה כגון שבץ, כאב כרוני, כן בטיפול נשימתי, באימון גופני וספורט. למרות זאת, בתחומי הפיזיותרפיה עדיין אין אנו בודקים את מדד ה-HRV באופן מקיף, ומשלבים בטיפולים רק מעט מן הידע שמצטבר על שונות קצב הלב. יש מקום לקדם מחקרים העושים שימוש במדד ה-HRV כסמן ולבחון כיצד מניפולציה של המערכת האוטונומית (באמצעות תרגול או נשימה) עשויים להשפיע על תוצאות התערבות בהקשר של למידה מוטורית, ספורט, שיקום, ויסות עומסי אימון בצבא ובכאב כרוני, כלומר, לשלב את הידע שהצטבר בנוגע למערכת האוטונומית-הלבבית בתחומי העיסוק של מקצוע הפיזיותרפיה.

מכשיר הביופידבק מנטר את התפקודים הפיזיולוגיים המתרחשים בגופו של המתרגל בעזרת חיישנים הצמודים אליו וקולטים את המידע שלאחר מכן מעובד ומוצג על צג המחשב באופן גרפי. המידע הזה משמש כמשוב הניתן למתרגל ולמטפל באופן רצוף, בזמן אמתי והוא נוח לקליטה. המשוב הניתן למתרגל מאפשר לו לבצע תהליך למידה הדרגתי להשגת המטרה של ויסות המערכת האוטונומית.

למכשיר הביופידבק יש כמה סוגי חיישנים. נתאר כאן את מד הנשימה ומד קצב הלב.

מד הנשימה - כולל חגורה גמישה עם חיישן רגיש למתיחה. חגורה מונחת כך שהיא מקיפה את הגוף באזור הסרעפת ומוסרת מידע על קצב הנשימה וגם על אמפליטודת הנשימה שמבטאת את גודל ההתרחבות והצמצום של היקף בית החזה במהלך שאיפה ונשיפה, בהתאמה. מקובל להשתמש בחגורת נשימה ללימוד נשימה סרעפתית. ניתן להשתמש בשתי חגורות נשימה כאשר חגורה אחת תקיף את בית החזה העליון והשנייה תהיה באזור הסרעפת. המטופל יתבקש לנשום נשימות סרעפתיות ובאמצעותן ליצור על המסך אמפליטודה גדולה באמצעות החגורה התחתונה (סרעפת) ושטוחה בחגורה הגבוהה (בית החזה).

מד קצב הלב - כולל חיישן שמונח על אצבע 2 אשר קולט את זרימת הדם באצבע, מעבד נתונים ומציג אותם במספרים ובאופן גרפי תוך כדי ניטור רצוף של קצב הלב. מקובל לעקוב אחר מדד הנשימה ומדד קצב הלב בו-זמנית כי שני המדדים מייצגים את המערכת לב-ריאה. ההוראות שניתן למטופל הן: שכב או שב בנוחות, הנח את ירך על הבטן העליונה (אזור הסרעפת), תתרכז בנשימות ותתחיל להכניס אוויר לאזור הסרעפת או הבטן העליונה. אתה יכול להרגיש כאילו יש שם בלון שצריך למלא אותו באוויר, ולאחר מכן רוקן את הבלון עד הסוף. חזור על זה מספר פעמים. לאחר שהמטופל למד לנשום נשימות סרעפתיות מלמדים אותו לבצע אותן בקצב של שש נשימות בדקה. ההוראות הן שהשאיפה תמשך כ-שלוש-ארבע שניות ולהאריך את משך זמן הנשיפה לשש שניות תוך כדי שמירה על נשימות עמוקות בקצב סדיר. השאיפה מגרה את הטונוס הסימפטטי והנשיפה משפיעה על הזרוע הפרה-סימפטטית. חזרה על נשימות איטיות ועמוקות, תוך דגש על נשיפה ארוכה יותר, מעוררת את המערכת הפרה-סימפטטית וכדי לייעל את ההשפעה שלהן על הפחתת מתח יש ללוות את הנשיפה בתשומת לב עד סופה. אפשר גם להשתמש בדמיון

References

1. Makivić B, Nikić MD, Willis MS, Education P, Parovića B. Heart rate variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *J Ex Physiol*. 2013;16(3): 103-127.
2. Levy WC, Cerqueira MD, Harp GD, Johannessen K, Abrass IB, Schwartz RS, et al. Effect of endurance exercise training on heart rate variability at rest in healthy young and older men. *Am J Cardiol*. 1998 11/15;82(10):1236-41.
3. De Meersman RE. Heart rate variability and aerobic fitness. *Am Heart J*. 1993;125(3):726-31.
4. Katz-Leurer M, Zohar N, Boum A, Keren O. Monitoring changes in heart rate, as an indicator of the cardiovascular autonomic nervous function, among patients at the sub-acute phase post-brain damage during a physiotherapy session: A preliminary investigation. *Brain injury*. 2013;28(1):127-31.
5. Lombardi F. Clinical implications of present physiological understanding of HRV components. *Cardiac electrophysiology review*. 2002;6(3):245-9.
6. Thayer JF, Hansen AL, Saus-Rose E, Johnsen BH. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*. 2009;37(2):141-53.
7. Thayer JF, Lane RD. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2009;33(2):81-8.
8. Nava E, Landau D, Brody S, Linder L, Schächinger H. Mental relaxation improves long-term incidental visual memory. *Neurobiol Learn Mem*. 2004;81(3):167-71.
9. Harbourne RT, Stergiou N. Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Phys Ther*. 2009 Mar;89(3):267-82.
10. Moravec CS, McKee MG. Psychophysiological remodeling of the failing human heart. *Biofeedback*. 2013;41(1):7-12.
11. Parati G, Saul JP, Di Rienzo M, Mancia G. Spectral analysis of blood pressure and heart rate variability in evaluating cardiovascular regulation. A critical appraisal. *Hypertension*. 1995 Jun;25(6):1276-86.
12. Gevirtz R. The promise of heart rate variability biofeedback: evidence-based applications. *Biofeedback*. 2013;41(3):110-20.
13. Tiller WA. Cardiac coherence: A new, noninvasive measure of autonomic nervous system order.

The Autonomic Cardiovascular Control System in Physical Therapy Treatments: Heart Rate Variability with and without Biofeedback

Gadi Bartur,^{1,2} Sara Peleg-Shani¹

¹ Physical Therapy Department "Reuth" Rehabilitation Hospital

² Rehabilitative psychobiology Laboratory, "Reuth" Research and Development Institute

Background: The autonomic nervous system controls and regulates proper functioning of all the vital organs of the body. The functioning of the cardiovascular control system is commonly assessed non-invasively, by measuring Heart Rate Variability (HRV), during rest and activity. Autonomic instability presenting with signs of increased sympathetic tone is a common phenomenon following stroke, COPD, and chronic pain.

Aim: To propose the use of the HRV measure in physical therapy research and practice.

Methods: A non-systematic search of the professional and scientific literature for studies that used HRV to assess the cardiovascular control system

Results: The use of HRV to assess health and disease is well documented in the scientific literature. HRV can be influenced through physical training or paced breathing exercises. The autonomic cardiovascular system has been found to play a major role in relation to pain, cognitive functions, physical training, and physical and emotional resilience.

Conclusions: The abundant research documenting ways to influence the cardiovascular system calls for the incorporation of these methods into the field of physical therapy research and practice for the treatment of stroke, chronic pain, COPD, as well as for healthful practice of exercise and sports.

Keywords: Heart Rate Variability, Cardiovascular Control System, Biofeedback, Paced Breathing.