



---

## נושא מרכזי: תנועה ותהליכי שיקום

### הכושר הגופני של הנכים המשתמשים בכיסא גלגלים: היבטים פיזיולוגיים

ישעיהו הוצלר

#### מטרת המאמר

משנות ה-60 החלו חוקרים במדינות שונות לייחס חשיבות לבדיקת האפיונים הפיזיולוגיים בקרב הנכים המשתמשים בכיסא גלגלים. המחקר מאז, עוסק בעיקר בנושאים ובתחומים האלה:

- ★ **העומס הפיזיולוגי הנגרם עקב הניידות בכיסא גלגלים**
- ★ **הכושר הגופני של הנכים, המשתמשים בכיסא גלגלים לניידותם בהשוואה לאוכלוסייה הנורמטיבית**
- ★ **השפעת תכניות של אימון גופני על כושרם הגופני של המשתמשים בכיסא גלגלים.**

על-פי הערכות בלתי רשמיות ישנם בישראל אלפי נכים בגיל העבודה ובגיל בית-הספר, המשתמשים בקביעות בכיסא גלגלים לניידותם ולפעילויותיהם השונות. מטרתו של המאמר הזה היא לסקור את ממצאי המחקר העדכניים בתחומים שצוינו לעיל, ואת משמעותם לבריאותה ולחוסנה התפקודי של אוכלוסייה זו.

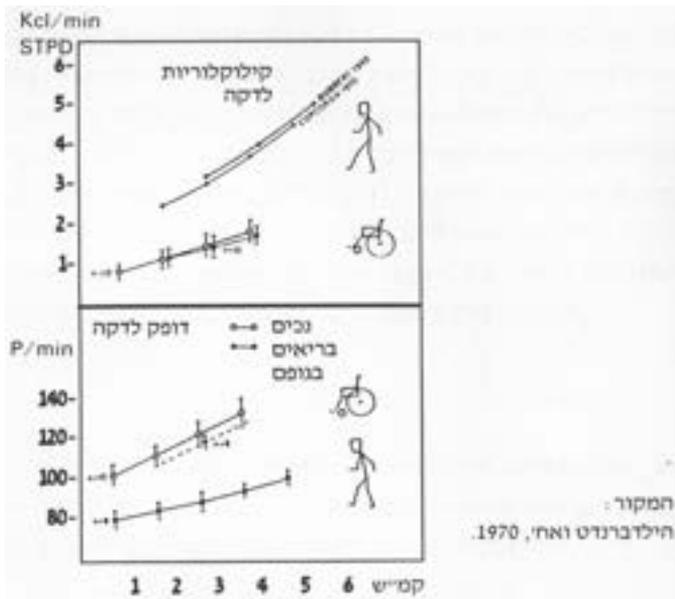
#### העומס הפיזיולוגי

שורה של מחקרים נועדו לאפיין את העומס הפיזיולוגי של הניידות בכיסא גלגלים. במקצת המחקרים, שהתמקדו בנושא זה, נעשתה השוואה בין תנועה בכיסא גלגלים ובין ניידות בהליכה. במחקרים אחרים נבדקו השפעות המאפיינים השונים של כיסא

הגלגלים על העומס הפיזיולוגי הכרוך בהנעתו, או ההשפעה של גורמים סביבתיים על עומס זה. הנתונים הפיזיולוגיים התלויים, כגון: דופק, צריכת החמצן המרבית (להלן: צח"מ), אוורור הריאות, הספק ועוד, נבחנו על-פי רוב ביחס למשתנים הבלתי תלויים של האוכלוסייה הנבדקת (הגיל, המין, סוג הנכות, רמת האימון הגופני). להלן פירוט הממצאים העיקריים:

### השוואה בין הניידות בכיסא גלגלים ובין הניידות בהליכה

במחקרים מוקדמים (פייצר, פרייברגר ורייט, 1964; הילדברנדט ואח', 1970), נמצא, שבמהירויות עד 4 קמ"ש בתנאים של מישור או של עלייה קלה, פחותה העלות האנרגטית של הנעת כיסא הגלגלים מזו של הליכה בתנאים דומים. ממצא זה מוצג באיור 1. על-פי סטובי (1971), מגיע ההספק הממוצע של הנעת כיסא גלגלים במהירות 3 – 5 קמ"ש לכדי  $43.5 \pm 5$  וואט.



איור 1:

העלות האנרגטית (בקילוקלוריות) והדופק בעת הנעת כיסא גלגלים בדקה הרביעית לביצוע, לעומת העלות האנרגטית והדופק בזמן ההליכה

מאיור 1 ניתן ללמוד, כי הדופק הממוצע בעת הנעת כיסא גלגלים גבוה מהדופק הממוצע אצל אנשים הצועדים ברגליהם. חוקרים אחדים השוו בין הליכה ובין הנעת כיסא גלגלים אצל **קטועי גפיים מבוגרים** (דאבאו ואח', 1983), ואצל **ילדים לקויי הליכה** (ויליאמס ואנדרסון, 1983). בשני המחקרים נמצא, שבתנאי מגבלה אלו, ההנעה בכיסא גלגלים הינה חסכונית יותר מבחינה אנרגטית. עובדה זו מצביעה על יתרון כיסא הגלגלים מבחינת הנוחות למשתמש, אך גם על חסרונו בתחום אימון מערכת הלב-ריאה.

### רמת המאמץ של פעילויות שונות בכיסא גלגלים

מספר חוקרים (ינסן ואח', 1991; ילטנס ופוקה, 1979; ג'ארביס ורולף, 1982), בדקו את רמת הדופק במהלך ביצוע פעילויות יומיומיות בכיסא גלגלים, ומצאו שאך לעיתים נדירות עולה הדופק באופן משמעותי מעל 70–80 פעימות לדקה. חוקרים אחרים (קוטס, 1986; אסיאמה ואח', 1985; בורק ואח', 1985; דל מונטה ואח', 1982; הולמן ואח', 1975), בדקו את הדופק במשך ביצוע פעילויות ספורטיביות שונות בכיסא גלגלים. מן המחקרים האלה עולה, כי מרוצים מעלים את הדופק לרמה הגבוהה ביותר: 170–180 פעימות לדקה (להלן: פ"ד). כדור סל מעלה את הדופק לממוצע של 140–150 פ"ד, ואילו משחק הטניס והראקטבול לממוצע של 120–130 פ"ד. פעילויות אחרות, כגון: טניס-שולחן וירי בחץ וקשת לא התגלו כתורמות לשיפור תפקוד מערכת הלב-ריאה, שכן תרומתם להעלאת הדופק מזערית.

מרבית המחקרים, הנערכים לאחרונה בתחום זה, מתרכזים בהסתגלותם של המשתמשים בכיסא גלגלים למרוצים למרחקים ארוכים. מהירויות הנסיעה בכיסא גלגלים יחסית למשך המאמץ בהשוואה לרצים (גברים), מוצגות באיור 2.



איור 2:

מהירויות תנועה יחסית למרחק ולמשך התנועה, בהנעת כיסא גלגלים ובריצה – גברים (מעודכן לספטמבר, 1991)

בעוד הרצים מאבדים 40% ממהירותם המרבית במרחקים של 1500 מטר ומעלה, יחסית למהירותם המרבית ב-100 מ', הרי שהספורטאים בכיסא גלגלים מאבדים רק כ-10% ממהירות המרבית במרחק זה, כשמשך זמן הריצה זהה: כ-3.30 דקות. אחת ההשערות, שהועלו להסבר תופעה זו, מתייחסת לקושי הגדל והולך להתגבר על גורמי החיכוך של הגלגלים בקרקע ועל חיכוך האוויר (drag), אשר גדלים בריבוע, ככל שמהירות הנסיעה גדלה (קוטס ושוץ, 1988). הסבר אפשרי נוסף הוא שהמסה השרירית, הזמינה למאמץ, קטנה יחסית ולכן, היכולת השרירית המקומית היא הגורם המגביל גם במאמצים ממושכים. לפיכך, ניתן להניח, שכדי להגיע להישגים מרביים בהנעה ממושכת של כיסא גלגלים, יהיה צורך להשתמש במקורות אנרגיה אנאירוביים, יותר מאשר בריצה.

"בתנועה", חוברת מס' 3, תשנ"ב - 1992

סברה זו מקבלת חיזוק ממספר מחקרים. באחד מהם נבדקו נתונים פיזיולוגיים של ספורטאים, המבצעים מאמץ דמוי מרתון (קרוז ואח', 1982). במחקר זה הושוו זוגות של ספורטאים: ארבעה רצים וארבעה נכים המשתמשים בכיסא גלגלים. הממצאים גילו, כי במהלך 10 דקות של נסיעה במאמץ בקצב של מרתון, פעלו הספורטאים בכיסא הגלגלים ברמות מאמץ של 90% ומעלה מהצח"מ ( $x = 93.6$ ) ומהדופק ( $x = 96.3$ ), בעוד רצי המרתון השתמשו בממוצע ב-77.9% מהצח"מ וב-84.5% מהדופק המרבי. רישומי הדופק במשך מרוצי חצי מרתון ובמשך מרתון בכיסא גלגלים מאשרים ממצאים אלה במידה רבה (אסיאמה ואח', 1985). במחקרים, שבהם נבדקו ביופסיות שריר של ספורטאים בכיסא גלגלים (טש וקארלסון, 1982; טיילור ואח', 1979), נמצאה היפרטרופיה (hypertrophy) רבה יותר בקרב **סיבי השריר המהירים** (FT). מאשר בקרב **סיבי השריר האיטיים** (ST). במחקר אחר (רומרט ולסר, 1984), נבדקה הפעילות החשמלית של השרירים השונים, המשתתפים בהנעת כיסא גלגלים במהלך הנעה ממושכת (במשך שעה) על-גבי מסילה נעה. הממצאים במחקר זה העידו על כך, כי ההתעייפות השרירית הינה, ככל הנראה, הגורם המגביל מאמץ מתמשך, ולא מערכת הלב-ריאה. זאת, מאחר שהשרירים, שפעילותם החשמלית היתה ניכרת בתחילת הפעילות, היו פחות משמעותיים בסופה, ולחילופין לקראת סוף המאמץ נרשמה פעילות חשמלית מוגברת של השרירים, שלא היו פעילים בתחילת המאמץ.

### השפעת המבנה של כיסא הגלגלים על העומס הפיזיולוגי הכרוך בהנעתו

**סוג מערכת ההנעה.** חוקרים אחדים בדקו את הנעת כיסא הגלגלים באמצעות **ידיות** (levers), או בעזרת **אופני יד** (armcrank), לעומת השיטה הקונבנציונלית של הנעה באמצעות חישוקים. במרבית המחקרים נמצאו עדויות ליתרון פיזיולוגי ניכר בהנעת ידידות או אופני יד, שהתבטא בהספק רב יותר, ביעילות מיכנית גבוהה יותר, ובצריכת חמצן נמוכה יותר באותה המהירות (רומרט ולסר, 1984; סמית ואח', 1983; גלסר ואח', 1980). מסיבה זו פותחו בארה"ב בשנים האחרונות אופני יד פריקים, שניתן להתקנם על כיסא גלגלים רגיל.

**מיקום ציר הגלגלים ביחס למושב.** גם בכיסא הגלגלים הקונבנציונלי קיימות אפשרויות התאמה רבות, ועל כן יש לבחור את הכדאיות שביניהן. במחקרים שבהם נבדק המיקום של ציר הגלגלים ביחס למושב (מייז ואח', 1989; ברובייקר, 1984a;

רומרט ולטר, 1984; גארביס ורולף, 1982), נמצא, כי מיקום בקדמת הכיסא ובחלקו העליון, מניב בדרך כלל את התוצאות הטובות ביותר.

**גודל החישוקים המניעים וציפויים.** במחקרים אחדים נבדקו ההשפעה של גודל החישוקים המניעים ביחס לגודל הגלגלים, וההשפעה של החומר, שממנו הם עשוים, על המאמץ הכרוך בהנעתם. הממצאים בסוגיה זו מלמדים על כך, כי חישוקי הנעה קטנים מגבירים את המאמץ הכרוך בהנעת כיסא הגלגלים, אך גם את החספק (ברובייקר, 1984b). כן נמצא, כי בהנעת כיסא גלגלים קונבנציונלי רצוי להשתמש בתומרים רכים לציפוי החישוקים, שכן אלה מאפשרים יחס הנעה/מאמץ יעיל ביותר (רומרט ולטר, 1984). הממצא האחרון רלבנטי בייחוד לתפקודם של נפגעים בגפיים העליונות (קואדראפגים).

**השפעת גורמים סביבתיים על הנעת כיסא גלגלים.** במחקרים אחדים (למשל: סמית ואח', 1983; גליזר וקולינס, 1981; וולף, וטרס והילסופ, 1977), נבדקו ההבדלים במידת המאמץ הנדרשת בהנעת כיסא גלגלים על גבי משטחים שונים. ממחקר זה התברר, כי נדרשה תוספת מאמץ עד 40% בצח"מ ובאוורור הריאות, ושל 20% בדופק המרבי, להנעת כיסא גלגלים על גבי שטיח מקיר לקיר, לעומת הנעתו על גבי משטח חלק. ממצא זה חשוב במיוחד לעיצוב הסביבתי של המתקנים המיועדים לנגישות של המשתמשים בכיסאות גלגלים. מכאן ניתן להקיש גם בדבר סוג המשטח הרצוי לפעילות הספורטיבית של המשתמשים בכיסא גלגלים, שכן מגרש כדור סל לדוגמה, שרצפתו עשויה פי.וי.סי. רך, עלולה לגרום לתוספת ניכרת בכמות הפציעות של הרקמה הרכה בכתף, ובחזרתן (הוברינגס ופרשטאפן, 1984).

במחקר אחר (ברובייקר, 1984c), נבדקה מידת ההשפעה של משטחים בעלי שיפוע צידי, המיועד לסייע בניקוז, על המאמץ בהנעת כיסא גלגלים. במחקר זה נמצא, כי מידת המאמץ של המשתמש גדולה בשיעור ניכר, 50% מההספק, 25% – 35 מהצח"מ ו-15% מהדופק, על גבי משטחים אלה מאשר על משטחים מישוריים. כן התברר במחקר זה, כי בכיסאות גלגלים קלי משקל (ספורטיביים) קל יותר לתמרן כדי להתגבר על הסטייה הנוצרת בשל שיפוע המשטח.

## רמת הכושר הגופני

קבוצת מחקרים אחרת בוחנת את רמת הכושר הגופני בקרב נכים המשתמשים בכיסא גלגלים. נושא זה הינו אחד המרכזיים בתחומי המחקר הפיזיולוגי של פגועי הגפיים התחתונות, אשר אינם יכולים להיבדק באמצעים הנפוצים: אופניים ארגומטריות, או מסילה נעה. עד עתה התפרסמו כמה עשרות מחקרים, שבהם נבדקו נתוני הכושר הגופני של הנכים, המשתמשים בכיסא גלגלים, בחשוואה לאוכלוסיה שאיננה סובלת מנכות. נערכו גם נסיונות שונים למיין את דרגות הכושר הגופני של המשתמשים בכיסא גלגלים לפי מין, דרגת הנכות ורמת המעורבות בפעילות גופנית (ר' למשל: וויקס ואח', 1983; קופסקי ואח', 1983).

### האמצעים להערכה פיזיולוגית של המשתמשים בכיסאות גלגלים

האמצעים, העומדים לרשות החוקרים לשם בדיקת הכושר הגופני של המשתמשים בכיסא גלגלים, שאינם מסוגלים ללכת (או לרוץ) על מסילה נעה, או לרכב על אופניים ארגומטריות, הם אלה:

- ★ אופני יד (Armcranking/Arm cycling device)
- ★ מסילה נעה רחבה (לפחות 70 – 80 ס"מ) בעלת התקן עיגון למניעת הסטייה של כיסא הגלגלים מעל גבי הסרט.
- ★ מתקן הדמייה קבוע (סימולטור) בעל גלגלי הנעה ובעל חישובים, המחובר למערכת מדידה מיכנית או אלקטרומגנטית.
- ★ מתקן גלילים (rollier device). שעליו ניתן לקבע כיסא גלגלים אישי ולדמות נסיעה. מתקן זה פופולרי בקרב ספורטאים, לשימוש ביתי.

באמצעות המתקנים הללו, ניתן למדוד את כל המשתנים, שמקובל למדוד גם באוכלוסיה רגילה, קרי: הדופק, ההספק, הצח"מ, אורזר הריאות ועוד.

### התבחינים לקביעת הכושר הגופני של המשתמשים בכיסאות גלגלים

התבחינים לבדיקת נתוני הכושר האווירני (אירובי). לאחרונה, ערכו שפרד (1990) וכן וולס והוקר (1990), סקירות ספרותיות נרחבות, הכוללות טבלאות, המפרטות משתנים פיזיולוגיים של הכושר האווירני בחתכים שונים. בסקירות האלה, שהינן

העדכניות ביותר, מתוארים 37 מחקרים, שמרביתם בדקו מדגמים קטנים (בני עד 20 נבדקים). זאת הסיבה לכך שלא היה ניתן לקבוע באמצעותם נורמות בדוקות, תקפות ומהימנות, לקביעת נתוני הכושר הגופני של המשתמש בכיסא גלגלים בהתאם למינו, לגילו ולדרגת הנכות שלו. ברם, על יסוד הסקירות של שפרד (1990) ושל וולס והוקר (1990), ניתן היה להכין **בסיס נתונים**, שבאמצעותו ניתן להשוות בין נתוני המדגמים השונים, לנתח את הממצאים ולהתייחס למאפיינים, כגון: סוג הנכות, דרגת חומרת הפגיעה בחוט השדרה, רמת הפעילות הגופנית, סוג המתקן הארגומטרי וכיו"ב, של האוכלוסיות שנבדקו. פלט נבחר מתוך בסיס נתונים זה מוצג בלוח 1.

לוח 1

סקירת מחקרים: תגובות פיזיולוגיות של נכים ושל לא-נכים, בדיקת מאמץ ידיים

שם החוקר	שנה	אובלו- סיה	נכות	מספר הנבדקים	סוג המאמץ	צח"מ (ליטר/ דקה)	צח"מ (מל"קג' דקה)	VE max (ליטר/ דקה)	VE/ VO <sub>2</sub> (%)	דופק (מעי' דק')	הספק (וואט)
Hjeltnes	1977	NA	T2-T12	9	ACE	1.47				179	100-120
Wicks et al.	1983	NA	C7-L1	2	ACE	1.63				183	
Ward & Fraser	1984	NA	C5-T4	31	ACE	11.1				123	21.5
Jackson et al.	1981	NA	Mixed	5	ACE		23.4			161	48.7
Kofsky et al.	1983	NA	Mixed	18	ACE	1.63					71.1
Hjeltnes	1980	NA	C5-C8	8	ACE		14.5				42.0
Jackson et al.	1981	NA	Mixed	18	ACE		26.5			171	72.3
Glaser et al.	1980	NA	Mixed	6	ACE	1.33		58.8			79.4
Zwiren & Bar-or	1975	NA	T7-L2	(9)	ACE	1.38	19.6	56.5	39.1	174	
Goswami et al.	1984	NA	Polio	7	ACE	1.15	29.2			180	
Marincek & Valencic	1978	NA	T3-T12	3	ACE	1.78				180	100.0
Hjeltnes	1984	NA	T7-L1	14	ACE		28.2				123.0
Taylor	1981	NA	Mixed	(5)	ACE	1.58	27.4			170	83.3

מקרא: Amp = קטועים  
 Para = גרפלים  
 C3-C8 = פגיעה צווארית  
 T1-T12 = פגיעה חזית  
 L1-L4 = פגיעה מותנית  
 Mixed = נכויות שונות  
 ACE = ארגומטר ידיים  
 VE = אזור ריאה  
 VE/VO<sub>2</sub> = יעילות נשימה  
 NA = לא פעיל

יבתנועה, חוברת מס' 3, תשנ"ב - 1992

אחד הממצאים במחקר, שנערך לאחרונה (הוצלר, 1991) באמצעות בסיס נתונים זה, הוא, כי ההספק המרבי הממוצע של שחקני נבחרת ישראל בכדורסל על כיסאות גלגלים ( $n=11$ ), אשר נבדקו באמצעות אופני-יד ארגומטריות ( $127.5 \pm 23.4$  וואט =  $x$ ), איננו נופל מההספקים, שנמדדו באותו האמצעי בקרב ספורטאי העילית במחקרים אחרים. לעומת זאת, נמצא בתצפיות, שעדיין לא התפרסמו, כי ההספק המרבי הממוצע ( $78.7 \pm 19.3$  וואט =  $x$ ) של משותקים בשל פגיעה חזית ושל פגיעה מותנית, הפעילים בספורט בבית הלוחם בתל אביב ברמה בלתי תחרותית ( $n = 9$ ), שווה או אף נופל מהישגי המשותקים הבלתי פעילים, בעלי אפיוני פגיעה דומים, שנבדקו במחקרים מקבילים בחו"ל (השווה טבלה 1: בין 71 ל-123 וואט בממוצע).

העיון בבסיס הנתונים מגלה, כי במרבית המחקרים נמצאו הבדלים מובהקים לטובת הפעילים בספורט, ובעיקר לטובת אלה הפעילים באופן אינטנסיבי (ארבע פעמים בשבוע לפחות). התוצאות מושפעות גם **ממין הנבדקים** (גברים הם בדרך כלל בעלי כושר גבוה יותר מאשר נשים) ו**מדרגת הפגיעה**. בתחום זה נמצאו הבדלים מובהקים לטובת הנפגעים בגפיים התחתונות בלבד (פאראפליגים), לעומת הנפגעים גם בגפיהם העליונות (קואדראפליגים). בקרב הפאראפליגים כמעט לא נמצאו הבדלים, למעט קבוצת הנפגעים מחוסרי תפקוד שרירי הבטן (T6-T1), שנפלו במעט מהאחרים (קופסקי ואח', 1983; צווירן ובר-אור, 1975; האלמן ואח', 1975). במחקר אחד נעשה ניסיון להגיע לנורמות כושר גופני (קופסקי ואח', 1986). ניסוי זה נערך בעזרת מבחן חיזוי הצח"מ, שתקפותו בינונית ( $r = .67$ ), על גבי אופני-יד מתוצרת חברת מונארק. ההספק המושג בעזרת אופניים אלה, נמדד בדרגות של 25 וואט, המאפשרות לנבדקים בלתי מאומנים, שתי דרגות העמסה בלבד לפני שהם מפסיקים את המאמץ. לפיכך, כלי זה מתאים לחיזוי הצח"מ, רק באוכלוסיות מאומנות ביותר. במחקר אחר ניסו החוקרים לקבוע נורמות של כושר גופני בעזרת הישגים בנסיעה למרחק (במטרים) במשך 12 דקות ובעזרת נתוני הצח"מ, שנמדדו על גבי מתקן הדמייה של נסיעה בכיסא גלגלים (רודס ואח', 1981). ההשוואה בין מדדי הכושר הגופני, שנמצאו בשני המחקרים הללו מוצגת בלוח 2.

**לוח 2:**  
**מדדים של הכושר הגופני של הנכים, המשתמשים באופני-יד**  
**ומניעים כיסא גלגלים במשך 12 דקות**

דרגת הכושר	קופסקי ואח', 1986				רודס ואח', 1981
	צח"מ נשים	צח"מ גברים "ס"	צח"מ גברים ל"ס	צח"מ גברים ל"ס	מטר
	----- מיליליטר / ק"ג דקה -----				
חלש מאוד	5.4	17.2	10.5	12	999
נמוך	16.2-5.4	31.5-17.2	21.9-10.5	17 - 13	1399-1000
בינוני	27.1-16.3	45.9-31.6	33.4-22.0	28 - 18	1699-1400
טוב	38.0-27.2	60.3-46.0	44.9-35.5	35 - 29	1999-1700
מצטיין	38.0	60.3	44.9	35	2000

מקרא:  
 "ס" = ספורטאים ל"ס – לא ספורטאים.  
 צח"מ – צריכת חמצן מירבית.

בנתוני לוח 2 ניתן לראות כי למרות ההבדל באמצעי הבדיקה: אופני-יד לעומת מתקן הדמייה, ולמרות ההבדל באופן מדידת הצח"מ (ישירה מול חיזוי על-פי דופק מרבי), דומים למדי ההישגים של אוכלוסיית הגברים הלא ספורטאים בשני המחקרים. מכאן ניתן להסיק, ששני האמצעים מתאימים לבדיקת היכולת האירובית של בני אדם, שנפגעו בגפיים התחתונות. יחד עם זאת יש לזכור, כי כיום מקובל להעריך יכולת זו בערכים אבסולוטיים ולא בערכים יחסיים למשקל הגוף, שכן חוץ מאשר במשימות ייחודיות (מעברים מכיסא גלגלים, נסיעה בעלייה) מהווה משקל הגוף, בדרך כלל, משתנה זניח למאמץ הגופני של השימוש בכיסא גלגלים (שפרד, 1990; אסטרנד, 1984).

**התבחינים לקביעת הכושר הבלתי-אווירני (אנאירובי).** ישנם מעט מאד מחקרים שבהם היה ניסיון להעריך את רמת הכושר הגופני האנאירובי של נכים, המשתמשים בכיסא גלגלים. האמצעי הבלעדי ששימש למטרה זו היה **מבחן וינגייט 30 שניות**, המספק נתוני **הספק מרבי** בפרק זמן בן 5 שניות (PP), **הספק ממוצע** במשך כל המבחן (MP) ו**מדד התעייפות** (FI). המחושב על-פי היחס שבין ההספק המרבי ובין ההספק המזערי ליחידת זמן של 5 שניות במהלך המבחן.

בלוח 3 מפורטים הממצאים בעבודות, שהשתמשו באופני-יד, במתקני הדמייה או במתקני גלילים להנעת כיסא גלגלים.

"בתנועה", חוברת מס' 3, תשנ"ב - 1992

לוח 3:

ממצאי המחקרים (ערכים אמצעיים ובסוגריים סטיות התקן) אודות הכושר האנאירובי של המשתמשים בכיסא גלגלים, כפי שנמדד בגפיים העליונות

מרביות (מטר/שניה)	התנגדות (ניוטון)	מדד התעייפות (%)	הספק ממוצע (וואט)	הספק מרבי (וואט)	רמת פעילות	סוג נכות	מספר נבדקים	החוקר, השנה ומכשיר הבדיקה
6.93	12		68.3 (10.7)	108.9 (20.6)	ספי	פארא	9	Lees 1991
10.37	12-10		75.2 (25.4)	93.45 (20.8)	ספי	פארא	7	Lees & Arthur 1988 WERG
< 3	/10-0.25 קייג משקל גוף		42.4 (26.4)		לסייפ	קואדרא	9	Janssen et al. 1991 WERG
			78.5 (41.6)		לסייפ	פארא גבוה T6-T1	6	
			97.6 (33.8)		לסייפ	פארא נמוך	29	
3.34			89.2 (29.4)	101.0 (30.0)		לא נכים	6	Drexhage et al. 1990 WERG
3.13			122.2 (19.6)	131.2 (17.8)		לא נכים	6	
		10	137	143.33 (5.67)	ספי	פארא	3	Coutts & Stogryn 1987 WERG
			61.64 (16.21)	70.9 (15.1)	לסייפ	פארא	11	Hutzler 1986 WERG
	/0.30 קייג משקל גוף		190.78 (59.64)	212.94 (61.76)	ספי מתחילים	פארא		Bar-Or et al. 1976 AC
	/0.25 קייג משקל גוף	38.8 (8.9)	334.92 (55.99)	403.26 (67.08)	ספי מנוסים	פארא פוליו קטועים	12	Hutzler 1991 AC

מקרא: WERG = מתקן הדמייה גלילי  
 פארא = פאראפליגים  
 קואדרא = קואדראפליגים  
 AC = אופני-יד  
 ספי = ספורטאים  
 לסייפ = לא ספורטאים  
 $T_6 - T_1$  = שיתוק חזי חמור

עיון בלוח 3 מגלה הבדלים ניכרים בין ההספקים, שנמדדו באמצעות אופני-יד (מרבי =  $212 \pm 403$  וואט; ממוצע =  $190 \pm 335$  וואט) ובין ההספקים, שנמדדו במהלך הדמיית נסיעה בכיסא גלגלים (מרבי =  $70 \pm 143$  וואט; ממוצע =  $42 \pm 137$  וואט). לעומת זאת, הממצאים במבחנים, שבדקו משתנים אירוביים (צחי"מ), לא הראו הבדל מעין זה (השווה לוח 2). נהפוך הוא, במספר מחקרים נמצאו מתאמים גבוהים למדי ( $r = .72$ ) בין ההספקים ובין משתני המאמץ, שנמדדו באופני-יד ובמתקני הדמייה של נסיעה בכיסא גלגלים (מקונל ואחי, 1989; גלייזר ואחי, 1980).

כן יש לשים לב לכך, כי בעוד שבמבחן 30 השניות, העושה שימוש באופני-יד, קיימת הסכמה על עומס של 25-30 גר' לק"ג ממשקל גוף, הרי שבמתקני ההדמייה, יש לקבוע את ההתנגדות כפועל יוצא מהמהירות המרבית, שאליה שואפים להגיע. לאור מהירויות הנסיעה האופייניות נראה, כי רצוי להשתמש בהתנגדות, שתאפשר מהירויות מרביות של 3-4 מטר/שנייה (10-15 קמ"ש) למי שאינו ספורטאי מרוצים, או מהירויות של 6-7 מטר/שנייה (21-25 קמ"ש) לספורטאי מרוצים. מהנתונים בלוח 3 נראה, שמשקל של 10-15 ניוטון (0.25 - 0.30 ניוטון לכל ק"ג ממשקל הגוף) יתאים לשם כך, אך עדיין דרושים מחקרים נוספים לאישור הנחה זו. בעייה נוספת שעדיין דורשת עיון מעמיק היא תקפותם של תבחיני המאמץ השונים למשימות האחרות המתבצעות על-ידי נכים, המשתמשים בכיסא גלגלים לניידותם.

**תקפותם של תבחיני המאמץ למשתמשים בכיסאות גלגלים.** במחקר ראשון מסוגו ניסו בר-אור ועמיתיו (1976), לבדוק את תרומתם היחסית של המקורות האירוביים והאנאירוביים של האנרגיה לניידות בכיסא גלגלים. המחקר כלל מבחן צריכת חמצן מרבית (צחי"מ) ומבחן וינגייט ל-30 שניות, שנערכו באמצעות אופני-יד, ומבחן שדה, שנערך בכיסא גלגלים. במחקר נבדקו הפעולות: יציאה מרכב, סלאלום, מאוץ (ספרינט) וכניסה לרכב. נמצאו מתאמים גבוהים בין הצחי"מ במאמץ מרבי באופני-יד, בין משך הנסיעה לאורך כל המסלול ( $X = 188.2$  שניות;  $r = .91$ ) ובין משך ביצוע המאוץ ( $X = 48.1$  שניות;  $r = .92$ ). ההספק המרבי וההספק הממוצע במבחן האנאירובי היו במתאם פחות גבוה במקצת עם משך הכניסה לרכב ( $r = .72$ ) ועם היציאה מהרכב ( $r = .81$ ), שנמשכו פרקי זמן של קרוב לדקה.

מחקר נוסף נערך לאחרונה (הוצלר, בדפוס), במטרה לבחון את תקפות תבחיני המאמץ, הנערכים באמצעות אופני-יד, ביחס למבחני השדה השונים (הנעה במשך 6

דקות, סלאום - זריזות, שנמשכו כשתי דקות ומאוץ שנמשך כדקה). את המבחנים ביצעו שמונה שחקנים בכיסא גלגלים החברים בנבחרת ישראל. הממצאים במחקר זה גילו מתאמים נמוכים מאוד בין ההספקים בתבחיני המאמץ השונים באופני-יד (צחי"מ, מבחן וינגייט 30 שניות) ובין הביצועים בשדה ( $r = .064 - .238$ ). את ההבדלים בין המתאמים, שהתגלו במחקר של בר-אור ועמיתיו ובין המחקר של הוצלר (בדפוס), ניתן להסביר על-ידי ההבדלים הקיימים בין הנבדקים ברמת המיומנות, בסוג הכיסאות ובכושרם הגופני.

במחקר, שנערך על-ידי צמד חוקרים בריטיים (ליס וארתור, 1988), השתתפו תשעה ספורטאים. התגלו מתאמים גבוהים בין ההספקים המרביים והממוצעים במבחן וינגייט 30 שניות, שנערך על מתקן הדמייה לכיסאות גלגלים, לבין ההישגים במאוצים למרחק 100-400 מ' ( $r = .856 - .980$ ). ההשוואה בין מחקר זה למחקר הוצלר (בדפוס), מלמד על כך, כי בעוד הקשר בין ההישגים בשדה ובין ההספקים על-גבי מתקן ההדמייה היה גבוה, הרי שהקשר בין ההישגים בשדה ובין ההספקים באמצעות אופני-יד ארגומטריות היה נמוך. בעקבות הממצאים, שפורטו לעיל, ניתן להניח, כי תבחיני המאמץ לסוגיהם, הנערכים על מתקני הדמייה של נסיעה בכיסא גלגלים, יהיו תקפים יותר מהתבחינים, הנערכים באמצעות אופני-יד.

**המלצות קליניות.** בעוד הממצאים בעניין הכושר האנאירובי אינם מספקים עדיין תמונה מלאה, הרי שמהנתונים המוצגים בלוח 1 נראה נבירור, כי הכושר הגופני האירובי של המשתמשים בכיסא גלגלים, שאינם עוסקים בספורט, ירוד משל אוכלוסיה נורמטיבית שאיננה עוסקת בספורט (צווירן ובר-אור, 1975). נתון זה מאשר את ההערכות לגבי הסיכון הכרוך באי-ביצוע פעילות גופנית על-ידי בני-אדם בעלי פגיעות בגפיים התחתונות (ילטנס ופוקה, 1979; יוכיים ושטרקנדל, 1978). גם הממצאים הקליניים, שנאספו בארץ והתפרסמו לאחרונה, מעידים על כך כי נפגעים בגפיים התחתונות סובלים ממחלת לב איסכימית, מיתר לחץ דם ומסכרת, באופן משמעותי יותר מאשר אוכלוסיית הביקורת (יקותיאל ואחי, 1983). תופעות קליניות אלה נובעות, ככל הנראה, מן העובדה שהמשימות היומיומיות (ניידות במהירויות 4-6 קמ"ש), המתבצעות בעזרת כיסא גלגלים, דורשות מאמץ גופני אירובי פחות מזה הנדרש בחליכה (השווה איור 1 לעיל). לפיכך, דווקא באוכלוסיה זו חשוב להקפיד על ביצוע פעילות גופנית ספורטיבית, אשר עשויה לתרום למניעה או לפחות להפחתה בחומרתן של תופעות אלה.

## הכושר הגופני

קבוצת המחקרים השלישית, המוצגת בסקירה זו, עוסקת בשאלה, כיצד משתפרים אפיונים שונים של הכושר הגופני אצל נכים, המשתמשים בכיסא גלגלים, כתוצאה מתכניות של אימון גופני.

עקב הסיכונים הבריאותיים המתעוררים מפעילות גופנית מועטה, ממליצים מרבית אנשי המקצוע לנפגעי הגפיים התחתונות לעסוק בפעילות גופנית. סוגים שונים של פעילות גופנית, כגון: שימוש במתקן המדמה כיסא גלגלים, אופני-יד, שחייה, משחקי ספורט, התעמלות ואימון משקולות) ומגוון רחב של משכי אימון (מארבעה שבועות ועד לשנה) היוו נושא למחקרי אורך, שנערכו עם סוגי אוכלוסיות שונות (קואדראפליה, פאראפליה, שיתוק מוחין) בשלבים שונים של תהליך השיקום. בסקירות ספרותיות שהתפרסמו לאחרונה (שפארד, 1990; הופמן, 1986), מוצגים ממצאים מן המחקרים שנערכו בתחום זה, ובהם נתונים שונים על מידת ההצלחה של תכניות האימון.

פירוט נבחר של ממצאים אלה, מוצג בלוח 4.

כללית, מצביעים הממצאים המתוארים בלוח 4 על שיפור מובהק וניכר בסוף תקופת האימונים: **בהספק של העבודה הגופנית (20%-50%), בצח"מ (10%-40%) ובאווירורי הריאות (15%-35%)**. כן התגלו השפעות מהותיות על **הורדת אחוזי השומן בגוף, על שיפור בכוח השריר ועל גידול המסה השרירית**. עקב הפערים, שהוצגו בין אחוזי השיפור של הצח"מ ואווירורי הריאות (10%-35%) ובין הספק העבודה הגופנית (20%-50%), הועלתה הסברה, כי תרומתן העיקרית של תכניות האימון לשרירי פלג הגוף העליון תהיינה לאו דווקא בתחום התאמת מערכת הלב-ריאה, אלא בתחום ההתאמה המקומית למאמץ הגופני, קרי, שיפור הכוח והסבולת של השרירים. אפקט אימון זה הינו חשוב לכשעצמו, שכן הוא יתרום להקלת העומס הגופני בביצוע משימות יומיומיות, ומכאן, להגדלת העצמאות התפקודית (הופמן, 1986). כפועל יוצא מההתאמה המקומית מוסרות המגבלות על תרגול מערכת הלב-ריאה, וניתנת אפשרות להגיע, באמצעות אימון אינטנסיבי, להישגים משמעותיים בצריכת חמצן (בין 40-50 מיליליטר/ק"ג \* דקה). בלוח 4 מוצגים ממצאי המחקרים העוסקים בהשפעת האימון על שיפור כושרם הגופני של הנכים, הנעים בכיסא גלגלים. את ההבדלים בממצאים ניתן להסביר בכך שבמחקרים ישנה התייחסות לתכניות אימון, אשר התבצעו כל אחד **בשלב אחר** של השיקום.

לוח 4:

השפעת תכניות אימון על הכושר הגופני של המשתמשים בכיסא גלגלים

המחבר	סוג הפגיעה	מספר הנבדקים	סוג האימון	משך האימון (שבועות)	הספק מרבי % שינוי	צח"מ % שינוי	אונרוד ריאות % שינוי
Ekblom & Lundberg (1968)	פארא	7	הנעת כסי"ג והתעמלות	6	+ 21	לייש	-
Pollock et al. (1974)	ליינ פארא	11	אופני-יד	20	-	+ 37	+ 28
		8	אופני-יד	20	-	+ 19	+ 22
Nilsson, et al. (1975)	פארא	7	אופני-יד ומשקולות	7	+ 31	+ 11	-
Bar-Or, et al. (1976)		17	התעמלות ומשחקים	52		+ 8	לייש
		17	התעמלות ומשחקים	52		לייש	לייש
Hjeltnes (1980)	קואדרא	8	אופני-יד, משקולות ושחייה	12	+ 33	לייש	לייש
		14	אופני-יד, משקולות ושחייה	12	+ 50	+ 30	+ 18
Miles, et al. (1982)		8	הנעת כסי"ג באינטרבאט	8	+ 31	+ 26	+ 32
Di Carlo, et al. (1983)	קואדרא	4	אופני-יד	5	+ 55	+ 67	-
Ornstein, et al. (1983)	משולב	6	שחייה	8	-	לייש	-
Hjeltnes (1984)	קואדרא	7	אופני-יד	16	לייש	+ 24	לייש
		9	אופני-יד	16	+ 56	+ 32	+ 15
		23	אופני-יד	16	+ 46	+ 33	+ 11
		7	אופני-יד	16	+ 50	+ 26	+ 23

המקור: שפארד, 1990.

מקרא: כסי"ג = נסיעה על מתקן הדמייה ליינ = שיתוק מוחין  
 פארא = פאראפליגים שיימ = שיתוק מוחין  
 קואדרא = קואדראפליגים לייש = ללא שינוי

במחקרים, שבהם נבדקו משותקים בבית החולים (למשל: דיקארלו, סאפ וטיילור, 1983), נמצאו בדרך כלל הישגים משמעותיים יותר מאשר במחקרים, שבהם נבדקו משותקים שנה או יותר לאחר עזיבתם את מרכז השיקום (בר-אור ואחי, 1976). כן נראה, כי משותקים בפלג גופם התחתון בלבד (פאראפליגים) נהנים יותר מאפקט האימוץ מאשר נפגעים בכל ארבע הגפיים (קואדראפליגים) (השווה ילטנס, 1984; 1980).

## סיכום ומסקנות

במאמר זה נסקרו ממצאי מחקרים שונים, שעסקו בהיבטים הפיזיולוגיים של הכושר הגופני של הנכים המשתמשים בכיסא גלגלים לניידותם. ממצאים אלה סווגו על-פי תחומי עניין שונים:

- ★ השוואת הניידות בכיסא גלגלים לניידות בהליכה
- ★ רמת המאמץ הנדרשת לפעילויות שונות עם כיסא גלגלים
- ★ השפעת המבנה של כיסא הגלגלים על העומס הכרוך בהנעתו
- ★ השפעת הגורמים הסביבתיים על הנעת כיסא הגלגלים
- ★ אמצעים להערכה פיזיולוגית של המשתמשים בכיסא גלגלים
- ★ ממצאים העוסקים בתקפותם של תבחיני המאמץ השונים למשתמשים בכיסא גלגלים.

במסגרת הסקירה נכללו מספר ממצאים, שהתגלו במחקרים הנמצאים עדיין בדפוס, וכן ממצאים ממחקרים, שנערכו בעבר בארץ. השוואת ממצאים אלה לממצאי המחקרים שנערכו בחו"ל, (ר' לוח 1 ולוח 4) מגלה, כי בקרב הספורטאים שאינם ברמת נבחרת, יש מקום לחשש, כי השפעות פעילותם הספורטיבית אינן תורמות להעלאת כושרם הגופני. דבר זה מתבטא ברמת כושר גופני כללי נמוכה באופן יחסי לאוכלוסייה בלתי ספורטאית מקבילה בחו"ל, ובעובדה, שאימוץ ממושך בן 52 שבועות לא הביא לשיפור המקוה בכושרם הגופני האירובי של נפגעי חוט שדרה בישראל (בר-אור ואחי, 1976). לפיכך, נראה שאין די בזה למניעתם של גורמי הסיכון למחלת לב איסכמית בקרב אוכלוסייה זו.

מן הממצאים הללו ניתן להסיק, כי יש לעשות מאמץ לכוון את הפעילויות הספורטיביות של המשתמשים בכיסא גלגלים בארץ לפעילויות כאלה, שיתרמו באופן משמעותי לכושרם האירובי (נסיעה למרחקים ארוכים, אימון אירובי בחדר כושר, שחייה תחרותית). כן יש לרכז מאמצים לשיפור המעקב אחר כושרם האירובי והאנאירובי של המשתמשים בכיסא גלגלים, באמצעים שונים כמו שימוש בפרוטוקולים אחידים ותקפים למדידתם של האפיונים הפיזיולוגיים על גבי מתקני הדמייה של הנסיעה בכיסא גלגלים.

## רשימת המקורות

- Assayama, K., Nakamura, Y., Ogata, H., Hatada, K., Okuma, H. & Deguchi, Y. (1985). Physical fitness of paraplegics in full wheelchair marathon. *Paraplegia*, 23, 277-287.
- Astrand, P.O. (1984). Principles in ergometry and their implications in sports practice. *International Journal of Sports Medicine*, 5 (Supplement), 102-105.
- Bar-Or, O., Inbar, O. & Dotan, R. (1976). Proficiency, speed and endurance test for wheelchair bound. Paper presented at the International Seminar on Motor Learning in Physical Education and Sport, Netanya, Wingate Institute.
- Burke, E.J., Auchinachie, J.A., Hayden, R. & Loftin, J.M. (1985). Energy cost of wheelchair basketball. *The Physician and Sportmedicine*, 13 (3), 99-105.
- Brubaker, C.E. (1984a). Determination of the effect of seat position on propulsion performance. In W.G. Stamp & C. A. McLaurin (Eds.), *Wheelchair mobility: Research report of the UVA-REC* (4-6). Virginia: University of Virginia.
- Brubaker, C.E. (1984b). Determination of the effect of mechanical advantage on propulsion efficiency with handrims. In W.G. Stamp & C. A. McLaurin (Eds.), *Wheelchair mobility: Research report of the UVA-REC* (1-3). Virginia: University of Virginia.
- Brubaker, C. E. (1984c). Effect of lateral slope on wheelchair performance. In W. G. Stamp & C. A. McLaurin (Eds.), *Wheelchair mobility: Research report of the UVA-REC* (11-15). Virginia: University of Virginia.
- Coutts, K. J. (1986). Heart rate of participants in wheelchair sports (abstract). *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 11 (3), 10.
- Coutts, K. D. & Schutz, R. W. (1988). Analysis of wheelchair track performances. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 (2), 188-194.

- Crews, D., Wells, C. L., Burkett, L. & Mckeenan-Hopkins, V. (1982). A physiological profile of four wheelchair marathon racers. *The Physician and Sportsmedicine*, 10 (6), 134-143.
- Del monte, A., Maglio, A., Faina, M., Sardella, F., Guidi, G., Rabazzi, E., Lupo, S. & Leonardi, L. M. (1982). Cardiotelemetric and blood lactate investigations in paraplegic subjects during several sport activities. *Journal of Sports Medicine*, 22 (2), 172-184.
- DiCarlo, S. E., Supp, M. D. & Taylor, H. C. (1983). Effect of arm ergometry on physical work capacity of individuals with spinal cord injuries. *Physical Therapy*, 6, 1104-1107.
- Dubow, L. L., Witt, P. L., Kadaba, M. P., Reyes, R. & Cochran, V. (1983). Oxygen consumption of elderly persons with bilateral below knee amputations: Ambulation vs. wheelchair propulsion. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64 (6), 255-259.
- Drexhage, D., Veeger, H. E. J. & Van der Woude, L. H. V. (1990). Power production in a wheelchair sprint (In butch), *Bewegen & Hulpverlening*, 7 (2), 88-100.
- Eblom, B. & Lundberg, A. (1968). Effects of physical training on adolescents with severe motor handicaps. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 57, 17-23.
- Glaser, R. M., Sawka, M. N., Brune, M. P. & Wilde, S. W. (1980). Physiological responses to maximal effort wheelchair and arm crank ergometry. *Journal of Applied Physiology*, 48 (6), 1060-1064.
- Glaser, R. M. & Collins, S. R. (1981). Validity of power output estimation for wheelchair locomotion. *American Journal of Physical Medicine*, 60, (4), 180-189.
- Hildebrandt, G., Voigt, E. D., Berendes, B. & Kroeger, J. (1970). Energy cost of propelling wheelchair at various speeds: Cardiac responses and effect on steering accuracy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51, 131-136.
- Hjeltnes, N. (1980). Control of medical rehabilitation of para and tetraplegics. In H. Natvig (Ed.), *The First International Congress on Sports for the Disabled* (162-173). Oslo: Royal Ministry of Church and Education.

- Hjeltnes, N. (1984). Control of medical rehabilitation of para and tetraplegics by repeated evaluation of endurance capacity. **International Journal of Sports Medicine**, 5, 171-174.
- Hjeltnes, N. & Vokac, Z. (1979). Circulation strain in every day life of paraplegics. **Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine**, 11, 68-73.
- Hoeberrings, J. H. & Verstappen, F. T. J. (1984). Muscle soreness in wheelchair basketballers. **International Journal of Sports Medicine**, 5, (Supplement), 177-179.
- Hoffman, M. D. (1986). Cardiorespiratory fitness and training in quadraplegics and paraplegics. **Sports Medicine**, 3, 312-330.
- Hullemann, K. D., List, M., Matthes, D., Wiese, G. & Zika, D. (1975). Spiroergometric and telemetric investigations during the XXI international Stoke Mandeville Games 1972 in Heidelberg. **Paraplegia**, 13, 109-123.
- Hutzler, Y. (1986). **Zur Bewegungshandlung von Rollstuhlfahrern** [About movement action of wheelchair users - in German] Unpublished doctoral dissertation, The University of Heidelberg, Germany.
- Hutzler, Y. (1991). The relevance of anaerobic power for wheelchair propulsion. In L. H. V. van der Woude, P. J. M. Meijs & Y. A. de Boer (Eds.), **Preliminary proceedings of an international workshop: Ergonomics of manual wheelchair propulsion, state of the art** (85-91). Amsterdam: Free University Press.
- Hutzler, Y. (in press). Physical performance of elite wheelchair basketball players in armcranking ergometry and in selected wheeling tasks. **Paraplegia**.
- Janssen, T. W. J., van Oers, C. A. J. M., Hollander, A. P., van der Woude, L. H. V. & Rozendal, R. H. (1991). Physical strain during activities of daily living in spinal cord injured subjects. In: L. H. V. van der Woude, P. J. M. Meijs & Y. A. de Boer (Eds.), **Preliminary proceedings of an international workshop: Ergonomics of manual wheelchair propulsion, state of the art** (113-125). Amsterdam: Free University Press.

- Jarvis, S. & Rolfe, H. (1982). The use of an inertial dynamometer to explore the design of children's wheelchairs. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, **14** (4), 167-176.
- Jochheim, K. A. & Strohkendl, H. (1978). The value of particular sports of the wheelchair disabled in maintaining health of the paraplegic. *Paraplegia*, **11**, 173-178.
- Kofsky, P. R., Davis, G. M., Shephard, R. J., Jackson, R. W. & Keene, G. C. R. (1983). Field Testing: Assessment of physical fitness of disabled adults. *European Journal of Applied Physiology*, **51**, 109-120.
- Kofsky, P. R., Shephard, R. J., Davis, G. M. & Jackson, R. W. (1986). Fitness classification tables for lower-limb disabled individuals. In: C. Sherrill (Ed.), *Sport and disabled athletes* (147-155). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Lees, A. & Arthur, S. (1988). An investigation into anaerobic performance of wheelchair athletes. *Ergonomics*, **31** (11), 1529-1537.
- Lees A. (1991) performance characteristics of two wheelchair sprint tests. In: L. H. V. Van der woude, P. J. M. Meijs & Y. A. de Boer (Eds.), *Ergonomics of manual wheelchair propulsion, state of the art* (13-20). Preliminary proceeding of an international workshop. Amsterdam: Free University.
- McConnell, T. J., Horvat, M. A., Beutel-Horvat, A. Golding, L. A. (1989). Arm crank versus wheelchair treadmill ergometry to evaluate the performance of paraplegics. *Paraplegia*, **27** (4), 307-313.
- Marincek, C. R. T. & Valencic, V. (1978). Arm cyclo-ergometry and kinetics of oxygen consumption in paraplegics. *Paraplegia*, **15**, 178-185.
- Meijs, P. J. M., Van Oers, C. A. J. M., Van der Woude, L. H. V. & Veeger, H. E. J. (1989). The effect of seat height on the physiological response and propulsion technique in wheelchair ambulation. *Journal of Rehabilitation Science*, **2**, 104-107.
- Miles, D. S., Sawka, M. N., Wilde, S. W., Durbin, R. J., Gotshall, R. W. & Glaser, R. M. (1982). Pulmonary function changes in wheelchair athletes subsequent to exercise training. *Ergonomics*, **25**, 239-246.

- Nilsson, S., Staff, D. & Pruett, E. (1975). Physical work capacity and the effect of training on subjects with long standing paraplegia. **Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine**, 7, 51-56.
- Ornstein, L. J., Skrinar, G. S. & Garret, G. G. (1983). Physiological effects of swimming training in physically disabled individuals. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 15, 110.
- Peizer, E., Freiburger, H. & Wright, D. (1964). Bioengineering methods of wheelchair evaluation. **Bulletin of Prosthetics Research**, 10 (11), 19-37.
- Pollock, M. L., Miller, H., Linnerud, A., Laughridge, E., Coleman, E. & Alexander, E. (1974). Arm pedalling as an endurance training regimen for the disabled. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 55, 418-423.
- Rhodes, E. C., McKenzie, D. C., Coutts, K. D. & Rogers, A. R. (1981). A field test for the prediction of aerobic capacity in male paraplegics and quadraplegics. **Canadian Journal of Applied Sport Sciences**, 6 (4), 182-186.
- Rohmert, W. & Lesser, W., (1984). Bundesminister fur Technologie Forschungsbericht - Krankheitsforschung: Ergonomische untersuchungen zur gestaltung von handgetriebenen krankenfahrzeugen [Minister of technology research report - Disease research: Ergonomic studies on the adjustment of manually propelled wheel chairs. In German]. Darmstadt: Technical University of Darmstadt.
- Shephard, R. J. (1990) **Fitness in special populations**. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Smith, P. A., Glaser, R. M., Petrofsky, J. S., Underwood, P. A., Smith, G. B. & Richard, J. J. (1983). Arm crank vs. handrim wheelchair propulsion: Metabolic and cardiopulmonary responses. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 64 249-254.
- Stoboy, H. (1971). Workload and energy expenditure during wheelchair propelling. **Paraplegia**, 8, 223-230.
- Taylor, A. W. (1981). Physical activity for the disabled. In J. R. Richardson (Ed.), **Report of the research priority development conference (15-21)**. Ottawa: Fitness and Amateur Sport.

- Taylor, A. W., McDonnell, E., Royer, D., Loiselle, R. Lush, N. & Steadward, R. (1979). Skeletal muscle analysis of wheelchair athletes. *Paraplegia*, 17, 456-460.
- Tesch, P. A. & Karlsson, J. (1982). Muscle fiber type characteristics of musculus deltoideus in wheelchair athletes: Comparison with other trained athletes. *American Journal of Physical Medicine*, 62, (5), 239-243.
- Ward, G. R. & Fraser, L. N. (1984). Fitness characteristics of Canadian national wheelchair athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16, 142.
- Wells, C. L. & Hooker, S. P. (1990). The spinal injured athlete. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 7, 265-285.
- Wicks, J. R. Oldridge, N. B., Cameron, B. J. & Jones, N. L. (1983). Arm cranking and wheelchair ergometry in elite spinal cord-injured athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15 (3), 224-231.
- Williams, L. O. & Anderson, A. O. (1983). Energy costs of walking and of wheelchair propulsion by children with myelodysplasia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 25 (5), 617-624.
- Wolfe, G. A., Waters, R. & Hilsop, H. J. (1977). Influence of floor surface on the energy cost of wheelchair propulsion. *Physical Therapy*, 57 (9), 1022-1026.
- Yekutieli, M., Brooks, E. M., Ohry, A., Jarom, J. & Carel, R. (1983). The relevance of hypertension, ischemic heart disease and diabetes in traumatic spinal cord injured patients and amputees. *Paraplegia*, 27, 58-62.
- Zwirn L. D. & Bar-Or, O. (1975). Responses to exercise of paraplegics who differ in conditioning level. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 7 (2), 94-98.