

# פרק 11: ארגונומיה

## רקע כללי

מקור המונח ארגונומיה הוא ביוונית. "ארגוס" משמעו עבודה, "נומוס" פירושו חקר או עקרונות. ארגונומיה היא 'המדע והעיסוק בעיצוב עיסוקים ותחנות עבודה כדי שיתאימו ליכולות והמגבלות של הגוף האנושי'. מטרתה של הארגונומיה היא שיפור הזיקה בין האדם ובין סביבת עבודתו החומרית, לצורך קידום הבטיחות, הבריאות ואיכות החיים שלו, ועל ידי כך גם קידום היעילות והתפוקה. בהגדרתה הצרה יותר, ארגונומיה היא ענף מדעי-טכנולוגי שעושה שימוש במה שידוע לנו על המאפיינים הביולוגיים וההתנהגותיים של האדם לצורך ייצור, הערכה ותפעול של מוצרים ומערכות, במטרה לקדם בטיחות ושביעות רצון של פרטים וארגונים. ארגונומיה היא דיסציפלינה ששואבת את כוחה מתחומי ידע שונים, כגון פיזיקה, מכניקה, הנדסה, אנטומיה, פסיכולוגיה, פסיכולוגיה, סוציולוגיה ועוד.

ארגונומיה הפכה בשנים האחרונות משמעותית מאוד לארגונים, בעקבות אובדן ימי עבודה של עובדים וסבל שנגרם להם כתוצאה מבעיות ארגונומיות כגון בעיות שלד-שרירים, מאמץ יתר פיזי, לחץ נפשי ואי נוחות כללית. כדי למנוע את התעוררותן של בעיות כאלו, על ארגונים לשלב פעולות ארגונומיות בפעולות הבטיחות השוטפות ואף בתהליך הייצור עצמו.

### מרכיבי הפעילות הארגונומית

כמו בתחומי בטיחות אחרים, האסטרטגיה להפחתת סיכונים ארגונומיים ומניעתם כוללת: זיהוי, הערכה ובקרה.

א. **זיהוי:** יש לבחון מהן דרישות העבודה הנתונה מבחינה פיזית ונפשית, ואילו גורמי סיכון גלומים בה. זאת בהתייחסות למערכת מפעיל-מכונה הכוללת גם את תחנת העבודה וסביבת העבודה;

ב. **הערכה:** לאחר שזוהו סיכונים ארגונומיים פוטנציאליים יש לבצע הערכת סיכונים על-ידי ניתוח מטלה, כדי לבדוק אם דרישות העבודה חורגות מיכולותיו של האדם. כלי עיקרי להערכת סיכונים ארגונומיים הוא ניתוח מערכת מפעיל-מכונה. ניתוח זה בודק גורמים הקשורים באנשים, במכונות עצמן ובתנאי הסביבה. בוחנים את הזיקה בין המפעיל למכונה במהלך ביצוע פעולה. ניתוח שיטתי כזה מקדם אותנו לעבר הבנה של הגורמים השונים לבעיות ארגונומיות, למציאת פתרונות לבעיות אלו ולנטרול גורמי הסיכון הארגונומיים. לצורך הניתוח עושים שימוש בתחומים כגון אנתרופומטריה (מדידת גוף האדם) ו**ביומכניקה** (מדידת התנועה). מומחים בודקים את פעילות העובדים בזמן שהם מבצעים את עבודתם, עורכים איתם ראיונות, ולבסוף קובעים אילו תנועות, כוחות ותנאים תורמים ליצירת בעיות ארגונומיות;

ג. **בקרה:** הרחקתם של גורמי הסיכון הארגונומיים. אמצעי בקרה יכולים להיות מהסוג ההנדסי (עיצוב מחדש של תחנת העבודה) או מהסוג המינהלי (שינוי השיטות שלפיהן עובדים).

## ניתוח מערכת מפעיל-מכונה

כאמור, ישנם שלושה סוגי משתנים המשמשים להבנת גורמי הסיכון הארגונומיים: הגורם האנושי, המכונה והסביבה. הפעילות הארגונומית דורשת תיאור ניתוח והסקת מסקנות לגבי כל אחד ממשתנים אלה.

### הגורם האנושי במערכת מפעיל-מכונה

לגורם האנושי במערכת מפעיל-מכונה יש מספר מרכיבים: פסיכולוגי, פיזיולוגי ופסיכו-סוציאלי. שלושת מרכיביו של הגורם האנושי יכולים להופיע לבדם או במשולב:

- **המרכיב הפסיכולוגי:** מתמקד בתנאים הפסיכולוגיים שיכולים להשפיע על תפקודו של העובד ולגרום לפגיעה תעסוקתית, כגון זיכרון, שעמום, עייפות, לחץ ורמת שביעות רצון מהעבודה. מרכיב זה כולל, איפוא, את יכולותיו ומגבלותיו הפסיכולוגיות של האדם. מחקרים שנעשו בתחום מראים כי לבריאותו הנפשית של העובד יש השפעה מכרעת על הבטיחות, האכילות והתפוקה של הארגון.
- **המרכיב הפיזיולוגי:** הפיזיולוגיה מתמקדת בהבנת תפקוד גוף האדם, וכוללת את היבטי המבנה, הכוח והתנועה של איברי הגוף השונים. מהבחינה הארגונומית, ההבנה של הפיזיולוגיה האנושית הכרחית כדי לקבוע מתי דרישות העבודה חורגות מיכולותיו הפיזיולוגיות של העובד. למרכיב הפיזיולוגי השפעה מכרעת על התפתחות של בעיות בריאותיות כגון בעיות שלד ושרירים, ליקויי ראייה ועוד.
- **המרכיב הפסיכו-סוציאלי:** מתייחס להתנהגותו של הפרט בסביבתו החברתית, תוך שימת דגש על היבטים של מבנה ארגוני, הנעת עובדים, כוח והשפעה, לחץ תעסוקתי, קונפליקט ועוד. כל האלמנטים הללו יכולים להשפיע על המורל ועל התפקוד של העובד בהקשר החברתי של הארגון. דאגות ולחצים הקשורים בעבודה עלולים לגרום לעובד להסיח דעתו מעבודתו השוטפת, ועל ידי כך לגרום לתאונות. ההשפעה המצטברת של מצבי לחץ וקונפליקטים, תורמת אף היא לפגיעה ארוכת טווח בבריאותו הנפשית והפיזית של העובד.

### מכונות, ציוד ומתקנים

מאפייני המכונה או הציוד עימם העובד נמצא באינטרקציה מהווים אספקט ארגונומי חשוב שיש לו השפעה על בריאות העובד. עיצוב תחנת העבודה צריך להתאים למגבלותיו וליכולותיו. הכוונה היא למאפייני מכונה כגון מיקום אמצעי תפעול ובקרה, גובה שולחן העבודה, משענת כיסא, גובה המושט ש עליו מונחת מקלדת המחשב – כולם מהווים חלק מאזור העבודה ועלולים ליצור סיכונים ארגונומיים.

### סביבת העבודה

סביבת העבודה כוללת היבטים כגון: טמפרטורה, תאורה, רעש, רטט, לחות וזיהום אוויר. כל אחד מן התנאים הסביבתיים הללו עלול ליצור סיכונים ארגונומיים. רעש גורם לעייפות ונזק לשמיעה, רטט אף עלול לגרום להתפתחות של מחלות מקצוע, ריצוד האור במסך מחשב עלול לגרום לעייפות העין ועוד. לגורמים אלו יש גם השפעה משולבת מצטברת: שילוב של טמפרטורה גבוהה ורמת לחות גבוהה, למשל, עלול לגרום לבעיות פיזיולוגיות ופסיכולוגיות שונות, וכדומה. כאשר מבקשים לבדוק את הגורמים הפיזיולוגיים במערכת מפעיל-מכונה, הערכת סיכונים מעמיקה תדרוש ניתוח מטלה מן ההיבטים האנתרופומטריים והביומכניים.

### אנתרופומטריה

אנתרופומטריה היא מדידת המשתנים הפיזיים של גוף האדם. מטרת המדידה היא שיפור ההתאמה הפיזית בין העובד לאזור העבודה. ישנם שני סוגים של מדידה אנתרופומטרית: מדידה מבנית/סטטית ומדידה פונקציונלית/דינמית.

אנתרופומטריה מבנית/סטטית היא מדידה של תנחות סטנדרטיות וקבועות מראש. מדידה זו כוללת, למשל, את גובה המרפק ואת הגובה שבו יושבים. אנתרופומטריה פונקציונלית/דינמית מתייחסת למדידה שמתבצעת במהלך פעילויות גופניות מגוונות, כגון מדידה של גובה זחילה או כריעה. האנתרופומטריה מסייעת ליצרני רהיטים ולמתכננים לעצב רהיטים ואזורי עבודה על פי הממדים האופייניים של גוף האדם, תוך התייחסות לטווח מידות שלוקח בחשבון 90 אחוז מן האוכלוסייה. כדי שניתן יהיה להתאים את הריהוט או הציוד לאנשים בעלי מידות פיזיולוגיות שונות, יוצרים אזורי עבודה הניתנים להתאמה אישית (adjustable).

## ביומכניקה

מדע הביומכניקה חוקר את הפעולות המכניות של גוף האדם ואת התנועה והכוח באורגניזמים החיים. מדע זה שואב את הנתונים הבסיסיים שלו ממערכת השלד-שרירים של הגוף. בדומה לאנתרופומטריה, קיימים בביומכניקה שני סוגים עיקריים של מדידה: סטטית ודינמית. ומדידה סטטית חוקרת את הכוחות הפועלים על הגוף כאשר הוא נמצא במנוחה. מדידה דינמית, חוקרת את הכוחות הפועלים על הגוף בעת תנועה, כגון בעת הליכה או בעת הרמת משא. האלמנט המרכזי שאותו חוקרת הביומכניקה הוא הכוח (force). בביומכניקה אנו מבחינים בין שתי קטגוריות של כוח שיוצרות תנועה: עומס (load) ולחץ (stress). עומס הוא הכוח החיצוני הפועל על מבנה או אורגניזם. לחץ הוא הכוח הפנימי הפועל בתוך המבנה או הגוף החי כתוצאה מעומס. כל תנועות הגוף האנושי מתאפשרות על ידי העומסים והלחצים הפועלים על ה"מנופים" הביולוגיים (יד, רגל וכדומה). פעולות הערכה ביומכניות שונות מתבצעות - כחלק מניתוח מטלה - לצורך קביעת רמת הסיכון הארגונומי. פעולות אלו כוללות, למשל, את מדידת התדירות ומשך הזמן של תנועה מסוימת. הבנת האופן שבו הגוף אמור לנוע מאפשרת למומחים לזהות תנועות שאינן טבעיות לגוף, ואשר גורמות לפגיעות ארגונומיות.

## ניהול סיכונים ארגונומיים בארגון

בארגון בו קיימים סיכונים ארגונומיים יש להפעיל תכנית ניהול מיוחדת שתאפשר התמודדות עם סיכונים בעלי אופי ארגונומי (ergonomic program). תכנית ארגונומית יכולה לכלול את המרכיבים הבאים:

1. סקר ראשוני בארגון לקביעת אזורים, עבודות, ועיסוקים מסוכנים (מהבחינה הארגונומית). הסקר צריך לפרט את גורמי הסיכון, הפעילויות המבוצעות, והעובדים החשופים לסיכונים.
2. תוכניות הדרכה לעובדים ולמנהלים בדבר סיכונים ארגונומיים ודרכי ההתמודדות עימם.
3. יתוח מפורט של אזורים / עיסוקים / מטלות שנמצאו בסיכון גבוה במסגרת הסקר הראשוני. הניתוח המפורט יכול להיעשות תוך הסתייעות בשיטות או ברשימות בידוק מקובלות (פירוט בהמשך הפרק).
4. מעורבות הנהלה, ומתן שירותי תמיכה מקצועיים בתחום הארגונומיה (מדידות, יעוץ מקצועי, פתרונות ארגונומיים וכדומה).
5. דיווח, חקירה וטיפול במפגעים ארגונומיים, תאונות עבודה ופגיעות בבריאות כתוצאה מגורמי סיכון ארגונומיים.
6. מדידה ורישום מדדים המתייחסים לגורמי סיכון ארגונומיים וההתמודדות עימם – כולל מעקב אחר תאונות ומחלות מקצוע כתוצאה מגורמי סיכון ארגונומיים.
7. יישום שינויים בתהליכי עבודה, בעמדות עבודה, בכלי עבודה ובאופן ביצוע העבודה כדי להפחית נזקים הנובעים מסיבות ארגונומיות.
8. מבדקים ומעקב אחר האפקטיביות של הפעולות שנקטו.
9. סקר הנהלה תקופתי המוקדש לסקירת היבטים ארגונומיים בעבודה.

תוכנית הניהול של סיכונים ארגונומיה צריכה להיות חלק מתוכנית הבטיחות הכוללת של הארגון המתייחסת לגורמי סיכון שונים הקיימים בו.

## גורמי סיכון פיזיקליים בארגונומיה

גורמי סיכון פיזיקליים עיקריים שיש להתירם אליהם במסגרת הפעילות הארגונומית בארגון הינם:

- תנוחה מאמצת (awkward posture);
- שימוש בכוח ידני רב (high hand force);
- תנועה חוזרנית (high repetitive motion);
- אפקט חוזר ונשנה (repeated impact);
- הרמת חפצים תכופה או מאומצת (heavy, frequent or awkward lifting);
- רטט (vibration).

בפרסום של המוסד לבטיחות ולגיהות (מרכוס ואחרים, 2002), מציינים המחברים 11 עקרונות עבודה שהקפדה עליהם תיצור סביבת עבודה תוך חשיפה מזערית לגורמי סיכון ארגונומיים. יישום עקרונות אלו לגבי עמדות עבודה יתרום להפחתה משמעותית בנזקים הנגרמים לבריאות העובד בגין ליקויים בהתאמת סביבת העבודה לאדם. ואלו הם העקרונות:

- עבודה בתנוחה ניטרלית;
- צמצום השימוש בכוח מוגזם;
- תכנון מרחב העבודה כך שכל מה שנדרש לעבודה יימצא בהישג יד;
- התאמה של עמדות העבודה לגובה העובדים;
- הימנעות מתנועות מיותרות;
- הקטנת העומס הסטטי לשם הפחתת העייפות;
- צמצום מספר נקודות הלחץ על הגוף;
- תכנון סביבת עבודה מרווחת;
- הקפדה על עבודה בתנועה ועל תרגילי התעמלות;
- תכנון סביבת עבודה נוחה לעבודה;
- תצוגות ושלטי פיקוד מובנים.

להלן מפורטים המאפיינים של גורמי הסיכון הפיזיקליים, האופן בו ניתן להעריך האם הסיכון קיים במקום העבודה, ואמצעי המניעה המקובלים להפחתת הסיכון (התואמים ברובם את העקרונות שהוצגו לעיל). הדיון בסעיף זה מבוסס על התקנה האמריקנית WAC 296-62.


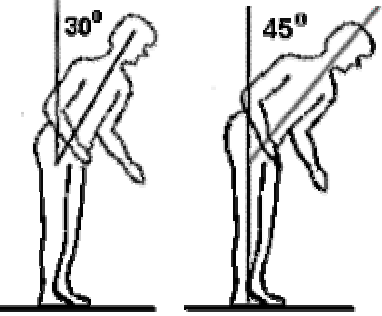
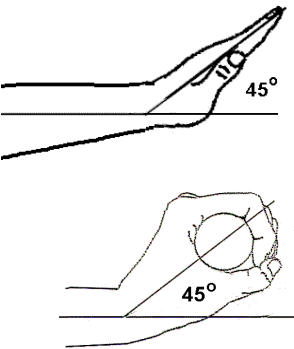
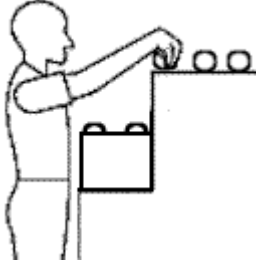

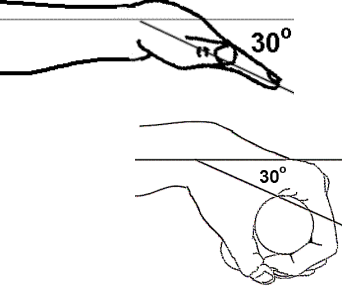
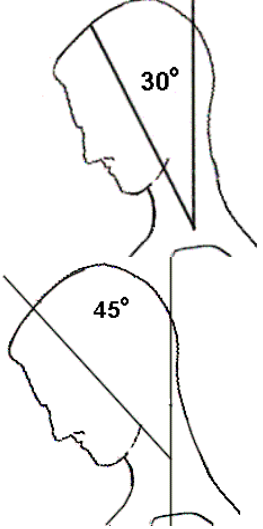
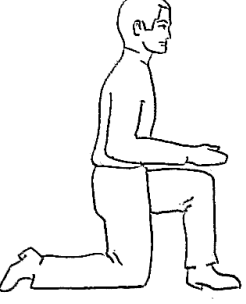
### תנוחה מאמצת (awkward posture)

תנוחה מאמצת כוללת, בעיקר, את התנוחות הבאות השכיחות במקומות עבודה מסוימים:

1. עבודה עם ידיים מעל הראש או מרפקים מעל הכתף יותר משעתיים במהלך יום עבודה;
2. עבודה עם צוואר או גב כפופים ביותר מ-30 מעלות (ללא תמיכה וללא יכולת לשנות תנוחה);
3. השתופפות במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה;
4. כריעה במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.

איור 11-1 ולוח 11-1 מציגים דוגמאות ומאפיינים של תנוחות מאומצות שגרתיות.

## איור 11-1: תנוחות מאמצות

<p>הרמת הידיים מעל הראש</p> 	<p>כיפוף הגב</p> 	<p>כיפוף פרק כף היד כלפי חוץ</p> 
<p>הרמת המרפקים מעל הכתפיים</p> 	<p>השתופפות</p> 	<p>כיפוף</p> 
<p>כיפוף הצוואר</p> 	<p>כריעה</p> 	<p>סטייה של עצם האמה (כפופה לכיוון הזרת)</p> 

## לוח 1-11: תנועות מאמצות על-פי איברי גוף וגורמי סיכון אופייניים

דוגמה	משך הזמן	גורם סיכון פיזיקלי	אבר
 	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	עבודה עם הידיים מעל הראש או עם המרפקים מעל הכתפיים	כתפיים
	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	הרמת הידיים מעל הראש או הרמת המרפקים מעל הכתפיים יותר מפעם בדקה	
	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	עבודה עם הצוואר כפוף ביותר מ-45 מעלות (ללא תמיכה וללא יכולת לשנות תנוחה)	צוואר
	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	עבודה עם הגב כפוף קדימה ביותר מ-30 מעלות (ללא תמיכה וללא יכולת לשנות תנוחה)	גב
	יותר משעתיים במהלך יום עבודה	עבודה עם הגב כפוף קדימה ביותר מ-45 מעלות (ללא תמיכה וללא יכולת לשנות תנוחה)	
	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	השתופפות	ברכיים
	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	כריעה	

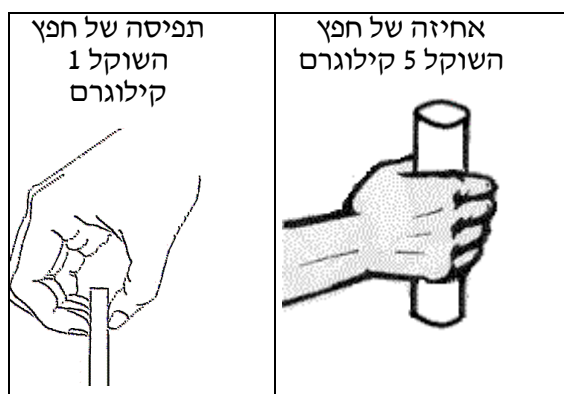
## אמצעי בקרה ומניעה המתייחסים לתנועות מאומצות

- שינוי הגבהים של תחנת העבודה וגובה התצוגה ;
- שימוש בפלטפורמות ודרגשים ;
- חפצים שיש בהם צורך צריכים להיות בהישג יד ;
- הפסקות לצורך התמתחות.

### שימוש בכוח ידני רב (high hand force)

1. אחיזה וטלטול של חפצים שאין להם נקודת אחיזה המאפשרת תפיסה יציבה (חפצים המורמים בעזרת לחץ האצבעות המופעל עליהם, כאשר האחיזה תלויה בכוח החיכוך) ושוקלים לפחות קילוגרם אחד לכל יד, או שני קילוגרם לשתי ידיים, במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.
2. אחיזה או טלטול של חפץ ללא תמיכה השוקל חמישה קילוגרם או יותר לכל יד במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.

#### איור 2-11: אחיזה ותפיסה של חפצים



#### אמצעי בקרה ומניעה לשימוש בכח ידני רב

- הימנעות מאחיזה רופפת: הרמת חפצים מלמטה, תוך אחיזה בעזרת כף היד כולה; חיבור ידיים להקלת נשיאת ציוד או שימוש בכלי הרמה;
- הפחתת כוח האחיזה: הרמת משאות קטנים בלבד; שימוש בכלי עבודה חשמליים במקום בכלי-יד; בחירת כלי עבודה קלים יותר; שמירת כלי העבודה במצב תקין; שימוש בשתי הידיים; שמירה על פרקי כפות ידיים ישרים;
- הימנעות מהחזקת חפצים לפרקי זמן ממושכים: שימוש במלקחיים (clamps) ובעגלות במקום נשיאת פריטים ביד; הנחת כלי עבודה בצד כאשר לא משתמשים בו.

## לוח 2-11: שימוש בכח ידני רב

איבר	גורם סיכון פיזיקלי	בשילוב עם	משך הזמן	דוגמה
זרועות פרקי כפות ידיים כפות ידיים	תפיסה של חפצים לא נתמכים השוקלים לפחות קילוגרם אחד לכל יד, או תפיסה באמצעות כוח בן ארבעה קילוגרם לכל יד (שווה לתפיסה של חצי חבילת נייר)	תנועה חוזרנית	יותר משלוש שעות במהלך יום עבודה	
		פרקי כפות הידיים כפופים בזווית של 30 מעלות או יותר, או במתיחה של 45 מעלות או יותר, או בסטייה בת 30 מעלות או יותר של עצם האמה	יותר משלוש שעות במהלך יום עבודה	
		אין גורמי סיכון נוספים	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	
זרועות פרקי כפות ידיים כפות ידיים	אחיזה של חפץ ללא תמיכה השוקל חמישה קילוגרם או יותר לכל יד	תנועה חוזרנית	יותר משלוש שעות במהלך יום עבודה	
		פרקי כפות הידיים כפופים בזווית של 30 מעלות או יותר, או במתיחה של 45 מעלות או יותר, או בסטייה בת 30 מעלות או יותר של עצם האמה	יותר משלוש שעות במהלך יום עבודה	
		אין גורמי סיכון נוספים	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה	



**תנועה חוזרנית (high repetitive motion)**

1. ביצוע חוזר ונשנה של תנועה זהה (לא כולל הקלדה או נגינה על פסנתר) עם צוואר, כתפיים, מרפקים, זרועות או כפות ידיים כל מספר שניות במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.
2. ביצוע אינטנסיבי של הקלדה במשך יותר מארבע שעות עבודה במהלך יום עבודה.

ראה לוח 3-11 בעמוד הבא.

**אמצעי בקרה ומניעה לתנועה חוזרנית**

- ארגון העבודה באופן שיאפשר להימנע מתנועות בלתי הכרחיות;
- להניח לכלי עבודה חשמליים ולמכונות לעשות את העבודה;
- חלוקת עבודה הכרוכה בתנועה חוזרנית על פני כל יום העבודה;
- הפסקות לצורך התמתחות;
- אם ניתן, חלוקת המטלה עם עמיתים לעבודה;
- החלפת ידיים או תנועות לעיתים תכופות.

**לוח 3-11: תנועה חוזרנית**

איבר	גורם סיכון פיזיקלי	בשילוב עם	משך הזמן
צוואר כתפיים מרפקים פרקי ידיים כפות ידיים	חזרה על אותה תנועה בגיוון מועט או ללא גיוון כלל בכל מספר שניות (מלבד פעולות הקלדה שונות)	אין גורמי סיכון נוספים	יותר משש שעות במהלך יום עבודה
	חזרה על אותה תנועה בגיוון מועט או ללא גיוון כלל בכל מספר שניות (מלבד פעולות הקלדה שונות)	פרקי כפות הידיים כפופים בזווית של 30 מעלות או יותר, או במתיחה של 45 מעלות או יותר, או בסטייה בת 30 מעלות או יותר של עצם האמה, ושימוש בכוח ידני רב	יותר משעתיים במהלך יום עבודה
	פתיחה וסגירה אינטנסיבית של מנעול	תנוחה מאומצת, כולל כיפוף של פרקי כפות הידיים בזווית של 30 מעלות או יותר, או במתיחה של 45 מעלות או יותר, או בסטייה בת 30 מעלות או יותר של עצם האמה	יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה
		אין גורמי סיכון נוספים	יותר משבע שעות במהלך יום עבודה

### אפקט חוזר ונשנה (repeated impact)

שימוש ביד, בכף היד, בעקב או בברך לצורך מתן מהלומות (כמו פטיש) יותר מעשר פעמים בשעה במשך יותר משעתיים ביום עבודה. אמצעי הבקרה הוא שימוש בכלי עבודה במקום ביד או בברך.

#### איור 3-11: שימוש באברי גוף כפטיש



### הרמת חפצים תכופה או מאומצת (heavy, frequent or awkward lifting)

1. הרמת חפצים השוקלים יותר מ-35 קילוגרם פעם ביום, או יותר מ-28 קילוגרם יותר מעשר פעמים במהלך יום עבודה;
2. הרמת חפצים השוקלים יותר מחמישה קילוגרם, אם היא מבוצעת יותר מפעמיים לדקה במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.
3. הרמת חפצים השוקלים יותר מ-12 קילוגרם מעל הכתפיים, מתחת לברכיים, או בפישוט זרועות יותר מ-25 פעמים במהלך יום עבודה.

#### אמצעי בקרה ומניעה

- הרמת משאות קטנים בכל פעם;
- היעזרות בצידוד ממוכן (עגלות, מנופים, מסועים, קרונות משא ידניים);
- היעזרות בעמית לעבודה;
- החלקת חפצים במקום להרים אותם;
- אם ניתן, חלוקת מטלות הכרוכות בהרמת משאות עם עמיתים לעבודה;
- אחסנת פריטים במקום שממנו אין צורך להרימם או להתכופף אליהם;
- שימוש בסולם כדי להוריד פריטים ממדפים גבוהים.

### רטט יד בינוני עד גבוה (moderate to high hand-arm vibration)

1. שימוש במכשירים ידניים שיש להם רטט גבוה, כגון משור חשמלי, פטישוו, מקצועה חשמלית וכדומה, במשך יותר מ-30 פעמים במהלך יום עבודה.
2. שימוש בכלי יד שיש להם רטט בינוני, כגון מלטשות, משור ידני אנכי רוטט (jig saw), במשך יותר משעתיים במהלך יום עבודה.

#### אמצעי בקרה ומניעה

- אם ניתן, שימוש בכלי עבודה בעלי רטט נמוך;
- תחזוקת כלי העבודה;
- שימוש בכפפות נוגדות רטט או בכיסוי בעת שימוש בכלי העבודה;
- שמירת הידיים מחוממות (אם במזג אוויר קר).

## הקלדה תכופה ומאומצת

הקלדה במשך יותר מארבע שעות במהלך יום עבודה.

### אמצעי בקרה ומניעה

- חלוקת עבודת ההקלדה על פני כל יום העבודה;
- שימוש במאקרו (לחצני קיצור) לצורך ביצוע פעולות שגרתיות;
- הפסקות לצורך התמתחות;
- שיפור התנוחה והתנועות ככל האפשר.

## בעיות שלד-שרירים

הבעיות הבריאותיות העיקריות בארגונומיה הן בעיות שלד-שרירים. בעיות אלו ידועות גם בשם CTA: Cumulative Trauma Disorders, או פגיעות תנועה חוזרנית. פגיעות תנועה חוזרנית נגרמות כתוצאה מהפעלה מופרזת של אברי הגוף השונים. תסמיני הפגיעה הם אי נוחות, כאב, קהות, תחושת דקירה או כווייה, נפיחות, שינוי צבע או אובדן גמישות. פעמים רבות עבודה יוצרת לחצים הגורמים נזקים ארוכי טווח לרקמות הגוף, לשרירים, לגידים, לרצועות ולעצבים. נזקים אלה מסבים סבל וכאב לנפגע ואף פוגעים ביכולת הביצוע שלו. שלושת גורמי הסיכון העיקריים הטמונים בעבודה הם מידת הפעלת הכוח (בהתייחס לחוזק השרירים), תנוחת אברי הגוף, וטבען החוזרני של הפעולות. לפיכך, הערכת סיכונים למערכת השלד-שרירים דורשת בחינה של ההיבטים הפיזיקליים, הפיזיולוגיים, הארגוניים, הסביבתיים והאחרים במקום העבודה.

### שכיחות פגיעות שלד-שרירים בקרב עובדים

תדירות התרחשות פגיעות שלד-שרירים אלה ושיעור עלותן גדלים בהתמדה. על פי דוחות המועצה האמריקנית הלאומית לבטיחות, 2,925,000 ימים או 3.9 אחוז מימי העבודה ההולכים לאיבוד עקב פציעות תעסוקתיות לא קטלניות הם תוצאה של פגיעות תנועה חוזרנית. בעיה ארגונומית זו הפכה להיות דאגתם העיקרית של אנשי מקצוע בבטיחות, בהתחשב בכך שבשנת 2000 התרחשו 280,000 מקרים של פגיעות תנועה חוזרנית בארצות הברית, המהווים בקירוב 62 אחוז מסך מחלות המקצוע החדשות וארבעה אחוז מסך תאונות העבודה ומחלות המקצוע. פגיעות ה-cumulative trauma הנפוצות ביותר הן תסמונת תעלת שורש כף היד (carpel tunnel syndrome), תסמונת תעלת ה-cubital, דלקת גידים (tendonitis), ודלקת שריר הגיד (tenosynovitis).

### תסמונת תעלת שורש כף היד

תסמונת זו היא פגיעה נפוצה בפרק כף היד הנגרמת כתוצאה מהפעלת לחץ על העצב המרכזי (median nerve) בתעלת שורש כף היד. תעלת שורש כף היד היא פתח בפרק כף היד, המוקף בעצמות הפרק וברצועה האלכסונית של שורש כף היד. כאשר מאלצים את פרק כף היד לבצע מתיחה או הגמשה, הרצועה דוחסת את העצב, מה שגורם לכאב, עקצוץ או קהות באגודל ובשלוש האצבעות הראשונות. הגורמים שמגדילים את הסיכוי ללקות בתסמונת זו הם חזרה על תנועה מחזורי עבודה-מנוחה, כוח ומשך המטלה.

כדי למנוע את תסמונת תעלת שורש כף היד יש למתן את דרישות המטלה ולהתאימן לעובד כאשר מבחינים באחד מן הגורמים הבאים:

- המטלה מחייבת 2,000 הפעלות לשעה;
- ישנם מחזורי עבודה בני 30 שניות או פחות;
- ישנן מטלות חוזרות ונשנות אשר נמשכות למעלה ממחצית המשמרת של העובד.

על אנשי הבטיחות בארגון לתת את הדעת על מטלות המחייבות הפעלת כוח מופרז או שימוש תכוף בתנוחות מאמצות.

### תסמונת תעלת ה-cubital

תסמונת זו נגרמת כתוצאה מדחיסת/הפעלת לחץ על עצב ה-ulnar במרפק. נהוג לחשוב כי היא נגרמת בשל השענת המרפק על משטח קשה או קצה מחודד. הסימפטום העיקרי של התסמונת הוא עקצוץ בקמיצה ובזרת.

### דלקת גידים (tendonitis)

טנדיניטיס היא המחלה המאובחנת ביותר מכל מחלות CTA, והיא נגרמת כתוצאה מדלקת חריפה בגיד בעקבות הפעלה מופרזת שלו. הסימפטומים הנפוצים ביותר הם תחושת כווייה, כאב ונפיחות במקומות שונים בכף היד, בפרק כף היד או בזרוע. תסמונת זו נפוצה בקרב עובדים שנדרשים למתוח את זרועותיהם מעל הראש במהלך פעולות קו ייצור.

### דלקת שרוול הגיד (tenosynovitis)

זו היא פגיעה בגידים או בכיסוי (sheaths) הגידים. לרוב הפגיעה מתרחשת בפרקי כפות הידיים ובקרסוליים. הכיסים הופכים נפוחים ומקשים על תנועת הגידים. פגיעה זו מתרחשת כתוצאה ממאמץ יתר של השרירים, או מכיפוף ואו מתיחה של הגידים.

### בעיות שלד-שרירים נוספות

מלבד בעיות שלד-שרירים בזרועות ובכפות הידיים, קיימות גם בעיות שלד-שרירים של צוואר, כתפיים, מרפקים וגב תחתון. במקרים אלה גורמי הסיכון הם תנועה חוזרנית, מידת הכוח המופעל, טיב התנוחה ומידת הרטט המופעל. גורמי סיכון מיוחדים הקשורים בבעיות גב תחתון הם עבודה פיזית קשה, תנועות הרמה והתכופות ותנוחות עבודה סטטיות.

## שיטות מחקר בארגונומיה

במסגרת תחום הארגונומיה התפתחו מספר גישות ושיטות לזיהוי והערכת סיכונים ארגונומיים. שיטות המחקר המקובלות ביותר כוללות:

- תצפית ישירה על ביצוע (direct observation of performance) ;
- שיטות הערכה סובייקטיבית ;
- מידע ארכיוני.

### תצפית ישירה על ביצוע (direct observation of performance)

בשיטה זו צופים בהתנהגות העובד בתחנת העבודה ללא התערבות הצופה (תצפית לא משתתפת). שיטות של תצפית מיועדות לאיסוף מידע כמותני (כגון מספר טעויות) ואיכותני (כגון גורמים לעיכובים). היות ואין בשיטה זו אלמנט של ניסוי עם קבוצת ביקורת, היא לא מאפשרת להגדיר יחס של סיבה-תוצאה. השיטה כוללת לא רק תצפית פסיבית, אלא גם שיחות וראיונות עם עובדים, מפעילי ציוד ומנהלי עבודה.

תצפיות ארגונומיות מתמקדות בחמישה סוגים של מידע:

1. השתלשלות האירועים (sequence of activities) ;
2. משך הזמן של הפעילות כולה (duration of activities) ;
3. תדירות הפעילויות (frequency of activities) ;
4. פרקי זמן (fraction of time) של מצבים ופעולות ספציפיים במסגרת הפעילות של אדם, מכונה או יחידת עבודה ;

5. תנועה במרחב (spatial movement) של אדם, מכונה או יחידת עבודה המבוצעת במהלך הפעילות היומית.

קיימות כמה שיטות לביצוע תצפית, כל אחת מהן מתמקדת בהיבט אחר של מידע:

- **רישום אירוע / זמן** (raw event/time records): תיעוד של אירועים או מצבים על-פי זמן התרחשותם. אירוע הוא התרחשות נראית בנקודת זמן מסוימת, כגון הגעתו של לקוח, עזיבתו לאחר קבלת שירות וכדומה. רישום אירוע/זמן יכול לספק מידע לגבי השתלשלות אירועים, משך האירועים, תדירותם, ותנועות שנעשו במרחב. מרישומי אירוע/זמן, ניתן ליצור מחקרי זמן (time studies) הכוללים ניתוח סטטיסטי המתאר את הפעילות כמטריצת נתונים על-פי זמן ולא כרשימה של פעילויות.
- **תרשים תהליך** (process chart): שרטוט של המפעל/המשרד ותנועת החומרים בו בכל תהליך שנבדק. באמצעותו ניתן גם לעקוב אחר התקדמותם של גורמים נוספים מלבד מוצרים כגון: לקוחות, אנשי צוות וכדומה. התיעוד בשיטה זו מספק מידע על השתלשלות אירועים ותנועות שנעשו במרחב, אך אינו מפרט זמנים. מטרתו העיקרית של תרשים תהליך היא לספק אינדיקציה גרפית של תנועה, ולסייע בהבנת התוצאות של שינויים המתרחשים במרחב הארגון.
- **תרשים זרימה תהליך** (flow process chart): מחליף את המידע על תנועות במרחב בסמלים מוסכמים, המצביעים על היבטים מסוימים של פעילות – הפעלה, שינוע, בדיקה, עיכוב ואחסון. תרשים זה יכול להתייחס למוצרים ואף לבני אדם. מכיוון שתרישים זה לא כולל מידע על מיקומים במרחב, הוא מדגיש את המבנה הלוגי של פעילות. כמו כן, התרישים מחזקת היבטים של עיכוב ואחסון, המהווים נקודות רגישות בתעשייה המודרנית.
- **תרשים גאנט** (Gantt chart): תרשים זה נקרא על שם ממציאו, והוא תיאור גרפי של פעילויות ומשכי הזמן שלהן, המאפשר הצגה של מספר רב של פעולות חופפות בפרקי זמן נתונים. ניתן להיעזר בתרישים זה בכל פעילות הכוללת פעולות רבות, כגון תחזוקת מכונות או אפילו פעילות כירורגית בחדר הניתוחים. מטרתו העיקרית של השימוש בתרישים היא המחשה גרפית של פעילויות הקשורות זו בזו. נהוג להשתמש בו בתכנון פרויקטים בכלל, ופרוייקטים ארגונומיים בפרט. גרסה שונה של תרישים גאנט היא תרישים פעילות מרובה (multiple activity chart) אשר לא מתייחס לכל פעולה בנפרד, אלא לקבוצת פעולות.
- **דגימת התרחשות** (occurrence sampling): מתמקדים רק בחלק מסויים של הפעילות. המערכת נבחנת ומתועדת בזמנים מסוימים ולפי קטגוריות מסוימות. היות ודגימת אירוע מספקת מידע רק על חלק מן הזמן שבו המערכת (מכונה או אדם) נמצאת במצב מסוים, הרי אלמנטים של זמן ושל השתלשלות אירועים נעדרים משיטה זו.

ראוי לצפות הן בפעולות שגרתיות, והן בפעולות לא שגרתיות או בפעולות שמתבצעות בתנאים בלתי רגילים המשפיעים על הפעילות.

### שיטות הערכה סובייקטיבית

שיטות הערכה סובייקטיבית מתבססות בעיקר על מידע ומשוב המתקבל ממלאי תפקידים במערכת הנבדקת, ללא ביצוע מדידות כמותיות וניתוחים סטטיסטיים. איש המקצוע בארגונומיה ממלא שלושה תפקידים עיקריים. תפקידו הראשון הוא לספק מודל המייצג את פעילות המערכת שאותה הוא בודק. תפקידו השני, כאשר ידועים לו מבנה המערכת, התהליכים בה, ומטרותיה, הוא לייצל את התהליכים ואת הבקרה עליהם. תפקידו השלישי הוא לפעול בדרכים חדשניות לצורך שיפור נוסף של יעילות המערכת. בכל אחת מפעולות אלה של איש המקצוע יש לו צורך במידע. איסוף מידע יכול להתבצע בשיטות סובייקטיביות, בהן האנשים במערכת הנבדקת משמשים מעין כלי מדידה; תפיסותיהם ודעותיהם על המערכת הם "בסיס הנתונים" של איש המקצוע. הסיבה העיקרית לשימוש בשיטות סובייקטיביות, בתהליך של איסוף מידע, היא העובדה שלא ניתן למדוד דברים רבים – הן מבחינת כמותם והן מבחינת תוכנם – במדידה "אובייקטיבית".

להלן שיטות ההערכה הסובייקטיבית העיקריות:

1. **דירוג** (ranking) או צייון (rating): בשיטות אלו הנשאל מדרג מאפיינים או נותן ציון המעריך מאפיינים שונים של סיטואציה מסוימת, כגון: דרגת קושי של ביצוע, מידת אי-נוחיות בביצוע תנועה וכדומה.
2. **שאלון**: זוהי השיטה הנפוצה ביותר לאיסוף מידע סובייקטיבי. שאלונים מציגים סדרות של שאלות, מלוות בטווח תשובות אפשריות. יתרונם של השאלונים טמון בעובדה שהם מסייעים לאיסוף מידע רב מכמות גדולה של אנשים בעלות נמוכה יחסית ואף במהירות יחסית. שאלונים יכולים להינתן בכתב או בעל-פה, על ידי מראיין.
3. **ראיון**: ראיון מבוצע על ידי מראיין המשוחח פנים-אל-פנים עם המראיין. שיטת הראיון עדיפה על-פני מילוי שאלון בעיקר כאשר מדובר בנושאים רגישים עבור הנשאל, במקרים שבהם קיים מידע רב ומורכב, כאשר יש סיבה לחשוב כי הנשאל יזדקק לעזרה, וכאשר לא ברור לאיש המקצוע אילו נושאים בדיוק יש לברר. ראיונות הם פחות נוקשים משאלונים, בשל נוכחותו של הגורם האנושי (המראיין).
4. **רשימת בידוק** (checklist) של מצבים סובייקטיביים שלא ניתן לצפות בהם באופן אובייקטיבי. ניתנת לעובד רשימה של אירועים שיש סבירות גבוהה להתרחשותם בסיטואציה נתונה, ומבקשים ממנו לתעד את התרחשותם. על המשתתף בסיטואציה לסמן ברשימה כל אימת שמתרחש אירוע רלוונטי מבחינתו.

### מידע ארכיוני

מידע ארכיוני הוא מידע קיים, אשר לאיש המקצוע אין חלק באיסופו. תפקיד איש המקצוע במקרה זה הוא להגיע אל הנתונים, להעתיק ולערוך אותם, ולפרשם לצורך מילוי מטרותיו. דוגמה אחת לכך היא שימוש במידע הארכיוני שיש לארגון על תאונות שהתרחשו בו לצורך הבנה של הגורמים לתאונות. מידע ארכיוני הוא בעל ערך רב במחקרים ארגונומיים, ומהווה כלי עזר הכרחי לקראת התערבות ושינוי במישור הארגונומי. ישנם סוגים שונים של מידע בארגון כגון:

- שרטוטים של אזורי עבודה במפעל;
- דוחות ומסמכים משפטיים ופיננסיים של החברה;
- רשימות מלאי ונכסים;
- מסמכים הקשורים בתכנון החברה ובתפעולה;
- דוחות של מחלקת בקרת איכות;
- תיעוד נתוני כח-אדם;
- תיאור תאונות שהתרחשו.

כל סוגי המידע האלה עשויים להשפיע על עיצוב תהליך הייצור ולאפשר לאיש המקצוע בארגונומיה להיות מודע למגמות חדשות המייצרות שינויים ברמות שונות.

## טכניקות ושיטות עבודה ארגונומיות בסיסיות

הטכניקות העיקריות בהן משתמשים בארגונומיה הינן:

- ניתוח מטלה (task analysis);
- ניתוח פרוטוקול מילולי (verbal protocol analysis);
- מודלים וסימולציות.

## ניתוח מטלה

ניתוח מטלה הוא שיטה המיושמת לצורך הערכה של מערכת קיימת (אדם/מכונה) או לצורך תכנון של מערכת חדשה, באמצעות ניתוח מדוקדק ושיטתי של המטלות שעל העובד לבצע. דוגמה פרקטית ליישום הניתוח מוצגת באחד הסעיפים הבאים בהמשך פרק זה. בעת תכנון מערכת יש לבחון את המערכת הקיימת, במטרה לספק תשתית תכנונית לבניית המערכת החדשה. כאשר מתכננים מערכת חדשה, מתכננים את המטלות הכרוכות בה. זהו תהליך שלוקח בחשבון טווח שלם של תפקודים אנושיים ודרכים להשגתם. ניתוח המטלה מסייע לאסוף מידע זה ואף מידע מגוון על המערכת בנקודות שונות במהלך פעילותה. ניתן להשתמש בניתוח בהערכת חלק מסוים במערכת או בהערכה כוללת של מערכת קיימת. בהקשר הארגוני הגדרתה של מטלה כוללת שלושה מרכיבים חיוניים, שביניהם מתקיימים יחסי גומלין: דרישות מטלה, סביבת מטלה והתנהגות מטלה.

- **דרישות המטלה** כוללות את המטרות שעל המבצע להשיג (דוגמה לכך יכולה להיות הדרישה מעובד המשתמש בתוכנת עיבוד תמלילים לשמור מסמך לאחר כתיבתו);
- **סביבת המטלה** היא מקבץ הגורמים בסיטואציה של עבודה הקובעים את אופן עבודתו של המבצע;
- **התנהגות מטלה** מתייחסת לפעולות המבצע במסגרת אילוצי סביבת המטלה לצורך מילוי דרישות המטלה.

גורמים שונים משפיעים על התנהגות המבצע. ביניהם ניתן למנות גורמים פסיכולוגיים, פיזיולוגיים, ידע, ניסיון ורמת מיומנות. ההבחנה בין שלושת מרכיבי המטלה חשובה לצורך ביצוע הניתוח עצמו. בדרישות ובסביבת המטלה ניתן לצפות, ולתעד אותם באופן מדויק. התנהגות מטלה, לעומת זאת, היא גורם התלוי יותר בסובייקט והיא עשויה להשתנות מפרט לפרט.

## תהליך ניתוח מטלה

ניתוח מטלה הוא תהליך המאופיין בשלוש רמות פעילות. רמת הפעילות הראשונה היא איסוף מידע, ובה אוספים נתונים על המערכת ממקורות מידע שונים. בשלב הבא יוצרים מסמך המתאר את המטלה הרלוונטית. תיאור המטלה מספק מידע חיוני לצורך הניתוח. רמת הפעילות האחרונה מבוססת על תכנון מערכת חדשה או הערכת המערכת הקיימת באמצעות המידע שהתקבל. בפועל, חלק מן השלבים לעיתים מבוצעים בו-זמנית (למשל איסוף המידע ותיאור המטלה). קיימים שימושים שונים למידע על מטלה, ביניהם ניתן למנות הערכה או תכנון של המערכת בכללותה, תכנון של הדרכות ושל ממשק אדם-מכונה, תכנון תפקיד או צוות עבודה, ובחירת אנשי צוות וניתוח מהימנות של מערכת. איסוף מידע על מטלה צריך להתחשב בטיב המידע הנאסף. עמידה בדרישה זו רצויה לשם הבטחת יעילות תהליך הניתוח. סוגי המידע החיוניים לצורך ניתוח מטלה הם:

- רשימת הפעילויות המרכיבות את המטלה (component tasks);
- רשימת הפעילויות המרכיבות את המטלה כאשר הן מקובצות לאשכולות (על פי שיקולים שונים);
- זיקות ויחסי גומלין בין פעילויות המטלה השונות;
- סדר החשיבות של הפעילויות;
- תדירות הפעילויות בתנאים שונים;
- סדר הזמנים של הפעילויות;
- החלטות שהתקבלו לגבי בחירת הפעילויות שיש לבצע או לגבי סדר הוצאתן לפועל;
- תנאי-הדק ("טריגר") המשמשים אות לתחילת פעילות או לזירוז הביצוע;
- מטרות כל פעילות;
- קריטריון הביצוע של כל פעילות (performance criteria);
- מידע הדרוש לביצוע כל פעילות;
- מידע על תפקוד המערכת בכללותה.

על תיאור המטלה להיות שלם ומקיף, מוצג באופן בהיר וברור, ועליו לעבור משוב של מבצעי המטלה לשם איתור אי דיוקים. ניתן לערוך את המידע בצורת סיכום או רשימה של מסקנות. במקרים רבים, ניתוח התהליך יתבסס על הפרשנות שתינתן לתיאור המטלה. קיימות שיטות שונות לניתוח מטלה. שתי שיטות מקובלות הינן:

- ניתוח מטלה בעיסוק (Job Task Analysis);
- ניתוח מטלה היררכי (HTA - Hierarchical Task Analysis).

המטרה של ניתוח מטלה בעיסוק (ראה דוגמת ניתוח בלוח 4-11) היא לקבוע את הסיכונים לבריאות העובד הקיימים במטלה, והיא מתאימה לניתוח ארגונומי של עמדות עבודה. שלבי הניתוח העיקריים בשיטת ניתוח זו הם:

1. איתור תחומי סיכון ארגונומיים בכל מטלה;
2. אפיון גורמי הסיכון הקיימים;
3. המלצות לשיפורים ארגונומיים;
4. יישום ההמלצות ומעקב ביצוע.

ניתוח מטלה היררכי (HTA) הוא מסגרת לבחינת מטלות, שבעזרתה ניתן לפתח פתרונות ארגונומיים בהתאם לאילוצי המערכת. בשיטה זו מטלה מפורקת למרכיביה, כאשר כל מרכיב חושף פרט נוסף על המטלה. ההיררכיה מאפשרת דרך נוחה ופשוטה להצגת מטלות. בנוסף, היבטים מסוימים במטלה יכולים בדרך זו להתחדד ולהילמד באופן יסודי.

**לוח 4-11: ניתוח מטלה בעיסוק: פקיד קבלה (דוגמה חלקית)**

מטלה	גורמי סיכון	תיאור	המלצות
שימוש בטלפון	תנוחה מאומצת	הטיית הצוואר בעת שיחה בטלפון יחד עם הקלדה במחשב או כתיבת מסמך	קשת אוזניות לטלפון; הדרכה על תנוחות גוף בעבודות משרד
הקלדה והזנת נתונים	לחץ ממושך	לחץ ממושך על הזרועות הנשענות על קצה השולחן החד	מדף נמוך (drop down) ללוח מקשים; הדרכה על תנוחות גוף בעבודות משרד
	תנוחה מאומצת	מתיחת זרוע בעת הושטתה קדימה (עקב לוח מקשים רחוק וגבוה)	כמו לגבי "לחץ ממושך"
	תנוחה מאומצת	סיבוב צוואר שמאלה בגלל שהמסך ממוקם מצד שמאל של לוח המקשים	הנחת המסך בקו ישר מאחורי לוח המקשים; הדרכה על תנוחות גוף בעבודות משרד

### **ניתוח פרוטוקול מילולי (verbal protocol analysis)**

פרוטוקול מסוג זה הוא בעצם דיווח – במהלך ביצוע המטלה – על תהליכים קוגניטיביים פנימיים (כגון הפעלת שיקול דעת, קבלת החלטות וכדומה) המתרחשים אצל מבצע המטלה. מחקרים מראים כי שיטות המתמקדות בתכני החשיבה הן בעלות תוקף מדעי גדול יותר מדיווחים על בסיס צפייה בתהליכים שאמורים להוות ביטוי לחשיבה. פרוטוקול מילולי כולל בעיקר היגדים עובדתיים ותוצאות של החלטות, ומסייע באיסוף מידע על תהליכי עבודה.

ייתכנו מספר סוגים של שיבושים בשיטת הדיווח הזו:



- פעולת הדיווח עלולה לגרום לשינוי המטלה ולהטיית הדרך שבה היא מבוצעת. מבצע המטלה עשוי לבחור שיטת עבודה מסוימת רק מפני שהיא קלה יותר לדיווח ולהצגה, וכן עלול לדווח על ביצוע שלבים בהתאם לתקנות ולא בהתאם לצורת העבודה הרגילה שלו;
- בדיווח בזמן אמת קיימת מגבלת זמן משמעותית. כאשר מבצע המטלה נתון תחת לחץ זמן, ייתכן שלא יספיק לדווח על כל מה שמתרחש. כך פעילויות רלוונטיות מסוימות עלולות לא להיות מוזכרות ולגרום לאי הבנות בהמשך;
- פעולת הדיווח היא פעולה חברתית (מבצע המטלה ניצב מול איש המקצוע), ולכן עלולה לגרום לרצייה חברתית. המבצע עלול לומר את מה שהוא חושב שישביע את רצון איש המקצוע;
- אנשים לא ערים תמיד לאופן שבו הם מבצעים את עבודתם, ולכן בדרך כלל לא מנסחים אותו במילים. דבר זה יוצר בעיה כאשר הם מתבקשים לעשות זאת;
- מחמת ריבוי סיטואציות אפשריות, בדיקה מקיפה של כולן (ושל התמודדותו של המבצע איתן) לא תהיה אפשרית.

למרות הקשיים המוזכרים לעיל, פרוטוקול כזה מהווה שיטה טובה להשגת מידע על התהליכים הקוגניטיביים העומדים מאחורי ביצוע מטלה, ומשמש כלי עזר לאיש המקצוע בהבנת התנהגות המבצע. אין דרך מקובלת אחת לעריכת פרוטוקול. על עורך הפרוטוקול להחליט אם שיטה זו דרושה במקרה הנתון, ואם כן, כיצד ידגום נתונים (מהו מספר המשתתפים הרצוי, כמה מידע ייאסף ובאילו תנאים, וכדומה).

## מודלים וסימולציות

סימולציה ומודל הם דרכי הצגה של ציוד, של אירועים ושל ביצועי מטלה. סימולציה היא הצגה פיזית, ואילו מודל הוא הצגה סימבולית, מופשטת. בדרך כלל ניתן ליישם את שני סוגי ההצגה באמצעות מחשב. אנשי המקצוע בארגונומיה שמים את הדגש על חקר סימולציות ומודלים הקשורים בביצועים אנושיים. סימולטורים משמשים להכשרת סטודנטים, ואילו מודלים של מערכת אדם-מכונה מופעלים על ידי טכנאים ומפעילים מופשטים (אלגוריתמים). סימולטורים ומודלים הם פעמים רבות העתקים של מערכות קיימות (חלקי מכונה, למשל), אך הם יכולים לייצג גם מערכות מתוכננות אשר עדיין לא יוצרו. קיים קשר הדוק בין סימולציה למודל. מסימולציה ניתן ליצור (לאחר התצפית) מודל מופשט, וממודל ניתן לגזור סימולציה לצרכי המחשה והבנה.

## סימולציה

סימולציה היא ניסיון פיזי לחקות או לייצג את המציאות. בהקשר הארגונומי זהו ניסיון לספק את התנאים ההכרחיים ללמידה (בדמיון מרבי למציאות) של ביצועים אנושיים ושל מערכות אדם-מכונה. ישנה חשיבות גדולה לסימולציה בארגונומיה, משום שהיא מאפשרת יצירת פתרונות אשר לא ניתן היה להגיע אליהם בדרכים אחרות של קבלה וניתוח של נתונים. לטכניקות של סימולציה בארגונומיה שימושים רבים – החל בהדרכה (לגבי משאיות, מערכות לוחמת שטח וצוללות, ארטילריה, טנקים, טילים, אנרגיה גרעינית, כרייה וכדומה), וכלה בחקר מערכות ובחקר עומס עבודה, קבלת החלטות, לחץ והערכת ביצוע. שימוש בסימולטורים נעשה גם לצרכי תכנון, פיתוח, בדיקה והערכה של מערכת או ציוד, ולצורך הסמכה של אנשי צוות. יתרונות הסימולטור רבים: הוא זול וזמין יותר מן המערכת האמיתית, פחות מסוכן, ובעל ערך לימודי: ניתן להפסיק את הסימולציה באמצעיתה כדי לחדד נקודה מסוימת בהדרכה או לחזור על פעולה מסוימת. מרבית הסימולציות כוללות שימוש במחשב, המהווה נקודת אמצע בין סימולציה למודל. בסימולציות מחשב לא קיימת נוכחות פיזית של מפעילים, אלא רק ייצוג שלהם בצורת אלגוריתמים. למדידת ביצוע של מפעילים יש צורך כמובן בסימולציה של אדם-מכונה. סימולציה נבדקת על פי שני קריטריונים: ריאליזם או נאמנות למקור, וכוללניות (comprehensiveness). ריאליזם הוא המידה שבה הסימולציה אכן משקפת את המערכת האמיתית. רמת כוללניות היא המידה שבה הסימולציה נותנת ביטוי לפונקציות ולמאפיינים סביבתיים הקשורים במערכת.

## מודל

מודל התנהגותי של מערכת אדם-מכונה הוא ייצוג סימבולי של הפעולות המבוצעות על ידי אנשי צוות בהפעלה ובתחזוקה של מערכת זו. לרוב, מודל זה הוא מתמטי, נעשה על ידי מחשב, ומפותח לצורך השגת מטרה מסוימת. קיימים שני סוגי פעילות הבאים לידי ביטוי במודל כזה: פעילות גלויה (ניתנת לצפייה) ופעילות בלתי גלויה (אינה ניתנת לצפייה). בשני המקרים מטרת המודל היא לאפשר הבנה טובה יותר של הפעילות, וזאת על ידי ניבוי ובקרה של תוצאות המניפולציה שנעשית על משתני המודל.

על מודל יעיל לעמוד במספר קריטריונים, כגון תקפות, תועלת, כוללניות, אובייקטיביות, עלות פיתוח ושימוש, וכדומה. הצורך בשימוש במודל מתעורר כאשר המערכת האמיתית או הסימולציה הפיזית אינן זמינות. מצב כזה קיים בדרך כלל כאשר מפתחים מערכת חדשה ומבקשים ללמוד את המשתנים שלה, או כאשר התופעה והתנאים הנלמדים סבוכים מכדי להילמד באופן "חי", על גבי המערכת האמיתית. מודלים לוקים בחולשות רבות, וטווח ההתנהגויות האנושיות שהם יכולים לתאר מוגבל למדי. מרבית המודלים אינם מבחינים בהבדלים ובסוגי הטעות בכל הקשור לביצועי המפעיל. המשתמשים במודל למטרת תכנון מערכת אינם צריכים לצפות מהמודל למתן פתרונות תכנון מפורטים. המודל הוא רק כלי המסייע בצמצום מספר אפשרויות התכנון, ולכן מאפשר הערכה טובה יותר.

## הפניות

מרכוס, י., מורג, ע. ושוורץ, מ. (2002). *בטיחות וגיהות בתעשייה – כללי יסוד*. תל אביב: המוסד לבטיחות ולגיהות.

Bailey, R. W. (1989). *Human performance engineering: Using human factors/ergonomics to achieve computer system usability* (2nd ed.). London: Prentice Hall.

Geller, E. S. (1997) *Understanding behavior-based safety: Step-by-step methods to improve your workplace*. Neenah, WI: J. J. Keller & Associates.

Meister, D. (1985). *Behavioral analysis and measurements methods*. Chichester, UK: John Wiley.

Oborne, D. J. (1995). *Ergonomics at work: Human factors in design and development*. (3rd ed.). Chichester: John Wiley.

The Washington State Department of Labor and Industries. (2000). *WAC 296-62-051: Ergonomics*. Washington: DLI.

Wilson, J. R., & Corlett, E. N. (1995). *Evaluation of human work: A practical ergonomics methodology* (2nd ed.). Basingstoke, UK: Burgess Science Press.