

ארגונומיה בחלל

בעשורים האחרונים העמיקה חקירת האדם את החלל בהדרגה, ויותר מדינות החלו לשלוח בהצלחה אסטרונאוטים לחלל. הסביבה הלא-מוכרת, היעדר כוח הכבידה והצורך להשלים את העבודה בחלל בצורה בטוחה ויעילה חייבו יישום ארגונומי ממוקד. אפשר ללמוד רבות מהחשיבות שנתנה סוכנות החלל נאס"א לתחום הארגונומיה, וליישמה גם בשמירת בריאות ובטיחות העובד בכדור הארץ

מאת אביטל רדושר

מדריכת ארגונומיה ארצית
המוסד לבטיחות ולגיהות

מדע הארגונומיה חוקר את הקשר בין האדם למכונה ולסביבת העבודה, במטרה לייעל את תהליך העבודה ולשמור על בריאות וביטחון העובד. מחקרים מראים כי יישום הארגונומיה ממלא תפקיד חשוב מאוד בבטיחות בחלל. עיצוב ממוקד חשוב להצלחת החקירה של האדם את החלל, שכן טיסת אדם לחלל אינה קלה להתאמה ארגונומית למאפייני האדם. התאמת סביבת העבודה של האסטרונאוט דורשת ידע, ניסיון, דמיון וחשיבה עתידית, לבחינת מצבים שאינם ידועים. לכן, תחום הארגונומיה וגורמי האנוש בנאס"א חשוב במיוחד לעיצוב סביבת העבודה, ולא רק מבחינה יישומית, אלא גם מבחינת יעילות בסביבת העבודה המתאגרת של האסטרונאוט.

בעשורים האחרונים העמיקה חקירת האדם את החלל בהדרגה, ויותר מדינות שלחו בהצלחה אסטרונאוטים לחלל. גורמים, כגון הסביבה הלא-מוכרת, היעדר כוח הכבידה והצורך להשלים את העבודה בחלל בצורה בטוחה ויעילה הפכו לנושא חשוב בתחום הפיתוח והטכנולוגיה. כאשר צוות אסטרונאוטים נמצא בחלל, זמנם מוגבל, וכל דקה מתוכננת ליעילות מרבית. תכנון מדויק של סביבת העבודה בחלל יסייע בהבטחת בטיחות העובדים, בקיצור זמן המטלה, בהגדלת התפוקה ובהפחתת עלויות התחזוקה. ארגונומים בנאס"א מתמקדים בתכנון תחנות עבודה. הדבר דורש שעות רבות של חקר נתונים אנתרופומטריים, קביעת הנחיות לגבי משימות וניתוח מטלות ומשימות שהאסטרונאוטים צריכים לבצע בחלל. תכנון יעיל של עמדת העבודה יסייע בעיצוב תהליכי העבודה, בהתאמת הציד וסביבת העבודה, ובכך יאפשר מניעת תאונות ושיפור יעילות העבודה (עקב החוסר בכוח כבידה, האסטרונאוט יכול "להתעופף" חופשי בחללית ולהיחבל מעצמים קבועים או מעצמים שאינם מחוברים, אסטרונאוטים יכולים להתנגש אחד בשני וכו').

מה קורה לגוף בחלל?

כוח הכבידה משנה את גופנו, וכך גם היעדרו. לכן, עיצוב תחנות עבודה בחלל הוא נושא מאתגר במיוחד. מחקרים קודמים הראו שסביבת החלל גורמת לשינויים פיזיולוגיים בגוף האדם. כאשר אין כוח כבידה, עמוד השדרה יתארך והגובה הכולל של האדם



צילום אילוסטריציה: depositphotos

יגדל בכ-3% בממוצע. נוסף על כך, נראה ירידה במסת השריר ובצפיפות העצם, וכתוצאה מכך תיגרם ירידה בכוח השריר. להשפעות פיזיולוגיות אלו נודעה חשיבות מיוחדת במחקרים על יציבה ועל פעולות המתבצעות בעבודה, שכן, ידוע שהן משפיעות על מרכז הכובד של הגוף, על יכולת ההגעה (REACH) ועל גמישות ומיומנות האדם. לשינויים הגופניים בחלל השפעה רבה על ביצוע משימות, במיוחד

- סידור יעיל של הציוד לפי סדר פעולות העבודה ובהתאמה ליכולת התפיסה החזותית של האסטרונאוט.
- סידור יעיל של הציוד במיקום נוח מבחינת מרכז הכובד, ואפשרות פעולה של האסטרונאוט.
- מזעור הצורך בריבוי משימות בפרק זמן קצר.
- הגדרת תוכנית חירום סבירה והפחתת הצורך ביכולת שיפוט של האסטרונאוט במצב חירום, כדי להפחית הסתברות לטעות אנוש.

ומה אפשר לעשות בכדור הארץ?

לבד מהתקן הייעודי, נאס"א מקדמת פעילות ארגונומית, שמיועדת לכלל העובדים, אשר עיקרה הוא מזעור נזקים לגוף האדם. להלן התייחסות לפעולות בקרה ומניעה, והמלצה לפעולה על פי סדר עדיפות - למניעת פגיעה ארגונומית - אשר אפשר ליישם במגוון סביבות עבודה:

1. בקרה הנדסית - עיצוב סביבת העבודה כך שתתאים למידות העובד.
2. בקרה אדמיניסטרטיבית - מתן הפסקות וזמן התאוששות במהלך משימות.
3. בקרה אישית - ציוד מגן אישי להפחתת העומס על איבר ספציפי בגוף, כגון פד לעכבר.

נוסף על כך, הודגש לעובדים שבמידת האפשר, יש לכוון את סביבת העבודה למנח ניטרלי ככל שאפשר ולהימנע מתנאי עבודה קיצוניים. כמו כן, יש להתיר על כאב שרירים ולבקש הערכה ארגונומית לפני שהתסמינים גורמים למגבלה תפקודית, ולידע את ממונה בטיחות על עמדות החשודות כפוגעות מבחינה ארגונומית. **לסיכום:** רובנו אמנם לא עובדים בסביבה נטולת כוח כבידה, אך בסביבות העבודה על כדור הארץ יש לא מעט גורמי סיכון ארגונומיים שאין להקל בהם ראש. רבות אפשר ללמוד מהחשיבות שניתנה בסוכנות החלל לתחום הארגונומיה ומחשיבותו הרבה בשמירה על בריאות ובטיחות העובד. בדומה לעיצוב סביבת העבודה בחלל, מומלץ לאמץ גישה שמציבה את האדם במרכז ולהתאים את העבודה לדרישותיו וליכולותיו, ובכך למנוע פגיעות שריר ושלד עתידיות.

מקורות:

- <https://standards.nasa.gov/human-factors-and-health>
- https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2013/t_4.html
- Hirao, A., Kitazaki, S., & Yamazaki, N. (2006). Development of a new driving posture focused on biomechanical loads (No. 2006-01-1302). SAE Technical Paper.
- Liu, P., Zhou, D., Xue, L., & Li, Y. (2018). Human Ergonomics Study in Microgravity Environment. In MATEC Web of Conferences (Vol. 221, p. 04010). EDP Sciences.
- <https://www.airspacemag.com/space/down-earth-180970809/>
- Fanchiang, C. (2017). A quantitative human spacecraft design evaluation model for assessing crew accommodation and utilization.
- Std, N. A. S. A. (1995). 3000. man systems integration standards. National Aeronautics and Space Administration, Houston, USA. ■

משימות הדורשות הפעלת כוח, ולכן, כאשר מתכננים מערכות עבודה לחלל, יש להביא בחשבון שינויים אלו ושיקולים נוספים, כגון טווח מידות גוף שונה ושינוי בתנוחה.

בשנות השמונים פיתחה נאס"א סטנדרטים מיוחדים, שכללו התמקדות בתנוחת גוף ניטרלית לעיצוב מערכות טיסה התומכות בבריאות ובבטיחות האדם בחלל. בתחילה, התבצעה פעולת הטיסה בעת שחברי הצוות היו קשורים למושביהם, והדגש הושם על מידת ההצלחה בביצוע המטלה ופחות על תפקוד האסטרונאוט במהלכה. עם הזמן, הקדישה נאס"א תשומת לב יתרה ומשאבים במטרה לפצח את מבנה החללית ולהבין כיצד תוכל לספק נוחות, בטיחות ויכולת תפקוד גבוהה לאסטרונאוטים. אחד הדברים שנבחנו בתחילת התהליך היה מנח ניטרלי של הגוף בתנאי הסביבה של החלל, מתוך הבנת חשיבותו של נתון זה לתכנון בטוח ויעיל. לאסטרונאוט יש צורך בתפעול מערכת באופן בטוח ונוח, המאפשר יעילות לפרקי זמן ממושכים. לתנוחת גוף האדם תפקיד מרכזי בהשפעה על עייפותו, לכן הוחלט להשתמש במנח גוף ניטרלי, שנמדד במעבדות נאס"א כנקודת מוצא לתנוחה הנוחה והמאוזנת ביותר בחלל.

מלבד השינויים הפיזיולוגיים, סביבת החלל יכולה להוביל לירידה ביכולת התגובה ובתפיסה החזותית הקשורות בביצוע המשימה. כדי שהתנועה תהיה קואורדינטיבית, נדרשת יכולת תפיסה מרחבית וקלט מידע ממערכות, כגון שיווי משקל, תחושה סומטית וראייה. כל המערכות יחד מסייעות להשלים את תמונת מנח הגוף. כאשר כוח הכבידה משתנה, מערכת שיווי המשקל של הגוף מושפעת מכך, ונצפית ירידה ביכולת בקרת היציבה, ביכולת תיאום התנועה, שגיאה במיקום הגוף ופגיעה ביכולת תכנון יעיל של התנועה. גם יכולת התפיסה של חפץ בתנועה תהיה מאתגרת עבור אסטרונאוט בחלל, כיוון שבכדור הארץ אנו נוהגים לחשב את משקל החפץ כלפי מטה, אך בחלל ההתייחסות לכוח הכבידה שונה. כתוצאה מפער זה, האסטרונאוט עלול לעשות טעויות בשיפוט לגבי אובייקטים בתנועה ולגבי מרחק האובייקט מהגוף. במשימה בחלל, האסטרונאוט הוא הגורם המרכזי האחראי למהלך העבודה, ולכן, שינויים בפיזיולוגיה ובקוגניציה של האסטרונאוט ישפיעו על תהליך קבלת ההחלטות שלו ועלולים להאריך את זמן התגובה ואת משך ביצוע המשימה. כדי לטפל בתחום הנדסת האנוש והארגונומיה בנאס"א, פותח תקן NASA-STD 3001, שמטרתו לספק מקור יחיד ומקיף לדרישות החלל והציוד הנלווה, אשר נמצאים בשימוש אנשי הצוות. התקן פותח תוך פירוט האפשרויות לעיצוב מערכות טיסה שתומכות בבריאות ובבטיחות האדם. התקן מביא בחשבון את היות האדם גורם קריטי בהצלחת המשימה. עיצוב שמתעלם מיכולות האדם, מאפייניו ומגבלותיו, יכול לגרום לאסון לאדם, למערכת ולמשימה. בין השינויים הארגונומיים שנעשו לצורך התאמת העבודה לדרישות בחלל:

- מזעור דרישות עבודה הדורשות שימוש בכוח לאורך זמן.
- מזעור דרישות עבודה הדורשות קשב לאורך זמן או משימות שלא ניתן לבצע עם הפסקה במהלך התהליך.
- הגדלת שילוט היכול לסייע בתפיסה המרחבית ובאוריינטציה של האסטרונאוט בסביבת העבודה של החללית.
- התקנת ידיות לשימוש רגליים וידיים, כדי לסייע לייצוב גוף האסטרונאוט ולהגעתו למתקנים השונים.