**לוחמה כימית – התפתחות אמצעי הלוחמה הכימית, מנגנון פגיעתם ודרכי הטיפול.**

מרית סלוין - מתוך "מדע" עיתון מדעי לכל כרך ל"ד מספר 6 הוצאת מוסד ויצמן

בערב ה-22 באפריל 1915, בעיצומה של מלחמת העולם הראשונה, פתחו חיילים גרמנים מצבורים של מיכלי מתכת שהוחבאו בחפירות באזור איפרס (Ypres) בפלנדריה, וגז כלור השתחרר לאוויר. היה זה האירוע הראשון של מלחמת גזים. ענן הכלור גרם להתפוררות המערך הצרפתי-בריטי שהוצב כנגד הגרמנים. הגרמנים, שהיו המומים מתוצאות המהלך, לא השכילו לנצל כראוי את הנשק החדש שהפעילו. מאוחר יותר, בדצמבר 1915, הוכנס לקרב הגז פוסגן (COCL2) - גז רעיל שמקורו בפסולת תעשיתית. אך המהלך הקטלני ביותר ננקט בידי הגרמנים ב-12 ביולי 1917, כאשר הפעילו את גז החרדל בשדה הקרב. לקראת סוף המלחמה פיתחו האמריקאים חומרי לחימה כימיים בתגובה למתקפת הגזים של הגרמנים.

ב-1936 גילה הכימאי הגרמני שרדר תרכובת זרחן אורגני בעלת רעילות גבוהה ליונקים - היה זה הגז טבון - הזרחן האורגני המלחמתי הראשון. בעקבות זאת סונתז ב-1939 הגז סרין, וב-1944, לקראת סיום מלחמת העולם השנייה, סונתז בגרמניה הגז סומן. אך למרות זמינותם של חומרי הלוחמה הכימיים, לא נעשה בהם שימוש מילחמתי.

חזרתם של הגזים לשדה המלחמה נעשה באזורינו על-ידי המצרים בתימן ובשימוש מסיבי במהלך מלחמת אירן-עירק בין השנים 1983-1988.

**גזי עצבים**

שני סוגי לוחמה כימית מצויים באזורנו. על הסוג הראשון נימנים הזרחנים האורגניים ובתוכם גז העצבים, והסוג האחר כולל את קבוצת הוסיקנטים )גורמי השלפוחיות( עליהם נמנה גז החרדל.)זרחנים אורגניים משמשים אף כחומרי הדברה דוגמת הפרתיון( אתרי פעולתם של גזי העצבים למיניהם הן הסינפסות - נקודות המפגש בין סיבי העצב דרכן עובר האות העצבי. מעבר האותות העצביים דרך הסינפסה כרוך בהפרשת חומרים כימיים הידועים בשם מתווכים עצביים )נירוטרנסמיסטרים(. אחד מאלה הוא אצטיל-כולין, המשמש להעברת פקודות עצביות לשרירים, כולל שריר הלב, לבלוטות ההפרשה, ומשמש אף כמתווך עצבי במוח. זמן קצר אחרי הפרשתו בסינפסה, האצטיל כולין מתפרק, ובדרך זו נמנע ריכוזו בסינפסה לכמות בלתי רצויה. אחד האנזימים הגורמים

לפרוקו הוא אצטיל-כולין-אסטרז. החומרים המשתייכים לקבוצת הזרחניים האורגניים מתקשרים באופן בלתי הפיך לאנזים אצטיל-כולין-אסטרז ומעכבים את פעולתו. הקשר בין הזרחן האורגני והאנזים אצטיל-כולין- אסטרז הוא הפיך עד לשלב מסוים, ולאחר שלב זה חל תהליך כימי שאינו

מאפשר הינתקות הקשר - מדובר על "הזדקנות" האנזים - מצב בו אין כל אפשרות לשקם את פעלותו. בעקבות זאת נמנע פירוקו של אצטיל כולין, המצטבר בסינפסות ותורם לגרוי עצבי בלתי פוסק, המתבטא בפגיעה במערכות גוף שונות.

סימני ההרעלה בגזי עצבים ומשכם, וזמן הופעת הפגיעה וחומרתה, תלויים בכמות הרעל שנספגת ובאתרי הספיגה. בחשיפה נשימתית, מופיעים הסימנים תוך דקות אחדות ומגיעים לשיאם תוך 20-15 דקות. בחשיפה עורית התהליך איטי יותר ומגיע לשיאו כעבור 30-45 דקות.

הרעלה מגז עצבים נובעת מהתקשרות ריכוזים גבוהים-יחסית של אצטיל- כולין לקולטנים מיוחדים הממוקמים במוח ובאזורי גוף שונים. התקשרות זו גורמת להגברת פעולות ההפרשה וההתכווצות של הבלוטות והשרירים. עם עליית ריכוז האצטיל-כולין המתקשר לקולטנים, מופיעות תופעות הרעלה בחיבורים עצב-שריר, שתחילתן התכווצויות מקומיות וסופן שיתוק עוויתי. בהתקשרות לקולטנים במוח נגרמות תופעות חיצוניות כמו סחרחורת, פחד ובחילה, והתוצאה הסופית היא דיכוי כללי בעיקר באזור מרכז הנשימה.

את חומרת הפגיעה מזרחנים אורגניים נוהגים לדרג לפגיעות קלות, בינוניות וקשות. תסמיני פגיעה קלה הם הזעה, נזלת, דמעת, ריור, היצרות האישונים, טשטוש ראיה, לחץ בחזה, בחילה והקאה. פגיעה בינונית מתבטאת בדמעת, היצרות האישונים, טשטוש ראיה, ריבוי הפרשות במערכת

הנשימה, הקאה, שלשול, אי שליטה על סוגרים. תכיפות בהטלת שתן ולעיתים הטלה בלתי רצונית, רעד שרירים, תופעות חרדה, ירידה במצב ההכרה, האטת קצב פעימות הלב וירידת לחץ הדם. הנפגעים קשה, כבר אינם מסוגלים לנשום בכוחות עצמם, ובנוסף לכל התופעות שתיארנו לעיל, הם לוקים בפרכוסים וברפיון שרירים עד כדי שיתוק. מאוחר יותר מופיעות תופעות המתבטאות בהפרעות פסיכיאטריות, ובפגיעות עיניות ועצביות. מוות קורה מהפסקת הנשימה, שיכולה להגרם כתוצאה מסתימת קנה הנשימה בהפרשות, או כתוצאה מהפסקת פעולת שרירי הנשימה בעקבות מגע ישיר עם אצטיל-כולין שפועל אף בדיכוי מרכז הנשימה.

הטיפול חייב להיות מיידי, והוא מתרכז בראש ובראשונה בהוצאת הנפגע מהשטח הנגוע ובטיהורו באמצעים מתאימים. לנפגעים המפתחים סימני הרעלה יש לתת טיפול תרופתי, לסלק את ההפרשות המצטברות בקנה הנשימה, ולהחדיר צינור אוויר לאלה שאינם מסוגלים לנשום בכוחות עצמם. לעיתים דרושה הנשמה באמצעות מכשור מיוחד.

שלוש קבוצות תרופות משמשות לטיפול בנפגעי גז עצבים: קבוצה אחת פועלת בעיכוב הקולטנים לאצטיל-כולין. נציגים מקבוצה זו הם סקופולאמין - הפועל במוח, ואטרופין - הפועל על איברי מטרה מחוץ למוח. אטרופין ניתן בשלוש דרכים : במזרקים לתוך השריר )מזרקים אוטומטיים נמצאים בערכות המגן(; בעירוי ישיר לתוך הווריד, שהשפעתו מהירה ויעילה יותר, ובמתן תוך קני לנפגעים קשה המונשמים בצינורות. סקופולאמין המשפיע, כאמור, על מערכת העצבים המרכזית, ניתן רק בהוראת רופא ולמבוגרים בלבד.

על קבוצת התרופות השניה נמנים האוקסימים, הפועלים בניתוק הקשר בין האנזים אצטיל-כולין-אסטרז והזרחן האורגני הקשור אליו, זאת בתנאי שהקשר לא עבר הזדקנות. כתוצאה מניתוק הקשר חל שפעול האנזים ופירוק אצטיל-כולין.

בקבוצה השלישית מצויות תוופות הבאות למנוע את תופעת הפרכוסים )תרופות אנטי ונוולסנטיות(. דוגמה מייצגת לתרופות אלה הוא וליום, המוזרק ישירות לווריד.

**גז חרדל**

גז החרדל מוכר כבר ממלחמת העולם הראשונה. הוא שייך לקבוצת "חומרי הכוויה" )vesicant and blister agants( המצטיניים באופי נוזלי- שמנוני, כמעט אינם מסיסים במים וחודרים לגוף דרך הבגדים והעור. בניגוד לפגיעה בגז עצבים, פגיעתו של גז החרדל מתבטאת מאוחר- יחסית - - תוך שעות מהחשיפה. עוצמת הפגיעה תלויה בכמות החומר שנספג, במשך החשיפה ובדרגת המיגון.

לגזי החרדל מנגנוני פעולה תוך תאיים המתבטאים בפגיעה בדנ"א ובחלבונים. בשל אופי פגיעתם הם משמשים )במינונים נמוכים( כתרופות אנטי- סרטניות. הפגיעה העיקרית מתבטאת במערכות-גוף המתאפיינות בחלוקות תאים רבות כמו ריריות, מערכת הנשימה, העיניים והעור. נוסף לכך חלה פגיעה מערכתית המתבטאת בתופעות המזכירות מחלת קרינה כמו בחילות והקאות. הסימנים הראשונים של חשיפה לגז חרדל מתבטאים ברוב מערכות הגוף :

הפגיעה במערכת הנשימה מתפתחת בהדרגה ומגיעה לשיאה כעבור יומיים- שלושה. סימניה: נזלת, צרידות, שיעול וקוצר נשימה. חומרת הסימנים תלויה בעוצמת החשיפה - עם גבור החשיפה גדלה הפגיעה באיברי הנשימה, עד להתפתחות דלקת ריאות.

הפגיעה במערכת הראיה חלה בשלב חשיפה מוקדם ומתבטאת בהרגשת צריבה ועקצוץ בעין, דמעת, כאב, הפרשות וטשטוש ראיה.

הפגיעה במערכת העיכול מתבטאת בהקאה, והיא מחריפה בעקבות חשיפה ישירה כמו בליעת מזון או מים מזוהמים, ומתבטאת בכאבי בטן, בהקאה, בשלשול ולעיתים בהקאת דם. כל הפגיעות בגז החרדל עלולות להחמיר עם הזמן.

לגז החרדל אין טיפול תרופתי ייחודי, והטיפול המקובל הוא טיפול תסמיני )סימפטומי( בדומה לטיפול בפגיעות דומות מגורמים אחרים. טיפול כזה מכוון כנגד סימני המחלה ולא כנגד גורמיה, והוא כולל שטיפות עיניים, טיפול בכוויות ועוד. בראש ובראשונה יש להפסיק את המגע עם החומר, ובהמשך חייב להינתן טיפול מיידי - תוך דקות לאחר החשיפה. ראשית יש לדאוג לטיהור האזורים שבאו במגע עם הרעל, זאת באמצעות אבקת פולר, המצויה בערכה האישית, ומבצעת ספיחה פיסיקלית מהירה של גז החרדל. את האבקה מפזרים על האזורים החיצוניים שנחשפו, כדי למנוע את ספיגת הרעל. בהחלט לא מומלצת שטיפת העור לפני הטיפול באבקה, הואיל והמים עלולים להגביר את חדירות העור לרעל. לאחר הטיפול כאבקה יש לשטוף את העור במים. במידת הצורך ובהעדר אמצעי טיפול, אפשר להשתמש למטרת הספיחה גם באבקת טלק ואפילו בקמח.

עם כל אלה, חשוב מאוד לציין, כי הצעדים העיקריים החייבים להינקט במצבי לוחמה כימית הם אמצעי מיגון. כאשר מתמגנים היטב, ניתן למנוע את רוב הפגיעות - שימוש נכון באמצעים יכול להציל חיי אדם.

## שאלות על המאמר

1. מהם שני סוגי הגזים המשמשים ללוחמה ביולוגית ומה ההבדל ביניהם? התייחס בתשובתך לנקודות הבאות:
   1. אופן חדירתם לגוף.
   2. מנגנון פעולתם (הפגיעה בגוף).
   3. הטיפול הנדרש במקרה של פגיעה.
2. מה תפקידו של האצטיל כולין? מהי פעולתו של אצטיל כולין אסטראז?
3. שרטטו באופן סכמטי את המשוב של פעולת אצטיל כולין ואצטיל כולין אסטראז.
4. מדוע בחשיפה לגז עצבים דרך מערכת הנשימה מופיעים הסימנים תוך דקות אחדות ואילו בחשיפה דרך העור התהליך איטי יותר?
5. מהן שלוש הרמות של פגיעה מזרחנים אורגניים?
6. מהן שלושת התרופות המשמשות לטיפול בנפגעי גז עצבים ומה מנגנון פעולתם?
7. כיצד פועלים האטרופין והסקופול אמין?
8. בניסוי שנערך בדקו את השפעת חומר מסויים על פעולת השרירים של עכברים.

קבוצה א': הזריקו אצטיל כולין.

קבוצה ב': הזריקו אצטיל כולין ופיזרו גז עצבים באוויר הכלוב.

קבוצה ג': אצטיל כולין +אטרופין.

א. שערו מה תהייה התגובה בכל אחד מהטיפולים.

ב. האם יש קבוצת בקרה בניסוי? מהי?

1. כיצד תוכיח כי אטרופין אינו משפיע על פעילות אצטיל כולין אסטראז (אטרופין נקשר לקולטן של אצטיל כולין ובכך מונע גירוי נוסף של תאי העצב)
2. בחרו לכם, אחד מכיווני המחקר והפיתוח של השנים האחרונת – וערכו סקירה קצרה להצגה בכתה.

<https://www.hayadan.org.il/category/technology/sciences/chemical_warfare/>