

# חמצן היפרברי לטיפול בנזקי קרינה

תקציר:

הקרנות הן טיפול מקובל כנגד סוגים שונים של מחלות ממאירות ועל אף התקדמות הטכנולוגיה, השפעות הלוואי מהטיפול עדיין שכיחות. השפעת לוואי שכיחה מטיפול זה היא נזק לרקמות מקרינה (Tissue Radionecrosis/ Post Radiation Necrosis), המופיעה ב-5%–15% מהמטופלים. הטיפול בקרינה גורם לנזק ברקמה הבריאה הסובבת את האזור המוקרן ובכך לסבל מתמשך למטופלים. התופעה מציבה אתגר לרפואה, מאחר שהטיפולים המוצעים כיום למטופלים מוגבלים ויעילותם מוטלת בספק.

במאמר זה מובאות שתי פרשות חולים: האחת של אישה בת 53 שנים לאחר כריתה סופרה-גלוטית וכריתת צוואר חלקית, שקיבלה טיפול משולב בכימותרפיה ובקרינה. החולה פיתחה נזקי קרינה מוקדמים באזור הצוואר.

החולה השני הוא גבר בן 72 שנים שקיבל טיפול בהורמונים ובקרינה עקב סרטן הערמונית. טיפול זה גרם לנזקי קרינה לשלפוחית השתן ולחלחולת. שני המטופלים טופלו בחמצן היפרברי במסגרת תא לחץ, שהביא להחלמה של הרקמה הניזוקה הן אובייקטיבית (באמצעי דימות) והן סובייקטיבית (חוויית המטופלים).

פרוטוקול של 60 טיפולים יומיים רצופים בתא לחץ, חמישה ימים בשבוע, תוך נשימת 100% חמצן במסיכה בלחץ סביבתי של שתי אטמוספירות הוכח כיעיל להוריה זו. המודעות לטיפול בנזקי הקרינה באמצעות חמצן היפרברי חשובה, משום שרבים מהחולים המפתחים סיבוכי הקרינה נבדקים גם על ידי רופאי קהילה ובתי חולים בהתמחויות השונות. זיהוי המטופלים הסובלים מהשפעות הלוואי של ההקרנות והפנייתם מראש לטיפול זה, הממומן בסל הבריאות, עשויים להיטיב עם המטופלים ולמנוע מהם סבל מתמשך.

גליה מזרחי<sup>2,1</sup>  
זמר ואנג'<sup>1</sup>  
אייל ליבוביץ'<sup>2</sup>

<sup>1</sup>המכון לרפואה היפרברית  
<sup>2</sup>המחלקה הפנימית של המרכז הרפואי יוספטל, אילת

ר' מאמר מערכת "תא לחץ כטיפול עיקרי לנזק ללווה לקרינה" של יהודה מלמד בעמוד 517

מילות מפתח: חמצן היפרברי; נזקי קרינה; דלקת שלפוחית השתן; דלקת החלחולת; דלקת תיבת הקול. **KEY WORDS:** Hyperbaric oxygen; Post radiation necrosis; Radiation cystitis; Radiation proctitis; Radiation laryngitis

## הקדמה

נזק לרקמות מקרינה (Tissue Radionecrosis/ Post Radiation Necrosis) הוא תופעה שכיחה המופיעה בקרב 5%–15% מהמטופלים. הפגיעה מהקרינה תלויה במינון ההקרנות, גיל המטופל ובאזור המוקרן. האזורים בגוף הצפויים לפתח סיבוכי קרינה רבים יותר הם הראש, הצוואר, בית החזה ואיברי האגן. התסמינים עשויים להופיע מיד לאחר הטיפול, אולם גם לאחר שבועות, חודשים ואף שנים רבות לאחר השלמת הטיפול בקרינה. לטיפול בתרופות המוצע יש הצלחה מוגבלת בלבד. מלבד הטיפול בתרופות, נאלצים לעיתים החולים לעבור הליכים רפואיים כגון הטריה (Debridement), צריבה של אזורים מדממים ואף כריתה חלקית של איברים, כמו במקרה של דלקת שלפוחית השתן משנית לקרינה [1]. עקב כך נאלצים המטופלים להסתגל למצב ומלבד הסבל הגופני, חווים ירידה באיכות החיים, הכוללת קשיים בתפקוד היום-יומי, בעיות רגשיות וקשיים בתפקוד החברתי [2].

## מפרשות החולים

### מפרשת חולה 1:

ד', מטופלת בת 53 שנים עם רקע של עישון כבד ודלדול העצם (אוסטיאופורוזיס), אובחנה כלוקה בסרטן תאי קשקש סופרה-גלוטי (Supraglottic squamous cell carcinoma) (T2N2aMO), בצוואר עליון משמאל, בגודל 3.5 ס"מ ומיתר קול מדומה (False Vocal Cord) באותו צד. בוצעו כריתה סופרה-גלוטית (Supra-glottic laryngectomy) וכריתת צוואר חלקית דו-צידית (Selective neck dissection). לאחר הניתוח עברה המטופלת טיפול משולב של כימותרפיה וקרינה. כתוצאה מהטיפול בקרינה, סבלה מסיבוכים שהתבטאו בבצקות בלוע ובבצקת של מיתר קול מדומה (False vocal cord) ובעקבותיהם לקתה באירועים נשנים של מצוקת נשימה. בשל כך עברה כריתה של הרקמה הבצקתית משני הצדדים וקיבלה טיפול אנטיביוטי בשל זיהום צוואר עמוק (Deep neck infection). כשמונה חודשים לאחר תום ההקרנות, לאחר שקיבלה המלצה לטיפול, החלה החולה לקבל טיפולים בחמצן

היו מוגבלים וכללו מספר קטן של נכללים. מבין המחקרים הגדולים ניתן למצוא עבודה רטרופקטיבית שבוצעה על ידי Hampson וחב' [6]. בעבודה זו נאספו נתונים של 411 מטופלים בין השנים 2002–2010 שטופלו בחמצן היפרברי בהוריה של נזק לרקמות מסוגים שונים עקב קרינה. הממצאים דורגו בסולם מ-1–5 באופן כזה: 1 ייצג ריפוי מלא; 2 ייצג שיפור משמעותי; 3 ייצג שיפור כלשהו; 4 ייצג מצב ללא שיפור; ו-5 ייצג החמרה במצב. בעבודה נמצא כי בקרב 94% מהחולים חל שיפור כלשהו ברקמה הנגועה (דירוג 1–3) ו-243 מטופלים (59%) חוו ריפוי מלא של הרקמה המוקרנת. התוצאות החיוביות הופיעו בכל הרקמות הנגועות, עם שונות קלה – שיפור בקרב 94% מהמטופלים עם נזק מקרינה בעצמות הלסת (Osteoradionecrosis), ב-76% מהמטופלים עם נזק לעור, ב-82% מהמטופלים עם נזק מקרינה בלוע (Laryngial Radionecrosis), ב-89% מהמטופלים עם נזק מקרינה לשלפוחית השתן (Cystitis) וב-100% מהמטופלים עם שילוב של ניתוח וטיפול היפרברי באזור הפה והלסת. לא היו מטופלים שחוו הרעה במצבם. למרות שממצאי המחקר מראים יעילות רבה לטיפול בנזקי קרינה לפה וללסת, כאשר בוחנים את תוצאות המחקר בנוגע לנזקי קרינה לגרון, שלפוחית השתן וחלחולת הממצאים מעודדים באותה מידה. ריפוי מלא לגרון התרחש ב-4% מהמטופלים וב-78% נראה שיפור משמעותי או אף ריפוי מלא; בנזקי קרינה לשלפוחית השתן ריפוי מלא הופיע ב-57% מהמטופלים וב-89% חל שיפור משמעותי ואף ריפוי מלא; בנזקי קרינה לחלחולת ריפוי מלא הופיע ב-25% מהמטופלים וב-88% חל שיפור משמעותי ואף ריפוי מלא [6].

בעבודה פרוספקטיבית כפולת סמיות שהוכללו בה 150 מטופלים עם פרוקטיטיס, נמצא כי הטיפול ההיפרברי הביא לשיפור משמעותי בקבוצה שטופלה בחמצן היפרברי – פי שניים יותר מקבוצת הבקרה שטופלה באוויר רגיל בלבד. השיפור במצב החולים היה קשור גם בשיפור משמעותי באיכות החיים [7].

ברצוננו להציג גם עבודות נוספות על פגיעות הדומות למקרים שהוצגו. נזקי קרינה לשלפוחית השתן ולחלחולת הם לרוב קשים לטיפול באמצעים המקובלים. דימומים הם תופעה שכיחה ובמקרים מסוימים מצריכים עירוי דם. תופעה שכיחה נוספת היא דחפיות ותכיפות במתן שתן וצואה, עקב ירידה בקיבולת השלפוחית, כאבים ואי שליטה על מתן שתן וצואה גם הם תופעה מוכרת וקשה.

Oscarsson וחב' [8] בדקו 35 מטופלים ומצאו כי טיפול בחמצן היפרברי הוביל להקלה בתסמינים ב-76% מהמטופלים עם דלקת שלפוחית השתן, ב-89% מהמטופלים עם דלקת החלחולת, וב-88% מהמטופלים עם דלקת שלפוחית השתן (ציסטיטיס) ודלקת החלחולת (פרוקטיטיס) גם יחד. לא היו השפעות לוואי לטיפול, ובמעקב אחר המטופלים נמצא כי השיפור נותר יציב גם בתום חצי שנה ושנה לאחר הטיפול. בעבודה נוספת של Mathews וחב' [9], נבדקה השפעת הטיפול ההיפרברי בקרב 17 מטופלים עם דלקת שלפוחית שתן דימומית, אשר טופלו בחמצן היפרברי. הדימום בשתן פסק לחלוטין ב-11 מתוך 17 המטופלים (64%). מבין הנותרים, שני מטופלים נותרו עם המטוריה מיקרוסקופית ושני מטופלים נוספים נפטרו מסיבוכי המחלה במהלך הטיפול. בשני

היפרברי, במסגרת תא לחץ, בהוריה מוכרת בסל הבריאות של נזק לרקמה עקב הקרנות (Post radiation necrosis). ד' טופלה בתא לחץ בפרוטוקול של 60 טיפולים יומיים רצופים, חמישה ימים בשבוע, תוך נשימת 100% חמצן במסיכה בלחץ סביבתי של שתי אטמוספירות. בתום 40 טיפולים בוצעה בדיקת לרינגוסקופיה אופטית שהוכיחה שיפור ניכר בבצקות. במקביל, חל שיפור ניכר ברמת הצרידות וברמת הכאב בצוואר. בנוסף לכך ציינה החולה כי חל שיפור במלאות שיער הראש, במצב הרוח וברמת התפקוד היומיומי. לנוכח זאת השלימה החולה סידרה נוספת של 20 טיפולים שבסופם אף חזרה לעבודתה.

## מפרשת חולה 2:

ש', מטופל בן 70 שנים, ברקע סוכרת מסוג 2, היפרליפידמיה ואירועים נשנים של דלקת בלבב, שבגינם עבר כריתה של זנב הלבב. המטופל אובחן כלוקה בסרטן הערמונית, דרגה גליסון 3+4. במסגרת זו טופל החולה בסדרת הקרנות (External Beam Radiation Therapy – EBRT) משולבת עם טיפול הורמונאלי. לאחר השלמת הטיפול בקרינה, סבל במשך שנתיים מדימומים קשים מהחלחולת ומשלפוחית השתן שגרמו לאנמיה קשה, סחרחורות וחולשה. הדבר השפיע על מצב הרוח, חלה הרעה באיכות חייו, הוא נמנע מלצאת מביתו ובשל כך אף סבל מבידוד חברתי. בהמלצת רופאת המשפחה קיבל המטופל טיפול בחמצן היפרברי באבחנה של Post radiation hemorrhagic proctitis and hemorrhagic cystitis. המטופל טופל בתא לחץ בפרוטוקול המקובל. לאחר סידרה של 43 טיפולים, הדימומים פסקו לחלוטין. לנוכח זאת השלים 17 טיפולים נוספים, ובבדיקה אנדוסקופית וציסטוסקופית נראתה החלמה של הרקמה המוקרנת.

## דיון

פגיעה בתאים בריאים הנחשפים לקרינה בדרכה למיטת השאת (Tumor) היא השפעת לוואי מוכרת של טיפול בהקרנות [3]. קיימות מספר תיאוריות להתפתחות נזק ברקמה בריאה בעקבות קרינה. התיאוריה העיקרית דנה בירידה בצפיפות של כלי הדם הקטנים ברקמות הבריאות. בשלב הראשון, פגיעה בכלי הדם (Endarteritis) מובילה להיפוסקולריזציה, לתת זילוח (היפופרפוזיה) ולנזק משנית לתת חמצון (היפוקסיה) של הרקמה המוקרנת. בשלב מאוחר יותר, הנזק כולל לייפת (Fibrosis) ודלדול (אטרופיה) של הרקמה [5,4]. קיימת גם תיאוריה המציגה אפשרות של תת חמצון ראשוני של הרקמה שהוקרנה, עקב הפרשת ציטוקינים באופן מקומי, הגורמים לעקה חמצונית ובעקבותיו, מתפתחים תהליך דלקת, פגיעה במיטוכונדריה ותת חמצון (היפוקסיה) שניוני. תהליכים אלה מביאים בהמשך להתפתחות לייפת (Fibrosis) חמצונית. בסופו של דבר, תהליך זה מוביל לנמק של הרקמה ובעקבות זאת לקשיים בריפוי ולעיכוב בהחלמת הרקמה המוקרנת.

עדויות ליעילות טיפול בחמצן היפרברי קיימות בספרות מזה שנים רבות. חמצן היפרברי נועד לטיפול בנזקי קרינה עוד משנות ה-70 של המאה הקודמת, אך רוב המחקרים

טיפול בחמצן היפרברי עשוי לפעול בדרכים שונות לריפוי רקמה עם נזק מקרינה, כגון הפחתת בצקת ברקמה, אנגיוגנזה ושפעול של פעילות מקרופאגית. התערבות זו היא הדרך היחידה שמביאה לעלייה בצפיפות כלי הדם ברקמה מוקרנת. הטיפול מתקיים בתא לחץ, בפרוטוקול של 60 טיפולים יומיים רצופים, חמישה ימים בשבוע, תוך נשימת 100% חמצן במסכה בלחץ סביבתי של שתי אטמוספירות.

השפעות הלוואי העיקריות מהטיפול הן: כ-10% מהמטופלים חווים קושי בהשוואת לחצים שיתבטא בלחץ באוזן התיכונה, העשוי להוביל לבארטראומה. זוהי בעיה מינורית שלרוב נפתרת בתרגול שיטות להשוואת לחצים. השפעות לוואי נדירות יותר הן בארטראומה בגתות הפנים (סינוסים) ובריאות. הרעלת חמצן אף היא נדירה בלחץ אטמוספרי נמוך זה: בספרות מדווח על שכיחות של 1,500–2,000:1. אוורת בית החזה וטיפול בתרופה בלאומיצין (Bleomycin) הן בבחינת הוריות נגד עקב סכנה לסיבוכים (כמו לייפת הריאה בעקבות נטילת בלאומיצין) [1].

### לסיכום

במאמר זה הובאו שתי פרשות חולים עם נזק לרקמות מקרינה בעקבות טיפול במחלת הסרטן. הטיפול המקומי בתסמינים לא ריפא את החולים, והשפעתו על התלונות הייתה מוגבלת ולא מספקת. סדרת טיפולים היפרבריים בתא לחץ הביאה לפתרון מלא של הבעיה והחלמת הרקמה הפגועה. במקרים אלה אנו מעוניינים להזכיר ולהדגיש את האפשרות לטיפול בנזק בקרינה בצורה יעילה, נעימה ולא כואבת. לטיפול מסוג זה מעט השפעות לוואי וסיכון זניח. זיהוי המטופלים הסובלים מהשפעות הלוואי של ההקרנות והפנייתם מראש לטיפול זה, הממומן בסל הבריאות, עשויים להיטיב עם המטופלים ולמנוע סבל מתמשך.

#### מחברת מכתבת: גליה מזרחי

מחלקה פנימית, בית החולים יוספטל, דרך יותם, אילת  
טלפון/פקס: 08-6355426  
דוא"ל: elgalyam@cclalit.org.il

מטופלים בלבד לא הועיל הטיפול בחמצן היפרברי, והדימום בחולים אלה נשנה. נמצא קשר חיובי בין התחלה מוקדמת של טיפול היפרברי לבין היעלמות הממצאים.

במחלות ממאירות של הלוע והגרון, נמצא כי נזקי קרינה לגרון כוללים בצקת, כאב, איבוד משקל, צרידות והיצרות דרכי האוויר העליונות, ובמצבים חמורים נזקקים המטופלים לפיום קנה (Tracheostomy) או לכריתת גרון (Laryngectomy). Filintis וחב' [10] מציגים את ממצאי מחקרם שהוכללו בהם 18 מטופלים שטופלו בחמצן היפרברי עם נזקי קרינה קשים לגרון. 13 מטופלים (72%) חוו שיפור משמעותי ולא נזקקו לכריתת גרון מלאה (Total laryngectomy), כל המטופלים שסיימו את הטיפול חוו שיפור משמעותי בקולם וביכולת הבליעה, בחמישה מטופלים (27.8%) נכשל הטיפול והם נזקקו לכריתת גרון מלאה. מהם, המחלה נשנתה במטופל אחד ארבעה חודשים לאחר תום הטיפול, וארבעה מטופלים פיתחו סיבוכים רפואיים דחופים הקשורים למחלתם הבסיסית [10]. תוצאות מחקר זה מצטרפות למחקרים נוספים שהוכחה בהם יעילות הטיפול בחמצן היפרברי לבעיה זו.

אחד החששות הוא כי מתן חמצן בכמויות גדולות עלול להחמיר את המחלה הממארת הבסיסית. סוגיית השפעת החמצן ההיפרברי על שגשוג תאי הסרטן נדונה רבות במחקרים. בשלושה מחקרים קליניים שכללו 72 מטופלים נמצא כי טיפול היפרברי מעודד התפתחות הסרטן או גרורותיו, בעוד שבמחקרים הכוללים מספר חולים גדול (3,000 מטופלים בקירוב) הוכח כי לחמצן היפרברי יש השפעה ניטראלית על שגשוג השאת הממאירה ולעיתים אף השפעה שלילית [11]. בעבודתם של Marx וחב' [12], נמצא חיזוק נוסף להשפעה הניטראלית של החמצן ההיפרברי. בעבודה זו עקבו החוקרים אחר 405 מטופלים שטופלו בנזקי קרינה, ונמצאה ירידה בהיארעות של הישנות הסרטן באלה שטופלו בחמצן היפרברי בשיעור של 19.6%, לעומת 28% באלה שלא קיבלו טיפול בחמצן היפרברי [12]. Feldmeier וחב' [11] טוענים שחמצן היפרברי פועל במנגנונים שונים על רקמה עם קושי בריפוי, בשונה מרקמה ממאירה או משלחת גרורות. מסקנתם הייתה שאין למנוע מהמטופלים טיפול בחמצן היפרברי עקב טענה זו.

### ביבליוגרפיה

- Bennett MH & Mitchell SJ, Hyperbaric and Diving Medicine. In: Kasper D, Fauci A, Hauser S & al (Ed) 2015. Harrison's Principles of Internal Medicine. 19<sup>th</sup> E. New York, US: MHC (McGraw-Hill ed) 774E. accessed online at: <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=331&sectionid=40727225>.
- Shaw EG, Rosdhal R, D'Agostino RB Jr & al, Phase II study of donepezil in irradiated brain tumor patients: Effect on cognitive function, mood, and quality of life. J Clin Oncol, 2006; 24: 1415-1420.
- Feldmeier JJ, Hyperbaric oxygen for delayed radiation injuries. Undersea Hyperb Med, 2004;31:133-145.
- Denham JW & Hauer-Jensen M, The radiotherapeutic injury - a complex 'wound'. Radiother Oncol, 2002;63:129-145.
- Delanian S & Lefaix JL, The radiation-induced fibroatrophic process: Therapeutic perspective via the antioxidant pathway. Radiother Oncol, 2004;73:119-131.
- Hampson NB, Holm JR, Wreford-Brown CE & Feldmeier J, Prospective assessment of outcomes in 411 patients treated with hyperbaric oxygen for chronic radiation tissue injury. Cancer, 2011; 118: 3860-3868.
- Clark RE, Catalina Tenorio LM, Hussey JR & al, Hyperbaric oxygen treatment of chronic refractory radiation proctitis: a randomized and controlled double-blind crossover trial with long-term follow-up. Int J Rad Oncol Biol Physics, 2008; 72(1):134-43.
- Oscarsson N, Arnell P, Lodding P & al,

- Hyperbaric oxygen treatment in radiation-induced cystitis and proctitis: a prospective cohort study on patient-perceived quality of recovery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013;87(4):670-675.
9. Mathews R, Rajan N, Josefson L & al, Hyperbaric oxygen therapy for radiation induced hemorrhagic cystitis. *J Urol*, 1999;161:435-437.
10. Filntis GA, Moon RE, Kraft KL & al, Laryngeal radionecrosis and hyperbaric oxygen therapy: report of 18 cases and review of the literature. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2000; 109:554-562.
11. Feldmeier J, Carl U, Hartmann K & Sminia P, Hyperbaric oxygen: does it promote growth or recurrence of malignancy? *Undersea Hyperb Med*, 2003;30:1-18.
12. Marx RE, Radiation injury to tissue. In: Kindwall EP, Whelan HT (Eds) *Hyperbaric Medicine Practice*, 2nd ed. Flagstaff, AZ: Best Publishing Co., 1999, pp 48-72.

כרוניקה

## מיעוטים מהגזע השחור בארה"ב הלוקים בזאבת מצויים בסיכון גבוה לאירוע מוח (Stroke)



בזמן תקופת המעקב אירעו 1,441 אירועי מוח בנכללים במחקר, 1,208 מהם היו אירועי מוח חסימתיים והשאר דימום. הסיכון הגבוה ביותר לאירוע מוח היה בקרב שחורים בגילים 40-49 שנים (HR=2.47) ובקרב היספאנים (HR=2.83).

החוקרים הסבירו כי אינם יכולים לספק מנגנון ביולוגי לתופעה, אך מצביעים על ההשפעה של יתר לחץ דם, השמנת יתר, שומנים בדם וסוכרת, וכן על חומרת מחלת הזאבת בקרב השחורים וההיספאנים, העלולים להעלות את הסיכון לאירוע מוח. החוקרים מדגישים כי הנכללים במחקר היו שייכים למדיקייר וייתכן שטיפולים שמעקב מחוץ לשירות זה עשויים לשנות את התמונה (Seminars in Arthritis and Rheumatism Available online 31 July 2018; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0049017218300593>).

איתן ישראלי

על פי דיווח של בית החולים לניתוחים מיוחדים בניו יורק, בנייתוח (אנליזה) שבוצע על ידי בארביאה וחב', נמצא כי לאנשים מהגזע השחור הלוקים בזאבת היה סיכון מוגבר של 34% ללקות באירוע מוח (HR=1.34), ובאנשים ממוצא היספאני הסיכון הוגבר ב-25% (HR=1.25) לעומת לבנים. הסיכון לאירוע מוח עם שטף דם הוגבר בקרב השחורים - HR=1.42, ולאירוע מוח חסימתי הוגבר ל- HR=1.33 בהשוואה ללבנים. להיספאנים היה סיכון מוגבר רק לאירוע מוח עם שטף דם HR=1.79 לעומת הלבנים.

החוקרים עקבו במשך זמן ממוצע של 3.7 שנים אחר 65,788 חולי זאבת שטופלו במערכת "מדיקייר", ש-91% מהם היו נשים. טווח הגילים היה 18-65 שנים, 42% היו שחורים, 38% לבנים, 16% היספאנים, 3% אסייתים ו-1% אמריקאים-ילידים. אירוע מוח אחראי לכשליש ממקרי המוות בלוקים בזאבת, ובקרב המיעוטים הפגיעה באיברים פנימיים היא לרוב חמורה יותר מזו בשלבנים.

כרוניקה

## חיידקים עלולים לפתח עמידות לאלכוהול



*Enterococcus faecium* (העמידים למספר סוגי אנטיביוטיקה), שבדודו מבתי חולים בין השנים 1997-2015, ומצאו כי בידודים מהשנים 2010 והלאה היו עמידים יותר לאיזופרופנול בריכוז 70% מבידודים משנים קודמות.

החוקרים ערכו ניסויים בדגם של התבססות החיידקים הללו במעי עכבר, ומצאו כי חיטוי משטחים באיזופרופנול לא מנע זיהום של המעיים בזנים העמידים יותר, לעומת הזנים הרגישים שהתבססו במעי העכברים. החוקרים בדקו גם את החתמים הגנומית של החיידקים ומצאו כי הזנים העמידים צברו מוטציות בגנים הקשורים עם קליטת פחמימות (אלכוהול הוא פחמימה) וחילוף חומרים. מוטגנזה נקודתית איששה את תפקיד הגנים הללו בסבילות של החיידקים לאיזופרופנול. החוקרים מעלים במאמרם בעיה זו, שעלולה לפגום בכל מערכות בקרת הזיהומים - בעיקר בבתי חולים; הם טוענים כי יש לבדוק ולהכניס לשימוש חומרי חיטוי נוספים, או שילוב של מספר חומרים הפועלים באתרים שונים של החיידקים, כדי להתגבר על בעיית העמידות.

איתן ישראלי

אלכוהול על נגזרותיו השונות משמש כחומר חיטוי יעיל בכל ענפי הרפואה והמחקר המיקרוביולוגי. סוגי אלכוהול שונים, כמו אלכוהול אתילי ואיזופרופילי בריכוז של 70%, מצויים בתמיסות לחיטוי ידיים בבתי החולים, ומשתמשים בהם במחקר ובתעשייה הביוטכנולוגית לחיטוי משטחים ותמיסות. אתר המטרה העיקרי של האלכוהול הוא קרומים ביולוגיים (ממברנות). הקרומים בנויים ממרכיבים שומניים וחלבוניים. לאלכוהול יש פעילות של המסה על המרכיב השומני, וכן פעילות של דנטורציה (שינוי מבנה מרחבי) על המרכיב החלבוני. הם פועלים גם על חלבונים נוספים, כגון אנזימים, ובכך פוגעים בחילוף החומרים בתאים.

הפגיעה בקרומי התאים מובילה לתמס התא ולפריצת מרכיביו החוצה. אלכוהול על סוגיו מחייב סביבה מימית לפעילות, ובריכוז גבוה (מעל 90%) האלכוהול אינו מחטא, אלא מייבש תאים ומביא לשימורם. הם אינם מחטאים, אלא מייבשים תאים ומביאים לשימורם. עקב כשלים במערכות בקרת הזיהומים שהתרחשו בבתי חולים ברחבי ארה"ב, בדקו פידו וחב' (Science Translational Medicine 2018;10:eaar6115) 139 זנים של חיידקים מסוג