

מודל התפשטות מרחבי של מחלת הכלבת המבוסס על דינאמיקה של אוכלוסיות השועל המצוי בגליל, ככלי לפיתוח דגמי פיזור אופטימאליים של פיתיונות חיסון לכלבת

2006

חוקר: עמית דולב, מו"פ צפון, מיג"ל, קרית שמונה

* סיכום זה הינו תקציר עבודת דוקטורט שהוגשה בשנה זו לאוניברסיטת בן גוריון

הכלבת הינה מחלה נגיפית חשוכת מרפא הנפוצה בקרב כלביים שעלולה להיות מועברת לבני אדם. לאורך ההיסטוריה נתפסה המחלה כאיום חמור על חברת האדם. מאמצים רבים מושקעים בעשורים האחרונים בניסיונות להבין את הדינאמיקה של הכלבת בחיות בר כבסיס למציאת דרכים למניעת התפרצותה והתפשטותה במרחב. כמחלה תלוית צפיפות, מניעת התפרצות המחלה אפשרית על ידי הקטנת מספר הפונדקאים הפוטנציאליים. לאורך שנים נעשו מאמצים רבים (ללא הצלחה) להקטין את אוכלוסיות הפונדקאים למחלה מקרב חיות הבר בשיטות של הרעלה וצייד. בעשורים האחרונים פותח פיתיון המיועד לחיסון חיות בר המכיל תרכיב לחיסון כלבת המפוזר מהאוויר (ORV), שאכילתו גורמת לפיתוח נוגדנים למחלה. שיטה זו נחלה הצלחה בחסימת התפרצויות הכלבת במערב אירופה, צפון אמריקה וישראל. עם זאת, הצלחת החיסון מותנית בחיסון חלק ניכר מאוכלוסיית היעד (60-70% מהפונדקאים) באזור גיאוגרפי נתון. הפיזור האווירי מתבצע על ידי פיזור אחיד בצפיפות של 15-20 פיתיונות לקמ"ר. עלויותיה הגבוהות של השיטה מהוות בסיס לניסיונות לייעולה המשותפים על הבנת דפוס התפשטות הכלבת וייעול דרכי פיזור הפיתיונות במרחב. עבודה זו התמקדה בניסיון להבין את דינאמיקת הווקטור העיקרי לכלבת – השועל המצוי (*Vulpes vulpes*) - ובלימוד דפוסי התפשטות המחלה בעבר בישראל, כבסיס ליצירת מודל מבוסס פרט ומרחב אמיתי להתפשטות מחלת הכלבת. מודל זה שימש כלי לחיפוש דרכי פיזור יעילות יותר של ORV מהאוויר תוך שמירה על יעילות החסימה להתפשטות מחלת הכלבת.

לימוד דינאמיקת השועל המצוי בגליל היווה את השלב הראשון בעבודה כבסיס לקבלת פרמטרים למודל של כלבת בפונדקאי העיקרי במרחב הגליל. שלב זה עסק בניסיון לעמוד על הגורמים המשפיעים על צפיפות השועלים במרחב ועל דפוסי תנועתם בו. מעבודות קודמות, מוכר היה שמשאבי קיום שמקורם בפעילות האדם (מזבלות, פסדי בע"ח) מהווים גורם מרכזי להתפתחות אוכלוסיות יתר של חיות בר, ומשפיעים באופן מקומי על צפיפות אוכלוסיותיהם. לאוכלוסיות יתר אמורה להיות השפעה מכרעת על דינאמיקת הכלבת. אולם, השפעות אנטרופוגניות אלה לא נבחנו בצורה מעמיקה עד כה. לדוגמה, בנוסף לצפיפות האוכלוסייה, כל ההיבטים הדמוגרפיים צפויים להיות מושפעים, כמו שינוי בשיעור הילודה והתפוצה של מתבגרים והשפעה על המבנה החברתי באזורים הסמוכים. לצורך כך בוצעה השוואה של דינאמיקת אוכלוסיות השועל המצוי הסמוכות למקורות אנטרופוגניים (פסדים של חוות לולים) לעומת אוכלוסיות המצויות בשטחים הטבעיים. בוצעו מעקבים אחר 77 שועלים ממושדדים (39 בוגרים ו-38 תת-בוגרים) ב-9 אתרים

הנבדלים ברמת הסניטציה שלהם, והוערכו צפיפויות האוכלוסייה בעזרת טכניקות מתקדמות של mark-resight. נמצא שצפיפויות השועלים בסמוך ליישובי לולים היו גדולות פי 5 לערך מאלו שבאזורים הטבעיים (23-16 לעומת 5-2 שועלים לקמ"ר בהתאמה). גיוס ממוצע למאורה היה 4.6 לעומת 2.8 תת-בוגרים לשנה בהתאמה, ומשקלם הממוצע היה גבוה ב-22% באזור יישובי לולים לכל אורך עונת הגידול. גודל תחום המחיה של השועלים היה דומה בשני סוגי האזורים (6.1 ± 0.8 S.E. km²). תפוצה (dispersal) תועדה רק בזכרים תת-בוגרים (35%, n=20) שמקורם באזורים בעלי רמת סניטציה נמוכה שבהם גיוס עודף של עשרות שועלים בשנה ליישוב. פרטים אלה מהגרים ברובם לתוך אזורים טבעיים. במרחב הגליל בו מצויים כ-30 יישובים בעלי מאפיינים דומים, ישנו גיוס עודף של יותר מ-1000 שועלים בשנה. לימוד דינאמיקת התנועה של השועלים כתלות בעונה ומאפייני הנוף הצביעה על קיומם של שני סוגים של תנועות ארוכות טווח: 1. הפצה (dispersal) חד כיוונית לטווחים של 7.8 ק"מ בממוצע שנעשית בעונת הסתיו ע"י פרטים תת-בוגרים (בעיקר זכרים). 2. מסעות ארוכי טווח (long range forays) הכוללים תנועה זמנית לטווח ממוצע של 5.3 ק"מ, הנעשים ע"י פרטים מכל קבוצות הגיל והזוויה בכל עונות השנה, בתדירות של 1~ לשנה אצל כ-80% מהאוכלוסייה. תוצאות המעקבים אחר תנועתם של השועלים במרחב הצביעו על חסמים שונים במרחב המשפיעים על הסתברות השועלים לנוע בהם: (1). נמצא שקיימת העדפה בשיעור של 70% לנוע בשיפועים הקטנים מ-20° והימנעות מתנועה בשיפועים הגדולים מ-40°. (2). בחינה משווה של שיעור הידרסותם של שועלים הראתה שבכביש ראשי נמצא שיעור דריסות הגבוה פי 4 מכביש מהיר, דבר שמרמז על היותם של כבישים מהירים מחסום למחצה לחצייתם של שועלים בשיעור של כ-75%. (3). תעלות מים/נהרות כדוגמת המוביל הארצי ניתנות לחצייה רק בגשרים.

השלב השני בעבודה היה ניתוח אירועי כלבת בישראל בשנים 1980-2004. ניתוח זה היווה נדבך משלים לקבלת פרמטרים המאפיינים את דינאמיקת הכלבת בישראל. נמצא שמקרב חיות הבר בישראל, כ-87% ממקרי הכלבת המתועדים בשנה אירעו בשועל מצוי וכ-7% בתן (*Canis aureus*). ניתוח מרחבי של מקרי הכלבת המתבסס על הסיכוי להעברת המחלה, הצביע על כך שאירועי הכלבת בישראל נבדלים זה מזה במרחב ובזמן. אירועים אלו נחלקים לשלוש קטגוריות: א. אירועים מקומיים שטווח התפשטותם ומשך שהותם קצר. ב. אירועים של התפשטות דיפוזית של הכלבת באזור גיאוגרפי מוגבל. ג. אירועי התפרצות כלבת רחבה שכללו התפשטות רחבה לטווח ממוצע של כ-35 ק"מ. התקדמותם של התפרצויות כלבת הייתה מוגבלת למרחב גיאוגרפיים הסמוכים לאזור החדירה ללא סינכרוניזציה בין אזורים שונים בישראל. תקופת התרחשותו של אירוע מוגבלת לפרק זמן של עד 4 שנים כולל דעיכה והעלמות עצמאית של המחלה מהמרחב (ללא חיסון). נצפה הבדל בתדירות ההתפרצויות בין אזורים ים-תיכוניים לאזורים מדבריים, שם הפרש הזמן בין התפרצויות כלבת היה גדול מ-4 שנים. פרק זמן זה מבטא את זמן ההתאוששות של האוכלוסייה מהתפרצות קודמת, ולאחריו עלולה להתרחש התפרצות מחודשת במידה ותהיה חדירה מחודשת של נשאים. הנתונים גם מעידים על כך שמרחב גיאוגרפי בגודלה (ובמיקומה) של ישראל אינו מאפשר קיום אוטונומי של מחלת הכלבת לאורך זמן.

בשלב השלישי יצרתי מודל מסוג Spatially realistic individual based model לחיקוי (emulation) דפוס ההתפשטות של מחלת הכלבת, שהתבסס על מאפייני הדבקה וחולי של וירוס הכלבת לצד נתונים אמפיריים על הדמוגרפיה והתנועה של השועל המצוי בגליל (הווקטור העיקרי למחלה) ופרמטרים של התפשטות הכלבת בישראל במרחב ובזמן. מודל זה כלל את מגוון התחומים הבאים כבסיס לדפוס התפשטות הכלבת: 1. דמוגרפיה - גיוס ותמותה טבעית של שועלים. 2. עקרונות תנועה של שועלים במרחב. 3. הדבקות במחלת הכלבת ותמותה ממנה. 4. השפעת התפרצות כלבת על גיוס פרטים בשנה עוקבת. במודל היו אלמנטים סטוכסטיים בעיקר בהקשר של הפיזור הראשוני של שועלים במרחב, נקודת החדירה של שועלים נגועים לגליל, תנועה ורבייה. מכיוון שמטרתו של מודל זה לחקות את דפוסי התפשטות הכלבת בגליל, ומתוך מטרה בהמשך לבחון דגמי פיזור חיסון (ORV) שונים למחלה, היה צורך למצוא מגוון דגמים שונים של התפרצות הכלבת. לצורך כך נבחרו 20 חזרות מודל שונות (סדרות מספרי אקראי) שהביאו להתפרצויות בדגמים שונים. השוואת מאפייני התפשטות אירועי הכלבת במודל למאפייני אירועי הכלבת שהתרחשו בישראל בשנים 1980-2004, מלמדת על דמיון רב במרבית המאפיינים (טווח חזית מחלה, פרק זמן לשהות כלבת במרחב מאירוע חדירה יחיד, מהירות התקדמות), וכמו כן ניכר דמיון במאפייני ההתפשטות במרחב של המחלה לחוקיות התנועה בשועל מצוי שנצפתה בגליל. מבחני רגישות שימשו לבחינת אפקט אי הוודאות של פרמטרים שבסיס הידע עבורם היה דל ועשויה להיות להם השפעה ניכרת על המודל. מבחני רגישות שכללו אינטראקציה בין הפרמטרים אפשרו קבלת תחום הערכים שבהם צפוי המודל לגרום להתפרצויות כלבת הדומות במאפייניהן להתפרצויות שתועדו בישראל. בעזרת המודל בוצעה בחינה של התרומה להפצת המחלה ע"י שילוב פונדקאים שטווחי תנועתם ארוכים משל שועל מצוי (כגון התן), ונמצא שבמרחב הגליל, נוכחותם של נשאים ארוכי טווח מהווה נדבך בהפצת המחלה, אך מציאותם איננה הכרחית להפצתה. מצב זה תומך בהשערה שהמצב במרחב הגליל לפני תחילת פיזור ORV איננו 'מרחב כתמי' אלא 'מרחב רציף', ולכן מתאפשרות התפרצויות המחלה גם כאשר הפונדקאי העיקרי מאופיין על ידי טווחי תנועה קצרים יחסית.

בשלב הרביעי של המחקר בחנתי דרכי פיזור שונים של ORV בכדי לבדוק אם ניתן למנוע התפרצויות עתידיות של כלבת בדגמי פיזור ממוקדים. גישה זו מניחה שלצורך חסימת התפשטות המחלה במרחב נתון, אין חובה בפיזור אחיד על פני המרחב, אלא נדרשת יצירה של אזורי חיץ שבהם תישמר צפיפות פיזור פיתיונות ORV כמומלץ בפיזור האחד (20-15 לקמ"ר). לפי גישה זו ניתן יהיה לצמצם את כמות הפיתיונות הנדרשים ו/או את גודל שטח הפיזור במרחב נתון, מבלי לפגוע בחליפת ההגנה שמספק מחזור חיסון למרחב נתון.

במודל בחנתי את מידת יעילותם של 8 דגמי חיסון שונים לחסימת התפשטות מחלת הכלבת ביחס לחיסון אחיד של המרחב כולו. דגמי החיסון הדיפרנציאליים כללו דגמי חיסון מסודר של רצועות שבהן פוזרו פיתיונות ORV ללא התייחסות למיקום ולתנועת השועלים במרחב, לעומת דגמי חיסון ממוקד שכללו דגמי פיזור המושתתים על פיזור השועלים במרחב, דפוסי תנועותיהם במרחב ובזמן וחסמים למחצה להתקדמותם. בחינת איכות החסימה של דגמי הפיזור השונים נעשתה בעזרת השוואת הפרמטרים הבאים: משך הזמן מחדירת המחלה למרחב עד היעלמותה,

מספר השועלים שנפגעו מהתפרצות כלבת והטווח המקסימאלי של חזית המחלה. נמצא שקיימים דגמי פיזור ממוקד של ORV המבוססים על דינאמיקת השועלים במרחב, המאפשרים הקטנת ההסתברות לחדירת המחלה למרחב המוגן (הגליל) ביעילות דומה לפיזור אחיד של ORV, תוך מיקוד של החיסון בשטח הקטן ב-75%-60 מהשטח בו מבוצע הפיזור כיום. כמו כן בוצעה בדיקה משלימה של השפעת מועד חדירת הנשאים למרחב ביחס לתקופת הפיזור של ORV, ונמצא שיעילות חסימת התפרצות הכלבת של דגם החיסון האופטימאלי נותרת דומה ליעילותו של דגם הפיזור האחיד בכל העונות. מתוך תוצאות מודל זה הוגדרו עקרונות מומלצים לפיתוח דגמי פיזור דיפרנציאליים של ORV.