

Секція: Економічна кібернетика

ПУШКО АНТОН ВІКТОРОВИЧ

студент кафедри математичного моделювання економічних систем

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОФІЛАКТИЧНИХ СТРАТЕГІЙ ПРОТИ РОТАВІРУСНОЇ ІНФЕКЦІЇ

У наш час за неспинного зростання цін на ліки в умовах жорстко обмеженого економічними факторами бюджету перед країнами Європи та України постає серйозне питання вибору раціональних програм охорони здоров'я, і одними з них є програми зниження швидкості поширення інфекційних захворювань у популяції.

Ротавірусна інфекція є актуальною проблемою для охорони здоров'я для країн Європи, у тому числі і для України, що обумовлено значним поширенням ротавірусів, а також їх здатністю спричиняти тяжкі форми дегідратуючої діареї у дітей у перші п'ять років життя і цим створювати значні економічні збитки [1]. Профілактичними стратегіями боротьби з поширенням ротавірусної інфекції можуть бути програми вакцинопрофілактики та ізоляція хворих на РВІ шляхом карантину. Вибір оптимальних стратегій визначається двома факторами: рівнем керованості РВІ в популяції та вартістю програм імунізації та карантину.

Сучасним способом економічного аналізу стратегій вакцинопрофілактики інфекційних захворювань, у тому рахунку і РВІ, є математичне моделювання процесів розвитку захворювання у популяції як

сукупної моделі станів і переходів між ними. Результатом є дані про сезонність захворюваності, що знайдені на основі епідеміологічної статистики. У такому випадку вакцинопрофілактика та карантин є факторами, які керують швидкістю поширення захворювання та характеризуються певною безпечністю та ефективністю.

Позитивними наслідками профілактичних стратегій є не лише підвищення рівня популяційного здоров'я, зниження захворюваності і, відповідно, смертності, а й створення значного економічного ефекту: зниження загальних витрат ресурсів на боротьбу з поширенням інфекції, підвищення продуктивності праці. Внесення ротавірусних вакцин до Національного календаря щеплень [2] робить надзвичайно актуальною оцінку їх економічної ефективності та соціально-економічних наслідків вакцинації, враховуючи особливості процесу поширення РВІ.

Була створена залежна від віку (у днях) математична модель епідемічного процесу РВІ (SIR-модель) з урахуванням можливих профілактичних стратегій: вакцинації та карантину (рис. 1). Модель передбачає, що всі особи на початку життя є сприйнятливими, поступово переходячи у стан хворих та, після курсу лікування, до одужалих. Певна частина осіб відповідно до розміру охоплення вакцинацією стають вакцинованими. Також, можуть бути поміщені у карантин, що ґрунтується на їх попередній діагностиці за допомогою тесту на наявність РВІ. З огляду на малу тривалість захворювання та незначні наслідки від хвороби (ніколи не призводить до смерті) народжуваність та смертність вважаються нульовими, а розмір популяції - сталим. Відповідно до інструкції виробника вакцини «Ротарікс», вакцинація відбувається у два етапи: перший особа проходить на перших 48-60 днів життя, другий етап – на перших 88-168 днів життя [3].

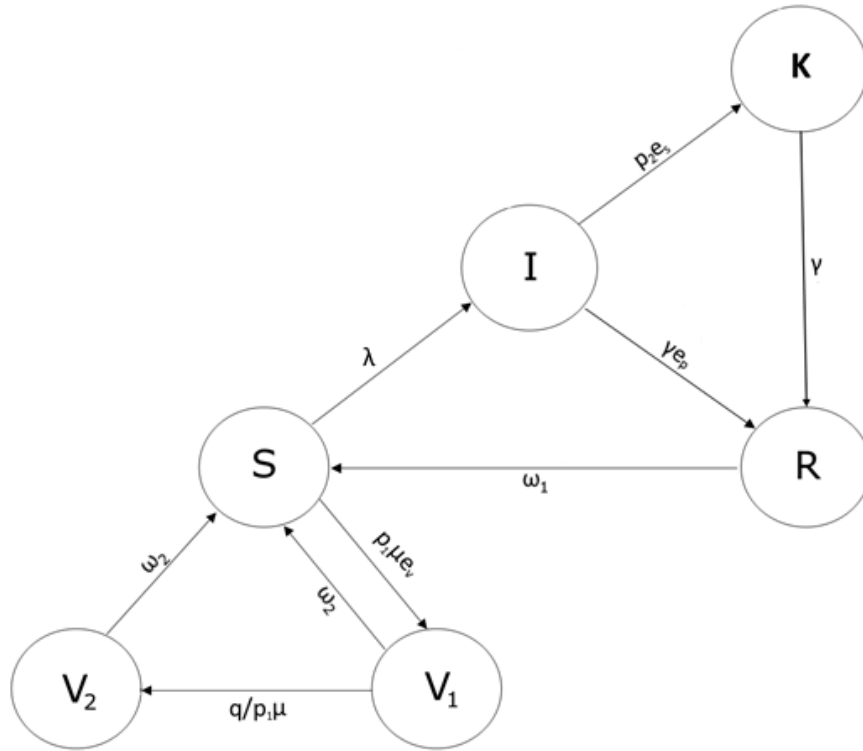


Рисунок 1. Епідемічна модель захворюваності на РВІ з можливими вакцинацією та карантинном

Дана модель описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\lambda S + w_2 V_2 + w_2 V_1 + w_1 R - S p_1 e_v \mu \\ \frac{dI}{dt} &= \lambda S - e_p \gamma I - p_2 e_s I \\ \frac{dR}{dt} &= e_p \gamma I + \gamma K - w_1 R \\ \frac{dV_1}{dt} &= S p_1 e_v \mu - w_2 V_1 - \frac{q}{p_1 \mu} V_1 \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{q}{p_1 \mu} V_1 - w_2 V_2 \\ \frac{dK}{dt} &= p_2 e_s I - \gamma K \end{aligned} \tag{1}$$

де $S(t)$ – особи, сприйнятливі до інфікування; $I(t)$ – хворі особи; $R(t)$ – особи, що одужали та мають тимчасовий імунітет; V_1 – особи, вакциновані першою дозою вакцини; V_2 – особи, вакциновані другою

дозою вакцини; K – інфіковані особи в карантині; λ – швидкість захворювання; γ – швидкість одужання; ω_1 – швидкість втрати набутого після перенесеного захворювання імунітету; p_2 – охоплення карантинном; p_1 – рівень охоплення першою дозою вакцини; q – рівень охоплення другою дозою вакцини; e_v – генотип-специфічна ефективність вакцини; ω_2 – швидкість втрати набутого після вакцинації імунітету; μ – відношення ефективності однієї дози до двох доз; e_s – чутливість діагностичного тесту; e_p – специфічність діагностичного тесту.

Соціально-економічний аналіз стратегій профілактики поширення РВІ ґрунтується на витратах [5], які включають в себе:

- прямі медичні витрати C_d , пов'язані з амбулаторними візитами, госпіталізацією тощо;
- непрямі медичні витрати C_{ind} , пов'язані, наприклад, з тимчасовою непрацездатністю батьків;
- витрати на вакцинацію C_v .
- витрати на карантин C_K .

Так, потік медичних витрат $C_I(t)$, пов'язаних із захворюванням, визначається як:

$$C_I(t) = S(t) \cdot \lambda(t) \cdot [C_{ind} + C_d] \quad (2)$$

Потік витрат $C_v(t)$, пов'язані із вакцинацією, визначається як:

$$C_v(t) = S(t) \cdot p_1 \cdot e_v \quad (3)$$

Потік витрат $C_K(t)$, пов'язані з карантинном, визначається як:

$$C_K(t) = I(t) \cdot p_2 \cdot e_s \quad (4)$$

Тоді сукупний потік витрат з огляду на охоплення вакцинацією:

$$C_S(t) = C_v(t) + C_I(t) + C_K(t) \quad (5)$$

У результаті дана модель відображає оптимальне співвідношення витрат на лікування до витрат на вакцинацію та карантин. Таке співвідношення має назву утилітарний оптимум [3,4]. Таким чином, вирішення задачі мінімізації для виразу (5) дає змогу визначити рівень охоплення вакцинацією, який є утилітарним оптимумом.

Отже, в результаті роботи було побудовано економіко-математичну модель боротьби з поширенням РВІ шляхом застосування вакцинації та карантину з урахуванням природного процесу захворюваності на ротавіруси. Формально визначений підхід до ідентифікації утилітарного оптимуму при соціально-економічному аналізі профілактичних стратегій. Це може бути використано для отримання відповіді на питання, чи є вакцинопрофілактика РВІ або карантин економічно ефективними. І, якщо навіть вакцинація та карантин будуть визначені як економічно неефективні, проведення профілактичних стратегій є соціально необхідним для підвищення рівня життя.

Література

1. Ротавіруси людини та ротавірусна інфекція: сучасний погляд на етіопатогенез (огляд літератури)/ С. О. Соловйов, І. Г. Костенко, О. П. Трохименко та інші//Зб. наук. праць співроб. НМАПО. – 2010.– Вип. 19, кн. 1.– С.652–661.
2. Наказ МОЗ України № 551 «Про удосконалення проведення профілактичних щеплень в Україні» від 11.08.2014 р.
3. Rotarix™ vaccine administration instruction:
http://us.gsk.com/products/assets/us_rotarix.pdf
4. Bauch, C. T., Galvani, A. P. & Earn, D. J. D. 2003 Group interest versus self-interest in smallpox vaccination policy. Proc. Natl Acad. Sci. USA 100, 10 564 –10 567. (doi:10. 1073/pnas.1731324100)
5. Анализ «стоимости болезни»: виды, методология, особенности проведения / Ягудина Р. И., Зинчук И. Ю., Литвиненко М. М. // Фармаэкономика. Том 5, №1, 2012 г., с.4-9.