

К.Л. АТОЄВ

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *konstantin_atoyev@yahoo.com*.

П.С. КНОПОВ

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *knopov1@yahoo.com*.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ Т-ІМУННОЇ ВІДПОВІДІ У РАЗІ COVID-19¹

Анотація. Розроблено математичну модель для дослідження впливу стану колективного імунітету на перебіг пандемії COVID-19. Модель враховує різні ланки імунної системи та дає змогу досліджувати механізми виникнення режимів метастабільного хаосу під час імунної відповіді. Досліджено взаємозв'язок між станом енергетичної системи клітини та динамікою імунної відповіді. Розглянуто задачу оптимального керування імунною відповіддю для мінімізації ризику патологічних порушень, пов'язаних із надмірним запаленням унаслідок синдрому викиду цитокінів в організмі у разі COVID-19. Показано, як зміни у різних ланках імунної системи впливають на тривалість захворювання. Визначено залежність загальної кількості уражених вірусом клітин від зміни балансу синтезу та витрачання енергії у клітинах.

Ключові слова: математичне моделювання, модель Т-імунної відповіді, COVID-19, оптимальне керування, детермінований хаос.

ВСТУП

У разі захворювання COVID-19 одним із найсерйозніших ускладнень є надмірна імунна реакція, за якої рівень прозапальних цитокінів різко підвищується («цитокіновий шторм»). Це призводить до порушення імунної системи, зростання рівня вільних радикалів, які є причиною множинних ушкоджень внутрішніх органів (легенів, серця, нирок, судин, печінки, шлунково-кишкового тракту, мозку), важкої поліорганної недостатності, а також змінює баланс процесів синтезу та витрачання енергії у клітинах. У результаті виникає загроза летального кінця. На жаль, конкретний механізм виникнення цитокінового шторму досі залишається нез'ясованим. Через це дослідження впливу стану імунної системи на перебіг захворювання COVID-19 є вельми актуальним.

У моделюванні епідемічного процесу як основні параметри, від яких залежить динаміка епідемії, зазвичай використовують такі: 1) середній інкубаційний період захворювання; 2) середній активний період, упродовж якого хворий є заразним; 3) середній період одужання; 4) середній період до настання смерті. Зауважимо, що ці константи епідеміологічних моделей є функціями стану імунної системи хворого, яка відіграє важливу роль у боротьбі з інфекцією. Мета цієї роботи — створення математичної моделі для дослідження залежності динаміки захворювання від стану імунної системи та аналізу можливих механізмів порушення балансу між різними її ланками, що призводять до цитокінового шторму.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЦИТОКІНОВОГО ШТОРМУ

Під час математичного моделювання реакції імунної системи на антигенні детермінанти різної природи (віруси, алергени, антигени пухлинної природи

¹ Роботу виконано в межах наукового проекту НАН України та Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (Австрія) (РК№ 0122Ш00552).