

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ



Διπλωματική Εργασία

«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

Καθηγητής: Λουκάς Ζαχείλας

Φοιτήτρια: Σοφία Τσινίδου

Βόλος, Σεπτέμβριος 2022



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

Εγώ, η Σοφία Τσινίδου του Βασιλείου, γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR» αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Βόλος, Σεπτέμβριος 2022



Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Λέξεις – κλειδιά	7
Abstract.....	8
Keywords	9
Εισαγωγή	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο ΕΠΙΔΗΜΙΕΣ.....	12
1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	12
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.3 Επιδημιολογία	14
1.4 Ομάδες σε κίνδυνο	15
1.5 Στρατηγικές πρόληψης	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° Ο ιός της ανεμευλογιάς	18
2.1 Γενικές πληροφορίες	18
2.2 Κλινικές εκδηλώσεις	18
2.3 Παθογένεια.....	19
2.4 Επιδημιολογία	19
2.5 Τρόπος μετάδοσης.....	19
2.6 Περίοδος μεταδοτικότητας και χρόνος επώασης	20
2.7 Διάγνωση	20
2.8 Επιπλοκές.....	21
2.8 Ευαισθησία στην ανεμευλογιά.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΙ.....	23
3.1 Πολιτική εμβολιασμών	23
3.1.1 Εμβολιασμός κατά της ανεμευλογιάς.....	24



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

3.2 Σκεπτικισμός	25
3.3 Ανάλυση της έννοιας της ανοσοποίησης	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΗΜΙΩΝ	28
4.1 Μαθηματικά μοντέλα	29
4.2 Επιδημιολογικά μοντέλα	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	31
5.1 Το επιδημιολογικό μοντέλο SIR	31
5.1.1 Βασικός ρυθμός αναπαραγωγής	34
5.1.2 Ανοσία αγέλης	35
5.1.3 Το μοντέλο SIR με γεννήσεις και θανάτους	35
5.1.4 Συνεχής εμβολιασμός κατά τη γέννηση	36
5.1.5 Κορεσμένος ευπαθής πληθυσμός	37
5.1.6 Το μοντέλο των Eichenbaum, Rebelo και Trabandt	38
5.2 Το μοντέλο SIR με δημογραφικά στοιχεία	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ	41
6.1 Οικονομική Επιδημιολογία	41
6.2 Το ελληνικό σύστημα υγείας	42
6.3 Οι οικονομικές επιπτώσεις	45
6.4 Η αξία του εμβολιασμού	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
7.1 Συμπεράσματα	48
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	51
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53



Περίληψη

Η παρούσα έρευνα προσδιορίζει τη σημαντικότητα του περιοδικού εμβολιασμού για την αντιμετώπιση των επιδημιών μέσω της μαθηματικής μελέτης του επιδημιολογικού Μοντέλου SIR και επικεντρώνεται στην περίπτωση της ανεμευλογιάς. Αναλυτικότερα, μελετά και ερμηνεύει τη μοντελοποίηση ενός πληθυσμού με συγκεκριμένα γνωρίσματα, ο οποίος έχει μολυνθεί από τη μεταδοτική νόσο και καταλήγει σε συμπεράσματα αναφορικά με τον τρόπο εξέλιξης του ιού της ανεμευλογιάς μετά τον υποχρεωτικό εμβολιασμό που επιβλήθηκε στους πολίτες, από τις κυβερνήσεις των κρατών, σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο πρώτο κεφάλαιο, εισάγεται η έννοια της επιδημιολογίας και περιγράφεται η εξέλιξη του συγκεκριμένου κλάδου, κατά την πάροδο των ετών, από τους επιστήμονες που ασχολήθηκαν με αυτόν. Επιπλέον, μελετάται η ασθένεια της ανεμευλογιάς και αναλύονται οι στρατηγικές πρόληψης του νοσήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρέχονται πληροφορίες για τον ιό της ανεμευλογιάς, ποιες είναι οι κλινικές εκδηλώσεις του και ποια η παθογένειά του, για τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδεται η ασθένεια, ποιος είναι ο χρόνος επώασής της, πώς γίνεται η διάγνωσή της και ποιες είναι οι επιπλοκές που δύναται να παρουσιάσει.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται η πολιτική του εμβολιασμού κατά της ανεμευλογιάς που ακολουθείται στη χώρα μας προκειμένου να προστατευτεί ο πληθυσμός και ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ανοσοποίηση του συνόλου της κοινότητας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται η μαθηματική μοντελοποίηση μίας επιδημίας, η οποία θα συμβάλλει στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις εκάστοτε παρεμβάσεις που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν στο εθνικό σύστημα υγείας της κάθε χώρας. Ειδικότερα, αναλύονται τα στοιχεία που πρέπει να μελετηθούν ώστε να μοντελοποιηθεί σωστά μία ασθένεια, ενώ παράλληλα, προσδιορίζονται οι έννοιες των μαθηματικών μοντέλων και των επιδημιολογικών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, μελετάται το επιδημιολογικό μοντέλο SIR και ο τρόπος με τον οποίο διαχωρίζει έναν ανθρώπινο πληθυσμό στις τρεις κατηγορίες των ευπαθών ατόμων, των μολυσμένων και των ιαθέντων, προκειμένου να τον μοντελοποιήσει και να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με την ασθένεια που ερευνά. Γίνεται εκτενής



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

αναφορά στον υπολογισμό του βασικού ρυθμού αναπαραγωγής μίας ασθένειας, ο οποίος εξάγει συμπεράσματα σχετικά με την πορεία μίας ασθένειας και την πιθανή εξέλιξή της σε επιδημία. Επιπρόσθετα, καταγράφεται η επίτευξη της ανοσίας ενός πληθυσμού και αναλύονται τα επιδημιολογικά μοντέλα που συμπεριλαμβάνουν στις μετρήσεις τους τις δηλούμενες γεννήσεις και τους θανάτους ενός πληθυσμού, καθώς επίσης και τα δημογραφικά στοιχεία που δημοσιεύει η κάθε χώρα.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει η οικονομική κρίση το σύστημα υγείας ενός κράτους, ποιες είναι οι οικονομικές επιπτώσεις σε ένα επιδημιολογικό μοντέλο και ποια είναι η αξία τους εμβολιασμού για το σύνολο μίας κοινότητας.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η παρούσα έρευνα και προτείνονται τα ζητήματα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας μελλοντικής εργασίας, σχετικά με την επίδραση που θα μπορούσε να παρουσιάσει το τετραπλό εμβόλιο της ιλαράς - ερυθράς – παρωτίτιδας – ανεμευλογιάς στους πληθυσμούς αναφορικά με τον περιορισμό εξάπλωσης των αντίστοιχων νοσημάτων και την πρόληψη εξέλιξής τους σε επιδημία.

Λέξεις – κλειδιά

Επιδημία, εμβολιασμός, μοντέλο SIR, ανεμευλογιά



Abstract

This research determines the importance of periodic vaccination in dealing with epidemics through the mathematical study of the SIR epidemiological model and focuses on the case of chickenpox. In more detail, it studies and interprets the modeling of a population with specific traits, which has been infected with the contagious disease, and reaches conclusions regarding the evolution of the chickenpox virus after the mandatory vaccination imposed on citizens by the governments of the states, at a global level.

In the first chapter, the concept of epidemiology is introduced and the development of the specific branch is described, throughout the years, by the scientists who dealt with it. In addition, the chickenpox disease is studied and disease prevention strategies are analyzed.

The second chapter, provides information about the chickenpox virus, its clinical manifestations and its pathogenesis, its transmission, the incubation time, its diagnosis and its possible complications.

The third chapter analyzes the policy of vaccination against chickenpox that is followed in our country in order to protect the population and the way in which the immunization of the entire community is achieved.

The fourth chapter describes the mathematical modeling of an epidemic which will contribute to making decisions about the respective interventions that should be carried out in the national health system of each country. In particular, the elements that need to be studied in order to properly model a disease are analyzed, while at the same time, the concepts of mathematical models and epidemiological ones are determined.

The fifth chapter investigates the SIR epidemiological model and how it divides a human population into the three categories of susceptible individuals, infected and cured, in order to model it and draw conclusions about the disease. Extensive reference is made to the calculation of the basic reproduction rate of a disease, that draws conclusions about the course of a disease and its possible development into an epidemic. Moreover, the achievement of the immunity of a population is analyzed as well as the epidemiological models that include in their measurements the declared



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

births and deaths of a population, as well as the demographic data published by each country.

In the sixth chapter, it is analyzed how the economic crisis affects the health system of a state, what the economic impact is on an epidemiological model as well as the value of vaccination for the whole community.

In the seventh and final chapter, the conclusions drawn by this research are presented and the issues that could be the subject of research of future work are proposed, regarding the effect that the quadruple measles - rubella - mumps - chickenpox vaccine could present on populations regarding the restriction of the spread of the respective diseases and the prevention of their development into an epidemic.

Keywords

Epidemic, vaccination, SIR model, chicken pox



Εισαγωγή

Η παραγωγή και εξέλιξη των εμβολίων αποτελεί αναμφίβολα ένα από τα σπουδαιότερα επιτεύγματα της Δημόσιας Υγείας, κατά τον προηγούμενο αιώνα. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο εμβολιασμός προφυλάσσει τόσο τα άτομα που εμβολιάζονται όσο και την ανθρώπινη κοινότητα στην οποία ανήκουν. Ωστόσο, παρατηρείται ολοένα και περισσότερο μία διστακτική διάθεση από τον πληθυσμό απέναντι στους εμβολιασμούς, είτε λόγω αμφισβήτησης της αναγκαιότητας των εμβολίων είτε λόγω μη αναγνώρισης της ασφάλειάς και αποτελεσματικότητάς τους. Επιπρόσθετα, ένα ακόμη ζήτημα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα, αναφορικά με την επίτευξη της ανοσοποίησης των πληθυσμών, είναι η συστηματική επανεκδήλωση πλήθους μολυσματικών νόσων και ο κίνδυνος εξέλιξής τους σε επιδημίες.

Στόχος της μελέτης των επιδημιών είναι να συγκεντρωθούν ολοένα και περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις επιδράσεις των παραγόντων που συμβάλλουν στην εξάπλωση των μεταδοτικών ασθενειών. Η επιδημιολογία, ως κλάδος της ιατρικής που ασχολείται με τον τρόπο μετάδοσης των επιδημιών, επιχειρεί να εξακριβώσει εάν μία επιδημία σταματά να εξαπλώνεται μόνο όταν δεν υπάρχουν πλέον υγιή άτομα προς νόσηση σε μία κοινότητα ή εάν οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των διαφόρων παραμέτρων μολυσματικότητας με τις παραμέτρους ανάρρωσης ή θνησιμότητας όταν δεν έχει νοσήσει ακόμη ολόκληρος ο πληθυσμός.

Πολλοί οικονομικοί αναλυτές μελετούν και δημοσιεύουν τις πιθανές οικονομικές επιδράσεις των επιδημιών σε παγκόσμια κλίμακα, οι οποίες δύνανται να είναι σοβαρές και να προβληματίσουν πολλές χώρες που βιώνουν συνθήκες οικονομικής αστάθειας και αβεβαιότητας. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τέτοια φαινόμενα είναι τα μαθηματικά μοντέλα, τα οποία εξυπηρετούν στην διερεύνηση της μετάδοσης και του ελέγχου μολυσματικών ασθενειών. Επιπρόσθετα, τα μαθηματικά μοντέλα συμβάλλουν στον σχεδιασμό και την εφαρμογή των επιδημιολογικών μελετών προκειμένου να προβλέψουν και να ανιχνεύσουν την κατεύθυνση εξάπλωσης των νοσημάτων και να την περιορίσουν.

Για να συσταθεί ένα επιδημιολογικό μοντέλο θα πρέπει προηγουμένως να καταγραφεί ένα σύνολο από παραδοχές αναφορικά με τη φύση του πληθυσμού που προσβάλλεται



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

και τους μηχανισμούς μετάδοσης μίας ασθένειας, οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο εξάπλωσης ενός ιού. Η παρούσα μελέτη αναλύει ένα επιδημιολογικό μοντέλο SIR (Ευπαθείς – Μολυσμένοι – Ιαθέντες) προκειμένου να ερευνήσει τη συμπεριφορά μετάδοσης της ανεμευλογιάς στα διάφορα επίπεδα ανοσοποίησης των πληθυσμών, αναδεικνύοντας παράλληλα τη σημασία και τα οφέλη που ανακύπτουν διαμέσου του εμβολιασμού. Στην περίπτωση ενός μοντέλου SIR και εφόσον το άτομο διένυσε μια χρονική περίοδο σε κατάσταση νόσησης, παρατηρούνται τρεις καταστάσεις στις οποίες μπορεί αυτό να μεταβεί: α) το άτομο πεθαίνει, β) το άτομο αναρρώνει και αποκτά ανοσία και γ) το άτομο δε μπορεί να μεταδώσει πλέον την ασθένεια.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο ΕΠΙΔΗΜΙΕΣ

1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η επιστημονική μελέτη περί της επιδημιολογίας ξεκίνησε την εποχή του μεσαίωνα όταν δημιουργήθηκε η ανάγκη να ερευνηθούν μεγάλες επιδημίες όπως είμαι η ευλογιά και η χολέρα. Ο Ιπποκράτης (460-357 π.Χ.), στο έργο του «Περί αέρος, ύδατος και τόπων», απασχολήθηκε αρχικά με το αντικείμενο της επιδημιολογίας και παρατήρησε τη σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα σε συγκεκριμένες νόσους και στον τόπο εμφάνισής τους, στις συνθήκες διαβίωσης του πληθυσμού, στις διατροφικές του συνήθειες, στις κλιματολογικές συνθήκες και σε άλλες αιτίες που μπορεί να επηρεάζουν τη μετάδοσή τους (Ντζούφρας και Περπέρογλου, 2009).

Ακολούθησε ο Graunt (1620-1674), ο οποίος ασχολήθηκε πρώτος με τη στατιστική επιδημιολογία, καθώς, παρά το γεγονός ότι τα συμπεράσματά του στηρίζονται σε δεδομένα, εστιάζει περισσότερο στη μέθοδο συλλογής τους απ' ότι στον τρόπο ανάλυσής τους. Επιπλέον, χρησιμοποίησε ποσοτικές μεθόδους για να μελετήσει τις ιδιαιτερότητες της βρεφικής θνησιμότητας και της θνησιμότητας των αγοριών (Teugels, 2006).

Μετάπειτα, ο Farr (1807-1883) ανέπτυξε το πρώτο εθνικό στατιστικό σύστημα ζωτικής σημασίας και διασφάλισε τη χρήση του ως μέσο επιτήρησης, προκειμένου να διεξαχθούν επιδημιολογικές μελέτες. Αναλυτικότερα, έθεσε τις βάσεις για την χρησιμοποίηση των δημογραφικών δεδομένων της Αγγλίας από τον κλάδο της επιδημιολογίας, από τις οποίες δημιουργήθηκε μία νοσολογία ασθενειών (Lilienfeld, 2007).

Ο συνομήλικος του Farr, John Snow (1813-1858), Βρετανός γιατρός, θεωρείται ένας από τους ιδρυτές της επιδημιολογίας, καθώς ήταν εκείνος που απέδειξε ότι η πηγή της εξάπλωσης μίας επιδημίας χολέρας που ξέσπασε κατά το 1854 ήταν μέσω του νερού και όχι μέσω του αέρα, όπως πίστευαν εκείνη την εποχή (Pelling, 2022).



Οι Kermack και McKendrick (1927) δημοσίευσαν πρώτοι το μοντέλο SIR και εισήγαγαν τα διαμερίσματα στα οποία αυτό επιμερίζεται ($S - I - R$), ερευνώντας μία μαθηματική απάντηση σχετικά με το χρόνο τερματισμού μίας επιδημίας.

Κατά τον 20^ο αιώνα, ο Wickwire (1977) ερευνήσε διεξοδικά την εφαρμογή της θεωρίας του μαθηματικού ελέγχου σε μοντέλα μολυσματικών ασθενειών που καταγράφηκαν έως τότε.

Ακολουθούν οι Clancy και Green (2007), οι οποίοι ασχολήθηκαν με τις βέλτιστες πολιτικές παρέμβασης για ένα στοχαστικό μοντέλο SIR συνεχούς χρόνου όπου υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τις τιμές των παραμέτρων.

Ο Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας (2019) της χώρας μας δημοσιεύει και θέτει στη διάθεση του πληθυσμού ένα προτεινόμενο χρονοδιάγραμμα για τον εμβολιασμό κατά της ανεμευλογιάς, προκειμένου να εκτελεστεί αποτελεσματικά η στρατηγική διαχείρισης του ιού και να περιοριστεί ο ρυθμός εξάπλωσής της.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η ανεμευλογιά ή ανεμοβλογιά είναι μία ιογενής λοίμωξη την οποία προκαλεί ο ιός ανεμευλογιάς – έρπητα ζωστήρα. Πρόκειται για DNA ιό της οικογένειας των ερπητοϊών, ένα από τα οκτώ δημοφιλέστερα στελέχη που προσβάλλουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο ιός μεταδίδεται είτε μέσω του αέρα, είτε μέσω μολυσμένων σταγονιδίων και αναπνευστικών εκκρίσεων. Ως βασικότερες επιπλοκές της ασθένειας καταγράφονται ο στρεπτόκοκκος της ομάδας A ή σταφυλόκοκκος, η εγκεφαλίτιδα, το σύνδρομο Reye, η αρθρίτιδα, η πνευμονία και παθήσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Στην Ελλάδα καθιερώθηκε ο υποχρεωτικός εμβολιασμός του πληθυσμού κατά της ανεμευλογιάς σε 2 δόσεις εμβολίου κατά την παιδική ηλικία, με την πρώτη να χορηγείται στην ηλικία 12-15 μηνών και τη δεύτερη 4-6 ετών.

Στη χώρα μας, η ανεμευλογιά έως το 2004 καταγράφονταν υποχρεωτικά ως νόσημα, στο Σύστημα Υποχρεωτικής Δήλωσης Νοσημάτων, οπότε και αντικαταστάθηκε από την ανεμευλογιά με επιπλοκές. Την χρονική περίοδο 2004 - 2011 καταγράφηκε



μείωση, με σταθερό ρυθμό, των επιπτώσεων της ασθένειας, με τα κρούσματα να αγγίζουν τα 0,03 – 0,31 ανά 100.000 κατοίκους, ενώ τα τελευταία έτη παρατηρείται μικρή άνοδος εμφάνισής της.

Η ανεμευλογιά εκδηλώνεται συχνότερα στις ηλικίες 0 – 4 ετών, με τη μέση ετήσια δηλούμενη συχνότητα τα 0,83 κρούσματα ανά 100.000 κατοίκους, κατά την χρονική περίοδο 2004 – 2021. Ακολουθούν οι ηλικίες 5 – 14 ετών με συχνότητα 0,25 κρούσματα ανά 100.000 κατοίκους, ενώ στις υπόλοιπες ηλικίες η συχνότητα εμφάνισης των κρουσμάτων κυμάνθηκε σε επίπεδα μικρότερα ή ίσα των 0,10 ανά 100.000 κατοίκους. Παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης της ανεμευλογιάς στο ανδρικό φύλο με μέση τιμή 0,14 κρούσματα ανά 100.000 κατοίκους, παρά στο γυναικείο όπου η μέση τιμή ήταν 0,10 κρούσματα ανά 100.000 κατοίκους (ΕΟΔΥ, 2022).

1.3 Επιδημιολογία

Ως επιδημία ορίζεται η εξάπλωση οποιονδήποτε λοιμωδών νοσημάτων και η διάδοσή τους σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σ' έναν τόπο (Μονοτονικό Λεξικό Δημοτικής, 1995). Η επιδημιολογία είναι εκείνος ο τομέας της ιατρικής που μελετά τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται οι ασθένειες και ειδικά εκείνες που πλήττουν μεγάλο τμήμα του πληθυσμού σε περιορισμένο χώρο και χρόνο. Στην περίπτωση όπου μία μεταδοτική ασθένεια παρατηρείται σε σταθερό ρυθμό σε έναν πληθυσμό μακροχρόνια, τότε νοείται ότι η ασθένεια ενδημεί. Η σύγχρονη επιδημιολογία ως κλάδος αναπτύχθηκε από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και διερευνά τόσο τους τρόπους και τις οδούς μετάδοσης των λοιμωδών νοσημάτων που οφείλονται σε μικρόβια και ιούς, όσο και τις παθήσεις και τις παθολογικές καταστάσεις που προέρχονται από παράσιτα ή από την έλλειψη ορισμένων ουσιών από τη διατροφή κάποιων πληθυσμών, λόγω οικονομικών ή περιβαλλοντικών παραγόντων. Επιπρόσθετα, η επιδημιολογία μελετά και μη λοιμώδη νοσήματα των οποίων η παθογένεια και οι προδιαθετικοί παράγοντες δεν είναι σαφείς (Εγκυκλοπαίδεια Δομή, 2000).

Χαρακτηριστικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση μίας επιδημίας είναι οι ακόλουθοι:



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

- η ύπαρξη εστιών του παθογόνου στοιχείου όπως είναι οι άνθρωποι ή τα ζώα που νοσούν
- η λοιμογόνος ισχύς του νοσογόνου παράγοντα
- τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μίας ασθένειας
- ο τρόπος με τον οποίο αποβάλλει ο κάθε οργανισμός τον ιογενή παράγοντα
- η ανθεκτικότητα του ιού ή του μικροβίου στο περιβάλλον
- η οικολογία του ζωικού βασιλείου που δρα ως φορέας ή ως ξενιστής
- οι συνήθειες των λαών και η πιθανότητα μετάδοσης από πληθυσμό σε πληθυσμό
- οι συνθήκες υγιεινής των πληθυσμών
- η ανοσοβιολογική και η γενική αντίσταση των οργανισμών, όπως είναι η διατροφή και η ψυχική κατάσταση
- οι κλιματικές συνθήκες και
- οι δυνατότητες πρόληψης και θεραπείας

(Εγκυκλοπαίδεια Δομή, 2000).

1.4 Ομάδες σε κίνδυνο

Στις ευπαθείς ομάδες ανήκουν όλα τα άτομα που δεν νόσησαν από την ανεμευλογιά ή δεν απέκτησαν ανοσία ή εμβολιάστηκαν αλλά δεν ανοσοποιήθηκαν. Η ανοσία αποκτάται έπειτα από νόσηση, είναι μόνιμη και προφυλάσσει τον άνθρωπο για το υπόλοιπο της ζωής του. Η ανοσοποίηση του ανθρώπινου οργανισμού μέσω εμβολιασμού ενδείκνυται κατά την ηλικία 12-15 μηνών για την πρώτη δόση εμβολίου και κατά την ηλικία 4-6 ετών για τη δεύτερη, και είναι κατά προσέγγιση 90% αποτελεσματική στην πρόληψη της ανεμευλογιάς. Ο εμβολιασμός προστατεύει τόσο εκείνον που εμβολιάζεται όσο και το περιβάλλον του και κυρίως, όσους είναι ανοσοκατεσταλμένοι και τις έγκυες γυναίκες. Ο έλεγχος για πιθανή εγκυμοσύνη δεν συστήνεται πριν τη χορήγηση του εμβολίου, ενώ παράλληλα δεν αποτελεί αιτία διακοπής της κύησης τυχόν εμβολιασμός κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Στα άτομα που εκτίθενται σε ασθενή με ανεμευλογιά θα πρέπει να διενεργηθεί εμβολιασμός ιδανικά κατά τις πρώτες τρεις ημέρες από την έκθεση, εφόσον δεν εμβολιάστηκαν ή δε



νόσησαν στο παρελθόν, εξαιρουμένων των εγκύων και των ασθενών με ανοσοκαταστολή (Υπουργείο Υγείας, 2021).

1.5 Στρατηγικές πρόληψης

Ως καλύτερος και αποτελεσματικότερος τρόπος πρόληψης της ανεμευλογιάς νοείται ο εμβολιασμός, ο οποίος συνιστάται να χορηγείται υποδορίως, σε δύο δόσεις.

Πριν εγκριθεί ο εμβολιασμός στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υποβάλλεται αρχικά σε αυστηρές δοκιμές από τον παρασκευαστή του και στη συνέχεια, αξιολογείται επιστημονικά από τις ρυθμιστικές αρχές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται διάφορες ρυθμιστικές αρχές που εδρεύουν σε κράτη – μέλη της ΕΕ και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Φαρμάκων. Αναλυτικότερα, οι δοκιμές αφορούν τον έλεγχο της ποιότητας του εμβολίου σχετικά με την καθαρότητά του, τα συστατικά του και τον τρόπο παρασκευής του. Ακολουθεί η διενέργεια δοκιμών από τον παρασκευαστή του εμβολίου αναφορικά με τις επιδράσεις του, οι οποίες πραγματοποιούνται στο εργαστήριο και σε ζώα. Μετέπειτα, ακολουθεί το πρόγραμμα τριών σταδίων κλινικών δοκιμών σε ανθρώπους, το οποίο τηρεί αυστηρά πρότυπα και πρωτόκολλα. Τέλος, ο παρασκευαστής του εμβολίου υποβάλλει τα αποτελέσματα των δοκιμών που διενήργησε στις ευρωπαϊκές ρυθμιστικές αρχές φαρμάκων προκειμένου να του χορηγηθεί άδεια κυκλοφορίας, η οποία δίνεται κατόπιν επιστημονικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και εφόσον προκύπτει ότι οι κίνδυνοι που συνδέονται με το εμβόλιο υστερούν των ευεργετημάτων του.

Στις χώρες – μέλη της ΕΕ κυκλοφορούν το τετραπλό εμβόλιο ProQuad κατά της ιλαράς, της παρωτίτιδας, της ερυθράς και της ανεμευλογιάς και τα εμβόλια Varilrix και το Varivax κατά της ανεμευλογιάς. Το ProQuad χορηγείται σε παιδιά άνω των 12 μηνών και συμβάλλει στην προστασία τους από την ανεμευλογιά. Εξαιρέση αποτελεί η χορήγησή τους από την ηλικία των 9 μηνών σε περιόδους επιδημικής έξαρσης ή σε ταξιδιωτική επίσκεψη σε περιοχές όπου η λοίμωξη από ανεμευλογιά είναι συνηθισμένη.



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

Τα εμβόλια περιέχουν μία εξασθενημένη μορφή του ιού που προκαλεί την ανεμευλογιά και όταν ένα άτομο εμβολιάζεται, τότε αποκρίνεται ανοσολογικά κατά του εξασθενημένου ιού. Εάν αργότερα, στη διάρκεια της ζωής του, το άτομο εκτεθεί στον πραγματικό ιό, τότε το ανοσοποιητικό του σύστημα αμύνεται κατά του ιού, εφόσον τον αναγνωρίζει και το προφυλάσσει από την ασθένεια (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο Ο ιός της ανεμευλογιάς

2.1 Γενικές πληροφορίες

Η ανεμευλογιά θεωρείται ως μία οξεία ιογενής νόσος, η οποία εκδηλώνεται με χαρακτηριστικά εξανθήματα και προκαλείται από τον ιό της ανεμευλογιάς – έρπητα ζωστήρα (varicella zoster virus – VZV), ένα από τα οκτώ δημοφιλέστερα στελέχη ερπητοϊών που μολύνουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο έρπης ζωστήρας νοείται ως μία ασθένεια που εκδηλώνεται σε τοπικά σημεία έπειτα από αναζωπύρωση του ιού VZV και δύναται να παραμείνει στον ανθρώπινο οργανισμό, υπό λανθάνουσα κατάσταση στα νευρικά γάγγλια, μετά την αρχική λοίμωξη. Σε ποσοστό 10-20 % των καταγεγραμμένων περιπτώσεων ο ιός επανενεργοποιείται και προκαλεί έρπητα ζωστήρα, κυρίως στην ηλικιακή ομάδα άνω των 50 ή σε ανοσοκατεσταλμένα άτομα. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα εκδήλωσης της ανεμευλογιάς θεωρούνται τα κνησμώδη και φυσαλιδώδη εξανθήματα, ο πυρετός και η κόπωση. (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022 και Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2022).

2.2 Κλινικές εκδηλώσεις

Κλινική εικόνα ασθενών συμβατή με ανεμευλογιά εκδηλώνεται με πυρετό και αιφνίδια εμφάνιση εξανθημάτων. Κατά τη νόσηση από ανεμευλογιά ο ασθενής μπορεί να εμφανίσει ήπια συμπτώματα ακόμη και πριν την εκδήλωση των εξανθημάτων. Ένας ενήλικας δύναται να αδιαθετήσει και να εμφανίσει πυρετό 1-2 ημέρες πριν την εκδήλωση των εξανθημάτων, ενώ στο παιδί τα εξανθήματα συνήθως συνιστούν και την απαρχή της νόσου. Τα εξανθήματα είναι γενικευμένα, προκαλούν κνησμό και εξαπλώνονται με γρήγορο ρυθμό. Αρχικά εμφανίζονται στο κεφάλι και το πρόσωπο κι έπειτα εξαπλώνονται προς τον κορμό και το υπόλοιπο ανθρώπινο σώμα. Στους ενήλικες, συχνά, παρατηρείται μία πιο βαριά κλινική εικόνα της ασθένειας και ο κίνδυνος επιπλοκών είναι περισσότερο αυξημένος σε σύγκριση με τα παιδιά, στα οποία η ασθένεια συνήθως εκδηλώνεται με αδιαθεσία, πυρετό λίγων ημερών και κνησμό (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).



2.3 Παθογένεια

Ο ιός της ανεμευλογιάς εισχωρεί στον ανθρώπινο οργανισμό είτε μέσω του επιπεφυκότα (ημιδιαφανής μεμβράνη που καλύπτει την εσωτερική επιφάνεια των βλεφάρων και την εξωτερική επιφάνεια του βολβού) είτε μέσω του αναπνευστικού συστήματος. Σε πρώτη φάση πολλαπλασιάζεται στο σημείο εισόδου, στην περιοχή των λεμφαδένων και του ρινοφάρυγγα, ενώ προκαλεί ιαμία 4-6 ημέρες μετά τη νόσηση. Έπειτα, ο ιός μεταφέρεται και σε άλλα όργανα όπως είναι το συκώτι και ο σπλήνας, όπου πολλαπλασιάζεται σε δεύτερη φάση προκαλώντας ορατή λοίμωξη του δέρματος (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

2.4 Επιδημιολογία

Τόσο ο έρπης ζωστήρας όσο και η ανεμευλογιά εκδηλώνονται σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ στη χώρα μας επιτηρείται μόνον η ανεμευλογιά με επιλοκές. Στις χώρες με εύκρατο κλίμα, έχει νοσήσει από ανεμευλογιά τουλάχιστον ποσοστό 90% του πληθυσμού έως την ηλικία των 15 ετών, με το ποσοστό να αυξάνεται στους νεαρούς ενήλικες. Επιπρόσθετα, στις χώρες αυτές η ανεμευλογιά εμφανίζεται συχνότερα κατά τους χειμερινούς ή εαρινούς μήνες. Στις χώρες με τροπικό κλίμα, η επιδημιολογία της ανεμευλογιάς καταγράφεται κυρίως στους ενήλικες, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες η νόσος εμφανίζεται συχνότερα σε ανθρώπους άνω των 50 ετών (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

2.5 Τρόπος μετάδοσης

Η ανεμευλογιά μεταδίδεται από άνθρωπο σε άνθρωπο είτε με άμεση επαφή, μέσω του αέρα ή εκκρίσεων και σταγονιδίων του αναπνευστικού συστήματος των ασθενών ή εκκρίσεων από τις δερματικές βλάβες των ασθενών, είτε με έμμεση επαφή, μέσω μολυσμένων αντικειμένων που προσβλήθηκαν από εκκρίσεις των δερματικών βλαβών ή των βλεννογόνων των νοσούντων (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).



2.6 Περίοδος μεταδοτικότητας και χρόνος επώασης

Η περίοδος μεταδοτικότητας της νόσου εκτείνεται από 1-2 ημέρες πριν από την εκδήλωση των εξανθημάτων έως και 4-5 ημέρες μετά, ενώ είναι πιθανόν να συνεχίζεται μέχρι οι βλάβες να δημιουργήσουν εφελκίδες. Στην περίπτωση νόσησης ανοσοκατεσταλμένων ατόμων, η ανεμευλογιά μεταδίδεται καθ' όλη τη διάρκεια εμφάνισης συμπτωμάτων. Ως νόσος, η ανεμευλογιά θεωρείται ως εξαιρετικά μεταδοτική, κυρίως στο πρώιμο στάδιό της.

Τα άτομα που νοσούν από ανεμευλογιά ασθενούν, συνήθως, 14-16 ημέρες έπειτα από την έκθεση στο ιό και ο χρόνος επώασης της νόσου είναι συνήθως 2-3 εβδομάδες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως είναι η παθητική ανοσοποίηση στον ιό του έρπητα ζωστήρα ή η ανοσοανεπάρκεια, δύναται να παραταθεί (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

2.7 Διάγνωση

Οι επιπτώσεις της ανεμευλογιάς έχουν περιοριστεί αισθητά έπειτα από την καθιέρωση του υποχρεωτικού εμβολιασμού κατά του ιού. Η κλινική εικόνα του ασθενούς, τις περισσότερες φορές, είναι αναγνωρίσιμη από έναν έμπειρο κλινικό ιατρό και για τον λόγο αυτό δεν επιβάλλεται η εργαστηριακή διάγνωση της νόσου. Ωστόσο, ο υποχρεωτικός εμβολιασμός περιόρισε την εμπειρία των κλινικών ιατρών στη διάγνωση της ασθένειας και προκάλεσε την ανάπτυξη εργαστηριακών μεθόδων που την επιβεβαιώνουν, όπως είναι η μοριακή μέθοδος ανάλυσης (PCR). Η μοριακή μέθοδος ανάλυσης είναι η περισσότερο διαδεδομένη και εξειδικευμένη, η οποία παρέχει άμεσα αποτελέσματα εντός λίγων ωρών από τη λήψη του δείγματος. Επιπρόσθετα, ο ιός του έρπητα ζωστήρα δύναται να διαγνωστεί με τη μέθοδο της απομόνωσης σε καλλιέργεια, η οποία είναι λιγότερο ευαίσθητη αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο για να εξάγει αποτελέσματα. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί και μέθοδοι ταχείας διάγνωσης του ιού που ενδείκνυνται σε σοβαρές περιπτώσεις νόσησης από ανεμευλογιά, όπου απαιτείται άμεση χορήγηση αντιϊκής θεραπείας στον ασθενή.

Το ιστορικό νόσησης από ανεμευλογιά αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη ανοσίας στον ιό του έρπητα ζωστήρα, καθώς τα εξανθήματα που εκδηλώνει είναι πλέον αναγνωρίσιμα.



Ωστόσο, σε προγράμματα εμβολιασμού ενηλίκων αναπτύχθηκε ποικιλία ορολογικών μεθόδων ανίχνευσης αντισωμάτων VZV, προκειμένου να ελεγχθεί η ανοσία στην ανεμευλογιά. Το σύνολο των αντισωμάτων έπειτα από εμβολιασμό συνήθως ανιχνεύεται μικρότερο σε σύγκριση με αυτό έπειτα από φυσική νόσηση. (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

2.8 Επιπλοκές

Η ανεμευλογιά, στις περισσότερες περιπτώσεις, αποτελεί μία ήπια αυτοπεριοριζόμενη ασθένεια. Ωστόσο, δύναται να συνοδεύεται και από επιπλοκές, με την πλέον συχνότερη να προκαλείται από δευτερογενή βακτηριακή μόλυνση των δερματικών βλαβών από στρεπτόκοκκο ή σταφυλόκοκκο. Ειδικότερα:

- σε βρέφη μικρότερα του ενός έτους συναντάται, κυρίως, πνευμονία ιογενούς ή βακτηριακής αιτιολογίας
- οι επιπλοκές από το κεντρικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου προκαλούν από άσηπτη μηνιγγίτιδα έως εγκεφαλίτιδα
- παιδιά που έλαβαν ασπιρίνη κατά την οξεία φάση της ασθένειας δύναται να εκδηλώσουν το σύνδρομο Reye, μία σπάνια πάθηση που προκαλεί σοβαρές βλάβες σε όλα τα οργανικά συστήματα, επηρεάζοντας κυρίως το ήπαρ και τον εγκέφαλο. Το σύνδρομο εκδηλώνεται κυρίως σε παιδιά ηλικίας 4-12 ετών.
- σπανιότερες επιπλοκές αποτελούν η θρομβοπενία, η εγκάρσια μυελίτιδα, το σύνδρομο Guillain-Barre, η κεραυνοβόλος πορφύρα, η αρθρίτιδα, η αιμορραγική ανεμευλογιά, η σπειραματονεφρίτιδα, η ορχίτιδα, η μυοκαρδίτιδα, η ραγοειδίτιδα, η ηπατίτιδα και η ιρίτιδα.

Οι επιπλοκές εκδηλώνονται σπανιότερα σε υγιή παιδιά, ενώ ο κίνδυνος εμφάνισης τους αυξάνει με την ηλικία του ασθενούς.

Στην περίπτωση των ανοσοκατεσταλμένων ατόμων, παρατηρείται αυξημένος κίνδυνος στη μετάδοση της νόσου, καθώς δύναται να εκδηλώσουν πολυοργανική συμμετοχή και η ασθένεια να εξελιχθεί σε κεραυνοβόλο και αιμορραγική. Η συνηθέστερη επιπλοκή σε αυτή την ομάδα ανθρώπων είναι η εγκεφαλίτιδα και η πνευμονία.



Στην περίπτωση νόσησης από ανεμευλογιά κατά τη διάρκεια εγκυμοσύνης, και ειδικότερα κατά τις πρώτες είκοσι εβδομάδες κυοφορίας, δύναται το νεογέννητο να εμφανίσει ποικίλες διαταραχές όπως είναι το χαμηλό βάρος γέννησης, οι δερματικές ουλές, η υποπλασία των άκρων, η εγκεφαλίτιδα, η μυϊκή ατροφία, η φλοιώδης ατροφία, ή η μικροκεφαλία. Στην περίπτωση νόσησης της μητέρας πέντε ημέρες πριν έως και δύο ημέρες μετά τον τοκετό, δύναται να προκληθεί κεραυνοβόλος λοίμωξη του νεογνού, ενώ ο δείκτης θνησιμότητάς του αγγίζει ποσοστό 30% (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

2.8 Ευαισθησία στην ανεμευλογιά

Ανάμεσα στους ενήλικες και στα παιδιά, οι ενήλικες είναι εκείνοι που εκδηλώνουν την πιο σοβαρή μορφή της νόσου. Η λοίμωξη παρέχει μακροχρόνια ανοσία σε όσους προσβλήθηκαν από τον ιό της ανεμευλογιάς, ενώ η επαναπροσβολή τους είναι σπάνια. Η επαναλοίμωξη εμφανίζεται κυρίως σε ανοσοκατεσταλμένα άτομα, όπου εκδηλώνεται ως υποκλινική νόσος. Ο ιός παραμένει στον ανθρώπινο οργανισμό, υπό λανθάνουσα φάση, και δύναται να επανεκδηλωθεί ως έρπης ζωστήρας έπειτα από χρόνια, κυρίως σε ενήλικες παρά σε παιδιά (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΙ

3.1 Πολιτική εμβολιασμών

Η πολιτική που ακολουθείται για τους εμβολιασμούς στην ΕΕ περιλαμβάνει, πέρα από τις αυστηρές δοκιμές που πραγματοποιούνται από την πλευρά του παρασκευαστή, και την επιστημονική αξιολόγηση από τις ευρωπαϊκές ρυθμιστικές αρχές. Αρχικά, ένα εμβόλιο υποβάλλεται σε δοκιμές προκειμένου να ελεγχθεί η καθαρότητά του, η ποιότητα των συστατικών του, τόσο των αδρανών συστατικών όσο και των «εκδόχων» του, καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο παρασκευάζεται. Ακολουθούν, από πλευράς του παρασκευαστή του εμβολίου, εργαστηριακές δοκιμές και δοκιμές σε ζώα, προκειμένου να εντοπιστούν οι επιδράσεις που αυτό επιφέρει. Έπειτα, πραγματοποιούνται κλινικές δοκιμές σε ανθρώπους, οι οποίες ολοκληρώνονται σε τρία στάδια με τη συμμετοχή διαρκώς περισσότερων ατόμων σε κάθε στάδιο. Το πρόγραμμα κλινικών δοκιμών οφείλει να τηρεί τις αυστηρές προδιαγραφές, διαδικασίες και τα πρωτόκολλα που ορίζουν οι ρυθμιστικές αρχές. Στη συνέχεια, αφού ολοκληρωθούν οι κλινικές δοκιμές και με τη συμμετοχή 20 – 100 υγιών εθελοντών, ελέγχεται εάν το εμβόλιο είναι αποτελεσματικό, εάν είναι ασφαλές και εάν επιφέρει ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Στη λήξη του προγράμματος δοκιμών και ελέγχων, ο παρασκευαστής καταθέτει τα αποτελέσματα στις ευρωπαϊκές ρυθμιστικές αρχές φαρμάκων, οι οποίες θα εγκρίνουν το εμβόλιο εφόσον αξιολογηθούν επιστημονικά τα αποτελέσματα και προκύψει ότι τα ευεργετήματα του εμβολίου υπερτερούν των κινδύνων που τυχόν να επιφέρει. Ειδικότερα, οι ρυθμιστικές αρχές προβαίνουν σε επιθεωρήσεις ώστε να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα που παρέχει ο παρασκευαστής είναι αξιόπιστα, καθώς επίσης και ότι οι παρτίδες των εμβολίων που διατίθενται στην αγορά πληρούν τις προδιαγραφές παρασκευής και τα κριτήρια ποιότητας. Η παρασκευή και έγκριση ενός εμβολίου δύναται να διαρκέσει περίπου δέκα έτη μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία και να διατεθεί στην αγορά, ενώ σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης για τη δημόσια υγεία το διάστημα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί (Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020a).



3.1.1 Εμβολιασμός κατά της ανεμευλογιάς

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2022), τα τρέχοντα εμβόλια ανεμευλογιάς είναι εξασθενημένα εμβόλια, τα οποία στηρίζονται στο στέλεχος Oka VZV. Αναλυτικότερα, το στέλεχος Oka VZV τροποποιείται μέσω διαδοχικού πολλαπλασιασμού σε διαφορετικές κυτταρικές καλλιέργειες κι έπειτα καθαρίζεται και λυοφιλοποιείται. Το εμβόλιο της ανεμευλογιάς έχει επίσης συμπεριληφθεί σε ένα συνδυαστικό εμβόλιο κατά της ιλαράς – παρωτίτιδας – ερυθράς, ενώ έχει αναπτυχθεί και ένα εμβόλιο που περιέχει υψηλότερα επίπεδα του ιού και χορηγείται στους ηλικιωμένους για την πρόληψη του έρπητα ζωστήρα.

Στις χώρες – μέλη της ΕΕ κυκλοφορούν τα εμβόλια ProQuad κατά της ιλαράς, της παρωτίτιδας, της ερυθράς και της ανεμευλογιάς και δύο είδη εμβολίων παρασκευασμένα από διαφορετικές φαρμακευτικές εταιρείες κατά της ανεμευλογιάς, το Varilrix και το Varivax (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012).

Ο Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας (2021) στη χώρα μας συστήνει την καθιέρωση εμβολιασμού με το εμβόλιο κατά της ανεμευλογιάς, σε 2 δόσεις, υποδορίως. Συγκεκριμένα, το Εθνικό Πρόγραμμα Εμβολιασμών προβλέπει 2 δόσεις εμβολίου, με την πρώτη να χορηγείται σε όλα τα παιδιά ηλικίας 12-15 μηνών και τη δεύτερη σε ηλικία 4-6 ετών και σε όλους τους ενήλικους πολίτες που γεννήθηκαν μετά το 1990 και δεν φέρουν αποδεδειγμένη ανοσία (είτε με νόσηση είτε με εμβολιασμό), εξαιρώντας τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει αντένδειξη. Το εμβόλιο ενδείκνυται και για επίνοσα άτομα άνω των 13 ετών. Ως ομάδες υψηλής προτεραιότητας στον εμβολιασμό θεωρούνται:

- οι ενήλικες που βρίσκονται σε άμεση επαφή με ευπαθή άτομα με υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης επιπλοκών,
- όσοι εργάζονται σε περιβάλλον συχνής εκδήλωσης της ανεμευλογιάς όπως είναι τα σχολεία και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα,
- το υγειονομικό προσωπικό που έρχεται σε στενή επαφή με άτομα που παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο σοβαρής νόσησης



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

- οι γυναίκες που βρίσκονται σε αναπαραγωγική ηλικία και επιθυμούν να τεκνοποιήσουν (η εγκυμοσύνη συστήνεται να αποφεύγεται κατά τον πρώτο μήνα μετά τον εμβολιασμό)
- και οι έφηβοι και οι ενήλικες που βρίσκονται σε περιβάλλον παιδιών και ταξιδιωτών.

Η χορήγηση του εμβολίου κατά της ανεμευλογιάς δε συστήνεται στις ακόλουθες περιπτώσεις ασθενών:

- με ιστορικό επιληπτικών κρίσεων
- με σοβαρή αλλεργική αντίδραση σε κάποιο από τα συστατικά του εμβολίου
- ανοσοκατεσταλμένων
- κατά τη διάρκεια εγκυμοσύνης
- με σοβαρή ή μέτρια οξεία νόσο
- κατά τη λήψη αίματος ή παραγώγων του.

Για την επιβεβαίωση της ανοσίας στην ανεμευλογιά στους ενήλικες θα πρέπει να υπάρχει α) έγγραφη πιστοποίηση χορήγησης των 2 δόσεων του εμβολίου, β) ιατρική πιστοποίηση νόσησης από ανεμευλογιά ή έρπητα ζωστήρα και γ) εργαστηριακή επιβεβαίωση της ανοσίας.

(Υπουργείο Υγείας, 2021 και Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).

3.2 Σκεπτικισμός

Η παρασκευή και ανάπτυξη των εμβολίων καθόρισε σημαντικά τόσο τον περιορισμό ή ακόμη και την εξάλειψη ασθενειών όσο και τον έλεγχο μολυσματικών νόσων σε παγκόσμια κλίμακα. Τα υψηλά επίπεδα εμβολιασμού των πληθυσμών κρίνονται απαραίτητα, προκειμένου να ανοσοποιηθεί μία κοινότητα και να προφυλαχθούν οι πολίτες της. Ωστόσο, συχνά παρατηρείται μία διστακτικότητα του πληθυσμού απέναντι στα εμβόλια και στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εστίες λοιμώξεων και εξάπλωσης νοσημάτων.

Το ζήτημα γιγαντώνεται όταν οι γονείς δεν συναινούν στον εμβολιασμό των παιδιών τους και την απόκτηση ανοσίας τους απέναντι σε νοσήματα, γεγονός που δύναται να



οδηγήσει στην ραγδαία μετάδοση ιών και στην ενδεχόμενη εξέλιξή τους σε επιδημίες. Επιπρόσθετα, οι ελεύθερες μετακινήσεις των πολιτών από χώρα σε χώρα, συχνά μεταφέρει ασθένειες σε εδάφη τα οποία δεν είναι εξοικειωμένα με αυτές και δύνανται να δυσκολευτούν να τις αντιμετωπίσουν (Dubé, 2017).

Πολλές είναι οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για την καταγραφή του δισταγμού και της εμπιστοσύνης που δείχνει το κοινό απέναντι στα εμβόλια σχετικά με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο παρεμβάσεις που βασίζονται στον διάλογο είναι πιο αποτελεσματικές από εκείνες που παρέχουν κίνητρα στον πληθυσμό υπέρ του εμβολιασμού (όχι οικονομικά) καθώς επίσης και εκείνες που υπενθυμίζουν στους πολίτες σε ποιον πληθυσμό στοχεύουν τα εμβόλια και θα πρέπει να αναπτυχθούν τέτοιες στρατηγικές διαχείρισης και αντιμετώπισης των δισταγμών του πληθυσμού απέναντι στον εμβολιασμό, που να επιτύχουν την προστασία και ανοσοποίηση του πληθυσμού στα διάφορα νοσήματα. Ωστόσο, οι εκάστοτε στρατηγικές που θα εφαρμόζονται θα πρέπει να είναι ευέλικτες και να προσαρμόζονται στον πληθυσμό που απευθύνονται, καθώς ποικίλλουν οι λόγοι για τους οποίους αντιτάσσονται στον εμβολιασμό και η διάσταση που παίρνει το ζήτημα διαφέρει από χώρα σε χώρα (Jarrett et al., 2015).

3.3 Ανάλυση της έννοιας της ανοσοποίησης

Οι μολυσματικές ασθένειες δύνανται να προληφθούν μέσω του εμβολιασμού του μεγαλύτερου τμήματος των πληθυσμών. Οι δύο σημαντικότεροι δείκτες που χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί ο βαθμός μολυσματικότητας και το επίπεδο ανοσοποίησης που πρέπει να επιτευχθεί προκειμένου να περιοριστεί η εξάπλωση μίας νόσου, είναι ο δείκτης R_0 και ο δείκτης R_c , οι οποίοι μετρούν τον βασικό ρυθμό αναπαραγωγής και τον βασικό ρυθμό αποτελεσματικότητας αντίστοιχα (Beckley et al., 2013).

Οι έρευνες αποδεικνύουν ότι ο εμβολιασμός με μία δόση του εμβολίου κατά της ανεμευλογιάς παρέχει υψηλά επίπεδα προστασίας στον πληθυσμό που αγγίζουν ποσοστό 70%-90% απέναντι σε οποιαδήποτε μορφή ανεμευλογιάς, ενώ η



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

αποτελεσματικότητα των δύο δόσεων του εμβολίου αγγίζει ποσοστό 98% (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΗΜΙΩΝ

Οι επιδημίες δύνανται να μοντελοποιηθούν μαθηματικά προκειμένου να ερευνηθεί η σοβαρότητά τους και ο μηχανισμός πρόληψής τους. Επιπρόσθετα, η μαθηματική τους μοντελοποίηση συμβάλλει σημαντικά στη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τις διάφορες παρεμβάσεις που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν από τις εκάστοτε κυβερνήσεις στον τομέα της υγείας, σχετικά με τις υγειονομικές κρίσεις που καλούνται να διαχειριστούν. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι των ασθενειών που ερευνώνται, οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για τον τρόπο αντιμετώπισης επικίνδυνων νόσων. Όσο λεπτομερέστερα καταγράφονται οι απαιτούμενες παραδοχές τόσο πιο ακριβής θα είναι και η πρόβλεψη της πορείας μίας ασθένειας και η μοντελοποίησή της.

Συνεπώς, για να μοντελοποιηθεί σωστά μία ασθένεια θα πρέπει, προηγουμένως, να ερευνηθούν ορθά τα στοιχεία που συμβάλλουν στη μετάδοσή της, τα οποία αναλύονται ακολούθως:

- ο ρυθμός εξάπλωσης της νόσου
- ο ρυθμός θεραπείας της νόσου
- τα μέσα με τα οποία μεταδίδεται ο ιός
- ο χρόνος παραμονής του ιού στον οργανισμό
- σε ποια όργανα του οργανισμού επιμένει ο ιός
- ο τρόπος με τον οποίο θα επιτευχθεί η ανοσία
- ο τρόπος με τον οποίο θα προφυλαχθούν οι ανθρώπινες ομάδες και δε θα διασπείρουν τον ιό μεταξύ τους
- τα γενετικά γνωρίσματα των πληθυσμών
- η δυνατότητα διερεύνησης του κάθε είδους του ιού της νόσου που διασπείρεται
- η δυνατότητα μετάλλαξης του ιού.

(Clancy και Green, 2007).

Η επιδημιολογία χρησιμοποιεί το επιδημιολογικό μοντέλο SIR (Susceptibles Infectives Removed) προκειμένου α) να υπολογίσει τον αριθμό των ευπαθών ομάδων, των νοσούντων και των ατόμων που θεραπεύτηκαν ή απέκτησαν ανοσία ή πέθαναν, σε έναν



πληθυσμό κάθε δεδομένη χρονική στιγμή και β) να ερμηνεύσει τη μεταβολή του αριθμού των ατόμων που χρήζουν ιατρικής φροντίδας κατά τη διάρκεια μίας επιδημίας.

4.1 Μαθηματικά μοντέλα

Ένα μαθηματικό μοντέλο απεικονίζει ένα σύστημα ή φαινόμενο χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία και τη γλώσσα των μαθηματικών. Τα κύρια χαρακτηριστικά που συνθέτουν ένα μαθηματικό μοντέλο είναι οι μεταβλητές που απεικονίζουν τα στοιχεία ενός συστήματος ή φαινομένου και οι επιμέρους παράμετροι των μεταβλητών αυτών. Η μαθηματική μορφή των εξισώσεων που συσχετίζει τις μεταβλητές είναι εκείνη που καθορίζει και τη σχέση μεταξύ τους και περιγράφει το εκάστοτε μοντέλο. Συνεπώς, για την περιγραφή του κάθε μοντέλου θα πρέπει να καθοριστούν οι σχέσεις που συνδέουν α) τις εξισώσεις μεταξύ τους, β) τις μεταβλητές μεταξύ τους και γ) τις εξισώσεις με τις μεταβλητές, υπό την προϋπόθεση ότι θα προκαθοριστούν οι υποθέσεις στις οποίες θα βασιστεί το μοντέλο και ως εκ τούτου και οι περιορισμοί από τους οποίους θα διέπεται. Τα μαθηματικά μοντέλα στοχεύουν στην κατανόηση και παρατήρηση των συστημάτων και στην επεξήγηση των φαινομένων, προκειμένου να προβλέψουν τη συμπεριφορά τους και να συμβάλλουν τόσο στις φυσικές όσο και στις ιατρικές επιστήμες (Schichl, 2004).

Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στον κλάδο της Βιολογίας υπάγονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ανάλογα με το μαθηματικό τους περιεχόμενο σε α) Διακριτά ή Συνεχή μοντέλα, αναλόγως εάν η υπό μελέτη βιολογική παράμετρος είναι διακριτή ή συνεχή, β) Ντετερμινιστικά ή Στοχαστικά μοντέλα, αναλόγως εάν οι μαθηματικές σχέσεις δεν εμπεριέχουν ή εμπεριέχουν τυχαιότητα, αντίστοιχα, γ) Γραμμικά ή Μη γραμμικά μοντέλα, αναλόγως την κατηγορία των εξισώσεων που προκύπτουν, δ) Χρονο-εξαρτώμενα ή Χρονο-ανεξάρτητα μοντέλα, αναλόγως της εξάρτησης των μεταβλητών από το χρόνο και ε) Μηχανιστικά ή Περιγραφικά μοντέλα, αναλόγως της προέλευσης τους
- ανάλογα με το υπό μελέτη βιολογικό φαινόμενο σε α) Πληθυσμιακά μοντέλα που απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται τα βιολογικά είδη, β)



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

μοντέλα ασθενειών που απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται χρονικά ή χωρο-χρονικά οι ασθένειες και γ) μοντέλα διάχυσης που απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται δυναμικά οι μεταβλητές σε συγκεκριμένα πεδία.

(Κομηνέας και Χαρμανδάρης, 2016).

4.2 Επιδημιολογικά μοντέλα

Η επιδημιολογία χρησιμοποιεί ευρέως μαθηματικά μοντέλα που στοχεύουν στην πρόγνωση της πορείας μίας μολυσματικής ασθένειας και στον παραλληλισμό των επιδράσεων που θα έχουν οι στρατηγικές ελέγχου της που θα εφαρμοστούν. Ένα επιδημιολογικό μοντέλο μελετά τον τρόπο με τον οποίο διανύει την πορεία της η κάθε επιδημία ξεκινώντας με την διαπίστωση ότι ένα ή περισσότερα ασθενή άτομα εισέρχονται σε μία υγιή κοινότητα, της οποίας τα μέλη είναι λιγότερο ή περισσότερο εύάλωτα στην εκάστοτε ασθένεια. Θεωρείται ότι ο κάθε ασθενής διανύει την πορεία της νόσου κι έπειτα απομακρύνεται από την κοινότητα των νοσούντων, είτε με θεραπεία είτε με μοιραία κατάληξη. Οι πιθανότητες του τερματισμού της πορείας της νόσου του ασθενή ποικίλλουν ανά ημέρα κατά τη διάρκεια ασθένειάς του. Επιπρόσθετα, οι πιθανότητες ο ασθενής να μεταφέρει τον ιό σε μη προσβεβλημένα άτομα σχετίζονται με το στάδιο νόσησης στο οποίο βρίσκεται. Τέλος, όσο περισσότερο διαδίδεται μία επιδημία, τόσο μειώνονται τα υγιή μέλη της κοινότητας (Kermack και McKendrick, 1927).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

5.1 Το επιδημιολογικό μοντέλο SIR

Οι Kermack και McKendrick (1927) πρότειναν, μελέτησαν και ανέλυσαν το απλό μοντέλο SIR όπου ισορροπεί η αλληλεπίδραση ανάμεσα στην δυναμική των επιδημιών και τη λήψη οικονομικών αποφάσεων. Αναλυτικότερα, θεώρησαν ότι στο επιδημιολογικό μοντέλο SIR ο κάθε πληθυσμός παραμένει σταθερός και χωρίζεται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- τις ευπαθείς ή ευαίσθητες ομάδες (Susceptibles, S): άτομα που είναι υγιή και δεν μολύνθηκαν ποτέ από τον ιό και μπορεί να νοσήσουν ανά πάσα στιγμή
- τους νοσούντες (Infectives, I): άτομα που προσβλήθηκαν από τον ιό και δύνανται να τον μεταδώσουν σε υγιή πληθυσμό
- τα άτομα που ανάρρωσαν ή απέκτησαν ανοσία στον ιό ή πέθαναν (Removed, R)

όπου δε λαμβάνονται υπόψη τυχόν γεννήσεις ή φυσικοί θάνατοι που καταγράφονται τη χρονική στιγμή που μελετάται μία ασθένεια.

Θεωρώντας ως $S(t)$ τον αριθμό των ευπαθών ή ευαίσθητων ατόμων, $I(t)$ τον αριθμό εκείνων που νοσούν και $R(t)$ τον αριθμό των ατόμων που ανάρρωσαν ή απέκτησαν ανοσία ή πέθαναν, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή t , τότε ισχύει η εξίσωση $S(t) + I(t) + R(t) = N(t)$, όπου $N(t)$ είναι ένας σταθερός πληθυσμός. Οι παραδοχές του μοντέλου είναι οι ακόλουθες:

- μία ασθένεια εξαπλώνεται μέσω της αλληλεπίδρασης που υπάρχει ανάμεσα στις ευπαθείς ομάδες και τους νοσούντες. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των ευπαθών ατόμων ελαττώνεται ανάλογα με τη συχνότητα των επαφών των υγιών ατόμων με του νοσούντες και ο αριθμός των νοσούντων αυξάνεται με την ίδια συχνότητα.
- τα άτομα αναρρώνουν με β ρυθμό, ενώ δεν επηρεάζονται από το φύλο τους, την καταγωγή τους, την ηλικία τους ή την κοινωνική τους κατάσταση



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

- ο μόνος τρόπος για να βγει ένα άτομο από την ομάδα S είναι να νοσήσει, και ο μόνος τρόπος για να βγει ένα άτομο από την ομάδα I είναι να θεραπευτεί και να αποκτήσει ανοσία
- δεν υφίσταται κληρονομική ανοσία
- ο χρόνος επώασης της ασθένειας είναι αρκετά σύντομος, οπότε κάθε υγιής οργανισμός που έρχεται σε επαφή με κρούσμα νοσεί άμεσα και μεταβαίνει στην ομάδα των ασθενών
- ο πληθυσμός αναμειγνύεται ομοιογενώς.

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές, η νόσος δύναται να περιγραφεί από διαφορικές εξισώσεις που μοντελοποιούνται ως

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI - \beta I$$

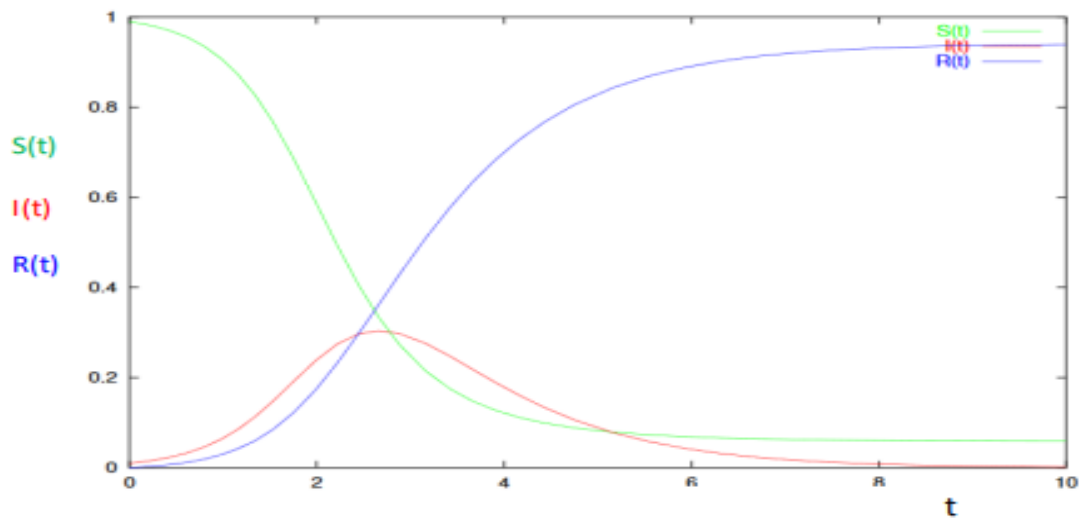
$$\frac{dR}{dt} = \beta I$$

όπου α : ο ρυθμός μετάδοσης της ασθένειας και β : ο ρυθμός ανάρρωσης των ασθενών, ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος με την τυπική διάρκεια της ασθένειας.

Ένα από τα σημαντικότερα ερωτήματα στα οποία επιχειρεί να απαντήσει το επιδημιολογικό μοντέλο είναι εάν μία ασθένεια θα εξελιχθεί σε επιδημία, εξετάζοντας τη μεταβολή του $I(t)$ σε μία δεδομένη χρονική στιγμή $t=0$.

Παρατηρούμε ότι όταν $\frac{dI}{dt} > 0 \Rightarrow \alpha S > \beta \Rightarrow S > \frac{\beta}{\alpha}$ τότε ο αριθμός των νοσούντων αρχικά αυξάνεται και αργότερα η ασθένεια εξελίσσεται σε επιδημία.

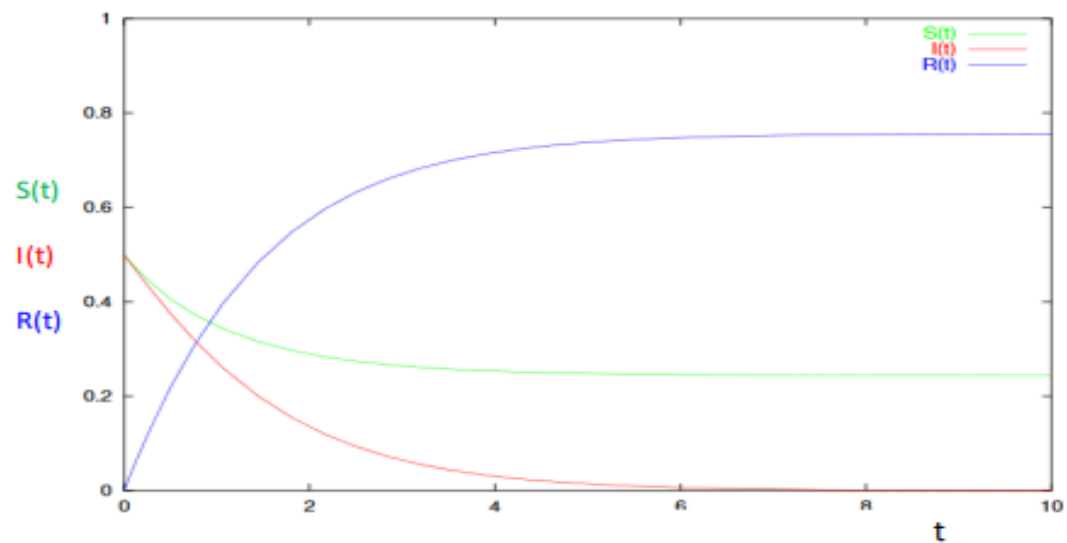
Γράφημα 5.1 Γραφική παράσταση μοντέλου SIR σε συνθήκες επιδημίας



Πηγή: Keeling και Rohani, (2007)

ενώ όταν $\frac{dI}{dt} < 0 \Rightarrow \alpha S < \beta \Rightarrow S < \frac{\beta}{\alpha}$ ο αριθμός των νοσούντων μειώνεται και η ασθένεια εξαλείφεται ή θεωρείται ως ενδημία

Γράφημα 5.2 Γραφική παράσταση μοντέλου SIR σε συνθήκες ενδημίας



Πηγή: Keeling και Rohani, (2007)



Ως λανθάνουσα περίοδος θεωρείται το σημείο 0 όπου οποιοσδήποτε νοσεί γίνεται εστία μόλυνσης προς τους άλλους αμέσως μόλις λάβει τη λοίμωξη. Η μολυσματική περίοδος παρουσιάζει αρνητική εκθετική διανομή, όπου η πιθανότητα εμφάνισης νέου κρούσματος σε έναν πληθυσμό εξαρτάται από των αριθμό των νοσούντων και τη μολυσματική περίοδο. Επιπρόσθετα, κάθε μέλος μίας ανθρώπινης ομάδας έχει σταθερή και ίδια πιθανότητα να έρθει σε επαφή με οποιοδήποτε άλλο μέλος σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τέλος, τα υπό έρευνα μέλη, διαχωρίζονται τελείως από άλλα άτομα εκτός της ομάδας τους, ενώ όλες οι παραπάνω συνθήκες παραμένουν σταθερές όσο διαρκεί μία επιδημία.

5.1.1 Βασικός ρυθμός αναπαραγωγής

Όταν ένα κρούσμα μολύνει περισσότερα από ένα υγιή άτομα, τότε ο μέσος αριθμός ατόμων που προσβλήθηκαν από τον ιό ή ρυθμός αναπαραγωγής της ασθένειας ορίζεται R_0 , η οποία χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει εάν μία νόσος δύναται να προκαλέσει επιδημία και δεδομένου ότι $S = 1$, ισχύει $\frac{\alpha S}{\beta} = \frac{\alpha}{\beta} = R_0$, η οποία θεωρείται ως η πιο σημαντική παράμετρος στη μοντελοποίηση SIR οποιασδήποτε επιδημίας. Όταν:

- $R_0 > 1$ τότε υφίσταται ο κίνδυνος της επιδημίας καθώς υπάρχουν περισσότερες από μία νοσήσεις από ένα μολυσμένο μέλος μίας κοινότητας
- $R_0 < 1$ τότε η νόσος δε θα εξελιχθεί σε επιδημία, εφόσον η μόλυνση εξασθενεί
- $R_0 = 1$ τότε ένα μολυσμένο άτομο προσβάλλει μόνο ένα υγιές άτομο

Η παράμετρος α δύναται να περιοριστεί εφαρμόζοντας τακτικές όπως είναι η κοινωνική αποστασιοποίηση των πληθυσμών, το συχνό πλύσιμο των χεριών και η ένταξη του πληθυσμού σε συνθήκες καραντίνας, ενώ η παράμετρος β σχετίζεται με τη βιολογία της ασθένειας και αυξάνεται με θεραπεία, εμβολιασμούς ή φαρμακευτική αγωγή (Beckley et al., 2013).

Σύμφωνα με τον ΕΟΔΥ (2021), στην περίπτωση της ανεμευλογιάς, κατά τα έτη 2000-2021, καταγράφηκε μέσος όρος κρουσμάτων 13 κατ' έτος και τα οποία ανάρρωσαν πλήρως. Ως χρόνος επώασης της ασθένειας κατά μέσο όρο νοούνται οι 15 ημέρες, συνεπώς ο ρυθμός ανάρρωσης του πληθυσμού ισούται με $1/\beta = 1/15 = 0,0666$.



Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του πληθυσμού της χώρας μας (2011) ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται σε $N = 10.816.286$. Συνεπώς, ο ρυθμός των επαφών ανέρχεται σε $\alpha = (13 * 100)/10.816.286 = 0,001201$.

Ο ρυθμός αναπαραγωγής της ασθένειας ορίζεται $R_0 = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0,001201}{0,0666} = 0,018 < 1$, καθώς πλέον στη χώρα μας η ασθένεια της ανεμευλογιάς δεν οδηγεί σε επιδημίες.

5.1.2 Ανοσία αγέλης

Εάν ορίσουμε ως p το ποσοστό του ευπαθούς πληθυσμού που εμβολιάστηκε και απέκτησε ανοσία πριν το ξέσπασμα μίας επιδημίας, τότε το μοντέλο της ασθένειας περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$S' = \alpha(1 - p)SI$$

$$I' = \alpha(1 - p)SI - \beta I$$

όπου όταν ξεκινά μία επιδημία ισχύει

$$I' > 0 \Rightarrow \alpha(1 - p)SI - \beta I > 0$$

$$\Rightarrow \alpha(1 - p)S > \beta$$

$$\Rightarrow (\alpha/\beta)(1 - p)S > 1$$

$$\Rightarrow R_0 > 1 / (1 - p)$$

(Beckley et al., 2013).

5.1.3 Το μοντέλο SIR με γεννήσεις και θανάτους

Εάν στο μοντέλο SIR εισάγουμε τα δεδομένα των θανάτων και των γεννήσεων σε έναν πληθυσμό και υποθέσουμε ότι όλοι οι θάνατοι που καταγράφονται οφείλονται σε



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

φυσικά αίτια, τότε θα έχουμε $R_0 = \frac{\alpha}{\beta+m}$, όπου η μεταβλητή m αναπαριστά ένα σταθερό ποσοστό γεννήσεων και θανάτων. Το μοντέλο της ασθένειας θα περιγραφεί από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{dS}{dt} = m - \alpha I - mS$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha IS - (m + \beta)I$$

όπου το σύστημα των εξισώσεων θα έχεις δύο σημεία ισορροπίας

- την ισορροπία χωρίς ασθένεια: $(S_1, I_1) = (1, 0)$ και
- την επιδημική ισορροπία: $(S_2, I_2) = [\frac{\beta+m}{\alpha}, \frac{m}{\alpha} (R_0 - 1)]$.

(Beckley et al., 2013).

5.1.4 Συνεχής εμβολιασμός κατά τη γέννηση

Θεωρώντας ως p το ποσοστό των νεογνών που εμβολιάζονται κατά τη γέννα και υποθέτοντας ότι ο πληθυσμός μας παραμένει σταθερός, τότε το μοντέλο περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$\frac{dS}{dt} = (1-p)m - (\alpha I + m)s$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI - mI - \beta I$$

όπου το σύστημα των εξισώσεων θα έχεις δύο σημεία ισορροπίας

- την ισορροπία χωρίς ασθένεια: $(S_1, I_1) = (1-p, 0)$ και



- την επιδημική ισορροπία: $(S_2, I_2) = \left[\frac{\beta + m}{\alpha}, \frac{mR_0(1-p)-m}{\alpha} \right]$ (Beckley et al., 2013).

5.1.5 Κορεσμένος ευπαθής πληθυσμός

Όταν τα ποσοστά γεννήσεων και θνησιμότητας δεν παραμένουν σταθερά, τότε το μοντέλο της ασθένειας περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{dS}{dt} = RS - \frac{RS^2}{K} - \alpha SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI - \beta I - MI$$

όπου τα υγιή άτομα $S(t)$ α) γεννιούνται με ρυθμό $M(S,I,R)$, ο οποίος είναι συνάρτηση του των πυκνοτήτων των υγιών ατόμων, των νοσούντων και των θεραπευμένων και β) νοσούν με δεδομένο ρυθμό, ο οποίος δίνεται από το γινόμενο των πυκνοτήτων των υγιών ατόμων, των νοσούντων και των ξενιστών. Η μεταβλητή β περιγράφει τον ρυθμό ανάρρωσης των ξενιστών που νοσούν, η μεταβλητή m περιγράφει το φυσικό ποσοστό θνησιμότητας του υγιούς πληθυσμού που οφείλεται σε αιτίες που δεν συνδέονται με την ασθένεια και η μεταβλητή K περιγράφει την δυναμική του πληθυσμού.

Το σύστημα των εξισώσεων θα έχεις δύο σημεία ισορροπίας

- την ισορροπία χωρίς ασθένεια: $E_0 = (N, 0) = (1, 0)$

$$\left(\frac{m+\beta}{\alpha} \right) \text{ και}$$

- την επιδημική ισορροπία: $E_1 = (S^*, I^*)$

$$(mS^* + \beta)(R_0 - 1)$$

όπου $R_0 = \frac{\alpha}{m+\beta}$ είναι ο ρυθμός αναπαραγωγής που δηλώνει τον αριθμό των νοσούντων που μολύνθηκαν μόνο από ένα άτομο που νοσεί από την ασθένεια, που εντοπίζεται σε μία κοινότητα υγιών ατόμων (Beckley et al., 2013).



5.1.6 Το μοντέλο των Eichenbaum, Rebelo και Trabandt

Οι Eichenbaum et al., τροποποίησαν το απλό μοντέλο SIR των Kermack και McKendrick και ανέπτυξαν ένα μοντέλο όπου υπάρχει αμφίδρομη αλληλεπίδραση της δυναμικής των επιδημιών και της λήψης οικονομικών αποφάσεων, με την επιδημία να επηρεάζει τόσο τη συνολική ζήτηση όσο και τη συνολική προσφορά, στην αγορά αγαθών και εργασίας. Αναλυτικότερα, μελέτησαν την απόφαση του πληθυσμού να μειώσει την κατανάλωσή του και την εργασία του, προκειμένου να μειωθεί η σοβαρότητα μίας επιδημίας και ο αριθμός των θανάτων. Αναφορικά με την επίδραση της επιδημίας στη συνολική προσφορά, αυτή προκύπτει όσο μία επιδημία εκθέτει τους εργαζομένους στον εκάστοτε ιό κι εκείνοι με τη σειρά τους αντιδρούν περιορίζοντας την προσφορά εργασίας τους. Από την άλλη πλευρά, μία επιδημία επηρεάζει τη συνολική ζήτηση καθώς εκθέτει τους καταναλωτές απέναντι σε έναν ιό κι εκείνοι προσπαθούν να προστατευτούν μειώνοντας την κατανάλωση.

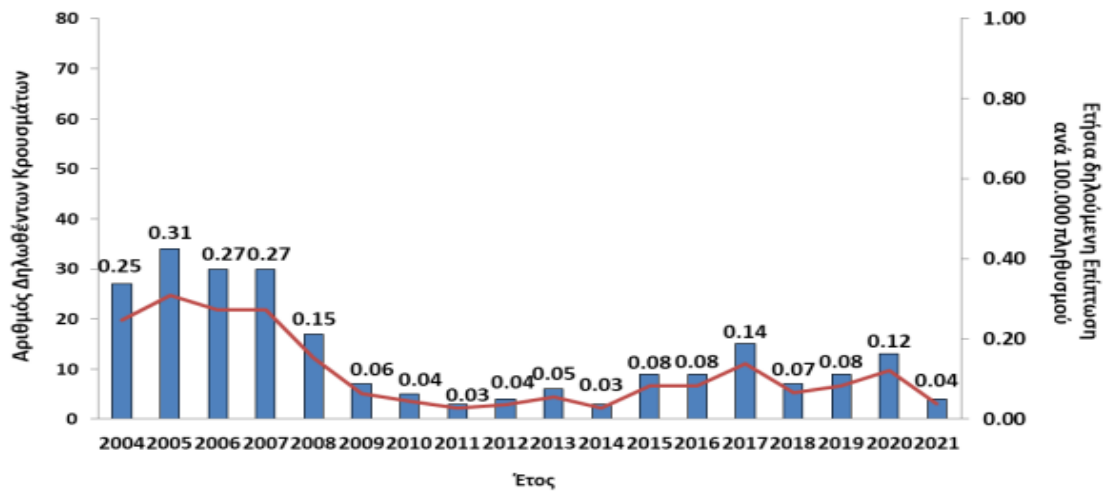
Η ανταγωνιστική ισορροπία δεν είναι βέλτιστη κατά Pareto, καθώς όσοι έχουν νοσήσει από τον ιό δεν εσωτερικεύουν πλήρως την επιρροή που ασκεί η εξάπλωση του ιού στις αποφάσεις τους για κατανάλωση και προσφορά εργασίας. Ειδικότερα, το μοντέλο επικεντρώνεται στην εφαρμογή πολιτικών που περιορίζουν την κατανάλωση και τα ωράρια εργασίας, επιδεινώνοντας από τη μία πλευρά την οικονομική ύφεση, μειώνοντας από την άλλη τον αριθμό των θανάτων που προκλήθηκαν από την επιδημία. Οι Eichenbaum, Rebelo και Trabandt (2021) ονόμασαν το μοντέλο τους ως μοντέλο μακρο-SIR, καθώς υποθέτουν ότι η αγορά εργασίας και η αγορά καταναλωτικών αγαθών φέρνουν τους ανθρώπους σε επαφή μεταξύ τους, αυξάνοντας την πιθανότητα εξάπλωσης της λοίμωξης.

5.2 Το μοντέλο SIR με δημογραφικά στοιχεία

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (2011), ο συνολικός πληθυσμός της χώρας μας καταγράφεται σε 10.816.286 κατοίκους.

Η διαχρονική εξέλιξη της ανεμευλογιάς κατά τα έτη 2004-2021 απεικονίζεται στο ακόλουθο γράφημα:

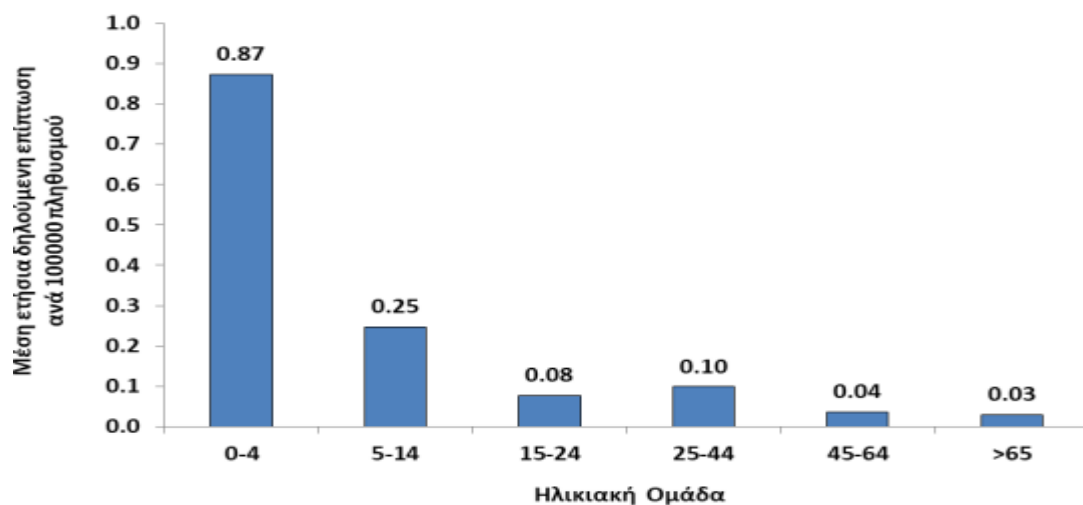
Γράφημα 5.3 Η διαχρονική εξέλιξη της ανεμευλογιάς κατά τα έτη 2004-2021



Πηγή: ΕΟΔΥ (2021)

Στο ακόλουθο γράφημα αναπαρίσταται η μέση ετήσια επίπτωση των κρουσμάτων της ανεμευλογιάς με επιπλοκές, ανά ηλικιακή ομάδα

Γράφημα 5.4 Η μέση ετήσια επίπτωση των κρουσμάτων της ανεμευλογιάς με επιπλοκές, ανά ηλικιακή ομάδα

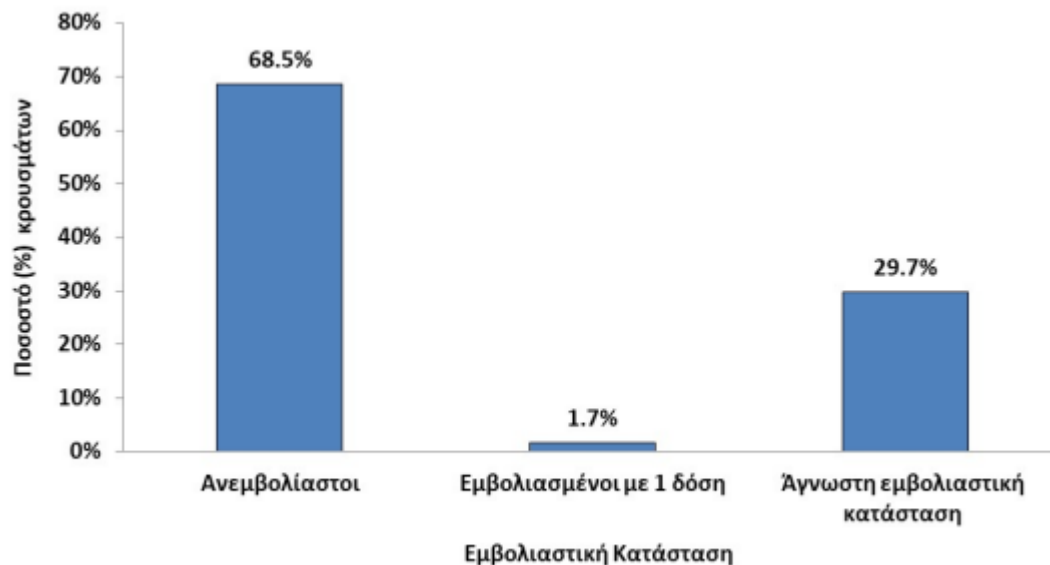


Πηγή: ΕΟΔΥ (2021)



Στο επόμενο γράφημα απεικονίζεται η συχνότητα των δηλωθέντων κρουσμάτων στην Ελλάδα, συγκριτικά με την κατάσταση εμβολιασμού

Γράφημα 5.5 Η συχνότητα των δηλωθέντων κρουσμάτων στην Ελλάδα, συγκριτικά με την κατάσταση εμβολιασμού



Πηγή: ΕΟΔΥ (2021)

Από τα καταγεγραμμένα κρούσματα ανεμευλογιάς, κατά τα έτη 2004-2021, ποσοστό 68,5% ήταν ανεμβολίαστος πληθυσμός, ποσοστό 1,7% ήταν ατελώς εμβολιασμένοι και για το 29,7% του πληθυσμού δεν ήταν γνωστή η εμβολιαστική του κατάσταση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ

6.1 Οικονομική Επιδημιολογία

Η Οικονομική Επιδημιολογία ή Επιδημιολογική Οικονομία είναι η επιστήμη που συνδυάζει τον τομέα της οικονομίας με τον τομέα της επιδημιολογίας ενσωματώνοντας σε ένα επιδημιολογικό πλαίσιο την ανθρώπινη συμπεριφορά, με σκοπό να κατανοήσει καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο εξαπλώνονται οι ασθένειες, καθώς η οικονομική συμπεριφορά διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μετάδοση μίας ασθένειας. Επιπρόσθετα, παρέχει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής τα κατάλληλα εργαλεία για να βελτιώσουν τις πολιτικές παρέμβασης που θα ακολουθήσουν στην εκδήλωση επιδημικών εκρήξεων και να επέμβουν στην εξάπλωσή τους. Συνεπώς, η επιδημιολογία συμβάλλει στη μεθόδευση των υγειονομικών υπηρεσιών και στη διαμόρφωση της πολιτικής υγείας που θα επιλέξει να ακολουθήσει το κάθε κράτος. Κατά τον προγραμματισμό των υγειονομικών υπηρεσιών αξιολογείται διαρκώς εάν οι εκάστοτε παρεμβάσεις στον κλάδο της υγείας καθίστανται αποτελεσματικές με το γεγονός αυτό να επιτρέπει στην επιδημιολογική έρευνα να συμβάλλει στον έλεγχο των νόσων και των τραυματισμών, στην πρόληψη των ασθενειών, στη μεθόδευση των υπηρεσιών υγείας και στον σχεδιασμό νέων απαραίτητων υπηρεσιών υγείας (Perrings, 2014).

Η αρχική προσέγγιση της Οικονομικής Επιδημιολογίας επικεντρώθηκε στη σχέση ανάμεσα στην προληπτική συμπεριφορά και στον επιπολασμό (συχνότητα στον γενικό πληθυσμό) των ασθενειών, ενώ αργότερα εστίασε στις επιδημιολογικές συνέπειες και τα οικονομικά αίτια του μεγέθους και του τύπου των επαφών των πολιτών. Συγκεκριμένα, θεωρεί ότι οι οικονομικοί παράγοντες που συντελούν στις αποφάσεις των διαπροσωπικών επαφών θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως τμήμα του μηχανισμού εξάπλωσης μίας νόσου, μία προσέγγιση η οποία κατανοεί βαθύτερα τη δυναμική των επιδημιών και διευρύνει τις επιλογές διαχείρισης των νοσημάτων που στοχεύουν είτε στο μέγεθος των επαφών είτε στην πιθανότητα η κάθε επαφή να καταλήξει σε νέα μόλυνση (Philipson, 2000).

Η κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς επηρεάζει τη δυναμική μίας νόσου και βελτιώνει τη διαχείρισή της, καθώς όσο περισσότερες επιλογές ελέγχου διαχειρίζονται



οι αρχές δημόσιας υγείας τόσο περισσότερο δικαιολογείται και η δημόσια παρέμβαση. Αναλόγως των στόχων που θέτει ο κάθε πολίτης, τους πόρους που έχει στη διάθεσή του και τις ευκαιρίες που του δίνονται, η συμπεριφορά του μπορεί είτε να επιταχύνει τις επιδημίες είτε να τις επιβραδύνει (Kremer, 1996 και Aadland et al., 2013). Στην περίπτωση όπου το κοινωνικό και το ιδιωτικό κόστος αποφυγής των ασθενειών συμπίπτουν, τότε οι αποφάσεις που λαμβάνουν οι πολίτες προς ίδιο συμφέρον ταυτίζονται με εκείνες που θα έπαιρναν εάν ενεργούσαν για το συμφέρον της κοινωνίας. Στην περίπτωση όπου το κοινωνικό και το ιδιωτικό κόστος αποφυγής των ασθενειών διαφέρουν, τότε οι αρχές δημόσιας υγείας δύνανται να χρησιμοποιήσουν τις ιδιωτικές αποφάσεις προκειμένου να παρακινήσουν τους πολίτες να λάβουν διαφορετικές αποφάσεις και με τον τρόπο αυτό να ελαχιστοποιήσουν το αναμενόμενο κοινωνικό κόστος της ασθένειας.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ελεύθερη μετακίνηση των πολιτών από χώρα σε χώρα και η ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου, συνέβαλαν στην εκδήλωση κυρίως ανθρώπινων μολυσματικών ασθενειών, καθώς είναι εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εξάπλωσης των παθογόνων μικροοργανισμών σε διεθνές επίπεδο, παρεμβαίνοντας στο μέγεθος και στην ποικιλία των επαφών που θεωρούνται επιρρεπείς σε λοιμώξεις. Το ίδιο συμβαίνει και σε εθνικό επίπεδο, όταν οι πολίτες εκδηλώνουν την κοινωνική και οικονομική τους συμπεριφορά σύμφωνα με τους πιθανούς κινδύνους ασθενειών (Perrings, 2014).

6.2 Το ελληνικό σύστημα υγείας

Ως σύστημα υγείας ορίζεται το πλήθος των υγειονομικών μονάδων που βρίσκονται σε διαρκή αλληλεξάρτηση και λειτουργική συνεργασία ώστε να διατηρήσουν και να προάγουν την υγεία του πληθυσμού και απαρτίζεται από τρία επιμέρους συστήματα: α) το επίπεδο υγείας του πληθυσμού, β) τις παρεχόμενες υγειονομικές υπηρεσίες και γ) τους μηχανισμούς χρηματοδότησης των υγειονομικών δαπανών. Για να παράγει θετικά αποτελέσματα ένα σύστημα υγείας θα πρέπει να συνυπολογίσει τα οικονομικά, τα κοινωνικά, τα πολιτισμικά, τα τεχνολογικά και τα επιδημιολογικά στοιχεία της εκάστοτε χώρας (Σαρρής κ.ά., 2001).



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

Κάθε εθνικό σύστημα υγείας στοχεύει στην διασφάλιση του επιπέδου ευημερίας του πληθυσμού και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, μέσω της παροχής ενός συστήματος υγείας υψηλού επιπέδου. Η διαμόρφωση του συστήματος υγείας της κάθε χώρας ποικίλει και καθορίζεται από τους φορείς λήψης αποφάσεων, σύμφωνα με του διαθέσιμους οικονομικούς πόρους και το βαθμό παρέμβασης του κράτους. Ειδικότερα, η κάθε κυβέρνηση επιλέγει τον τρόπο με τον οποίο θα χαράξει την πολιτική που θα ακολουθήσει και θα εμπλακεί στην οργάνωση και τον έλεγχο των υγειονομικών υπηρεσιών. Οι δείκτες θνησιμότητας και νοσηρότητας σε συνδυασμό με τα κοινωνικά πρόνοια, το εκπαιδευτικό επίπεδο, το κατά κεφαλήν εισόδημα, η κοινωνική αλληλεγγύη και το πολιτικοοικονομικό περιβάλλον νοούνται ως οι παράγοντες που επηρεάζουν το εθνικό σύστημα υγείας και προσδιορίζουν το επίπεδο υγείας που παρέχεται στους πολίτες (Παπαγεωργίου και Μπίζας, 2013 και Οικονόμου, 2013).

Το ελληνικό σύστημα υγείας, σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), απαρτίζεται από στοιχεία των ευρωπαϊκών συστημάτων υγείας, των ασφαλιστικών συστημάτων και των συστημάτων αποζημίωσης συνδυάζοντας διάφορες αρχές οργανωτικών προτύπων (Οικονόμου, 2012). Θεωρεί την υγεία ως κοινωνικό αγαθό που εξασφαλίζεται σε κάθε πολίτη ανεξάρτητα από την οικονομική και κοινωνική του θέση. Καθιερώθηκε το 1983 στοχεύοντας στην καθολική υγειονομική προστασία του πληθυσμού και στην παροχή υπηρεσιών ανώτερης ποιότητας και χαρακτηρίζεται ως μεικτό, καθώς στον τομέα της προσφοράς οργανώνεται σύμφωνα με τα πρότυπα Beveridge, ενώ στον τομέα της ζήτησης οργανώνεται σύμφωνα με τα πρότυπα Bismarck. Το μοντέλο οργάνωσης Beveridge στηρίζεται στην κρατική παροχή της υγειονομικής περίθαλψης, η οποία χρηματοδοτείται από τα κρατικά φορολογικά έσοδα. Το μοντέλο οργάνωσης Bismarck στηρίζεται στην παροχή των υγειονομικών υπηρεσιών από τους ασφαλιστικούς οργανισμούς και από ιδιωτικούς μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς, υπό κρατική επίβλεψη (Σίσκου κ.ά, 2008 και Μπιτσώρη και Μπαλάσκα, 2016).

Το Υπουργείο Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης φέρει την υποχρέωση για την εφαρμογή των πολιτικών υγείας στη χώρα μας και στοχεύει α) στην ισότιμη παροχή των υγειονομικών υπηρεσιών στους πολίτες, β) στη χρηματοδότηση των υπηρεσιών υγείας, γ) στην παροχή της πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας και δ) στον σχεδιασμό και



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

την οργάνωση των υγειονομικών υπηρεσιών (Χλέτσος, 2016 και Κυριόπουλος, κ.ά., 2003).

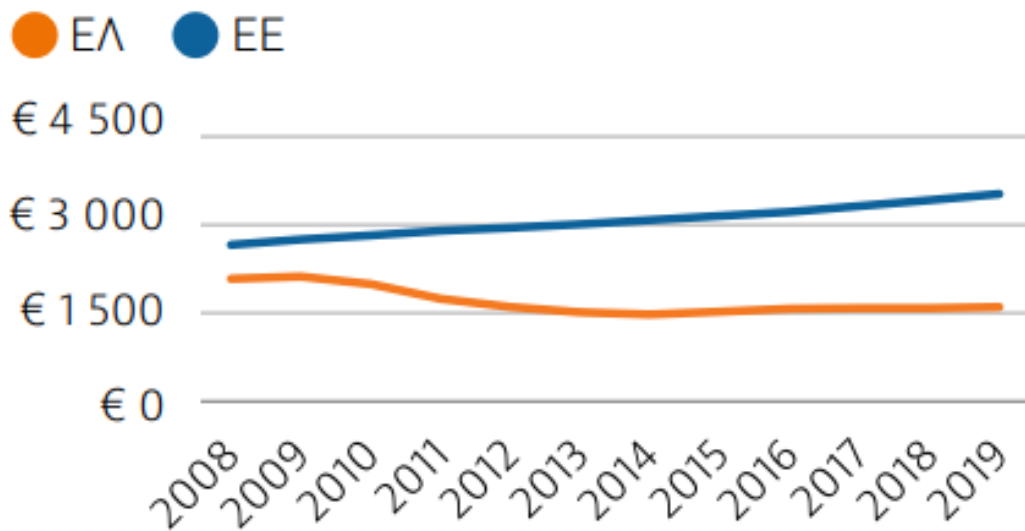
Οι υγειονομικές υπηρεσίες συντονίζουν και εκτελούν συνδυαστικά διάφορες ιατρικές πράξεις και προγράμματα προκειμένου να επιτύχουν αποδοτικά αποτελέσματα και να βοηθήσουν τη δημοσιονομική πολιτική να απελευθερώσει πόρους για τη αναβάθμισή τους (Τούντας, 2000). Το ελληνικό σύστημα υγείας στηρίζεται στις ακόλουθες τέσσερις πηγές χρηματοδότησης:

- στον κρατικό προϋπολογισμό μέσω των έμμεσων και άμεσων φόρων προβαίνει στην κάλυψη των διοικητικών δαπανών του υγειονομικού συστήματος, των δαπανών των κέντρων υγείας και των αγροτικών ιατρείων, χρηματοδότηση των δημόσιων νοσοκομείων και των ασφαλιστικών ταμείων, συντήρηση των κτιριακών εγκαταστάσεων και των εξοπλισμών των μονάδων υγείας και κάλυψη του κόστους εκπαίδευσης των επαγγελματιών υγείας
- στην κοινωνική ασφάλιση μέσω των εργοδοτικών εισφορών, των εισφορών των εργαζομένων και των εισφορών των αυτοαπασχολούμενων και των ελευθέρων επαγγελματιών
- στην ιδιωτική ασφάλιση και
- στο διαθέσιμο ατομικό εισόδημα που καταβάλλεται για άμεσες πληρωμές των υγειονομικών υπηρεσιών.

Τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε πηγής χρηματοδότησης διαφέρουν και εξαρτώνται από την οικονομική κατάσταση της χώρας και τις πολιτικές υγείας που εφαρμόζονται κατά καιρούς (Οικονόμου, 2012).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2022), παρά το γεγονός ότι η κατάσταση της υγείας του πληθυσμού της χώρας μας είναι καλή και το προσδόκιμο ζωής παραμένει υψηλότερο από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, οι κατά κεφαλήν δαπάνες υγείας παραμένουν χαμηλές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες δαπάνες στην ΕΕ, όπως απεικονίζεται ακολούθως:

Γράφημα 6.1 Κατά κεφαλήν δαπάνη υγείας



Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2022)

6.3 Οι οικονομικές επιπτώσεις

Βασικό χαρακτηριστικό της Οικονομικής Επιδημιολογίας αποτελεί η διάκριση μεταξύ του προβλήματος της ιδιωτικής απόφασης που αντιμετωπίζουν τα ευπαθή και τα μολυσματικά άτομα και του κοινωνικού προβλήματος απόφασης που αντιμετωπίζουν οι αρχές υγειονομικής περίθαλψης ή δημόσιας υγείας. Οι ανθρώπινες επιλογές επηρεάζουν τα ποσοστά μετάδοσης των μολυσματικών ασθενειών και κατά συνέπεια, επηρεάζουν και την επιδημιολογική δυναμική. Αναλυτικότερα, η δυναμική μίας ασθένειας είναι ευαίσθητη και ως προς το κόστος της ασθένειας, που μετράται ως το άμεσο κόστος της ασθένειας και το εισόδημα που χάθηκε όσο διάστημα διήρκεσε η ασθένεια και ως προς το κόστος αποφυγής της ασθένειας. Όταν το κόστος της ασθένειας είναι πολύ χαμηλό τότε δεν υπάρχουν ιδιαίτερα κίνητρα για την αποφυγή του και η δυναμική της ασθένειας θα σχετίζεται κυρίως με τον αριθμό των ανθρώπινων επαφών. Όταν το κόστος της ασθένειας είναι πολύ υψηλό τότε υπάρχει κίνητρο επένδυσης σημαντικών πόρων για την αποφυγή των ασθενειών. Σε ακραίες περιπτώσεις, οι ιδιωτικές αποφάσεις που σχετίζονται με την επιλογή των διαπροσωπικών επαφών δύνανται να οδηγήσουν σε συνθήκες καραντίνας (Fenichel et al., 2010, Gramig και Horan, 2010, Horan et al., 2010).



Το βέλτιστο πρόγραμμα ελέγχου μίας ασθένειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η φύση της ασθένειας, το μέγεθος του εκάστοτε πληθυσμού που απειλείται, η διάρκεια του χρονικού ορίζοντα και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των ελέγχων (Brandeau et. al, 2003). Μία επιδημία συνιστά πάντοτε ένα σοβαρό ζήτημα δημόσιας υγείας λόγω της υψηλής μεταδοτικότητάς της και της ενδεχόμενης σοβαρότητας των επιπλοκών της. Για το λόγο αυτό, οι εθνικοί φορείς λήψης αποφάσεων θα μπορούσαν να εφαρμόσουν μία αλληλουχία δράσεων όπως είναι η απομόνωση των κρουσμάτων, η διερεύνηση του ιατρικού ιστορικού των ασθενών, η διερεύνηση των τελευταίων επαφών του κρούσματος που δύνανται να δημιουργήσουν νέες εστίες μετάδοσης των ασθενειών και η επαλήθευση της ανοσίας στους πολίτες που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες.

6.4 Η αξία του εμβολιασμού

Η καθιέρωση των εμβολιασμών έναντι σοβαρών νοσημάτων αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και την προστασία των πληθυσμών. Η ικανότητα ενός εμβολίου να προλαμβάνει συγκεκριμένες ασθένειες είναι και εκείνη που προσδιορίζει την αποτελεσματικότητά του, εφόσον χορηγηθεί σωστά. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει εμβόλιο που να θεωρείται απολύτως αποτελεσματικό, καθώς επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- την ηλικία του πολίτη που εμβολιάζεται
- οποιεσδήποτε παθήσεις ή νοσήματα που μπορεί να έχει
- το διάστημα που ακολουθεί μετά τον εμβολιασμό
- προηγούμενη επαφή με τη νόσο
- τον τρόπο χορήγησης του εμβολίου
- το εμβόλιο που χορηγείται.

(Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020b).

Τα εμβόλια χορηγούνται σε εκατοντάδες εκατομμύρια ανθρώπους ανά τον κόσμο ετησίως, με σκοπό την προστασία τους από νόσους που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρά ζητήματα υγείας, μόνιμη αναπηρία ή θάνατο. Ωστόσο, τα μακροπρόθεσμα



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

οφέλη του εμβολιασμού μπορεί να μην καθίστανται άμεσα εμφανή, καθώς πληθώρα μεταδοτικών ασθενειών καταλήγουν να εκδηλώνονται σπάνια χάρη στον εμβολιασμό, με αποτέλεσμα να λησμονούνται συνήθως οι αρνητικές τους συνέπειες. Τα προγράμματα εθνικού εμβολιασμού που εφαρμόζει η κάθε χώρα αναθεωρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να εναρμονίζονται με τις εκάστοτε επιδημιολογικές συνθήκες (Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020c).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Συμπεράσματα

Μία επιδημία αποτελούσε ανέκαθεν ένα περιοδικό γεγονός που εμφανιζόταν κατά διαστήματα και απασχολούσε την επιστημονική κοινότητα ως προς τον τρόπο αντιμετώπισής της και τον περιορισμό της εξάπλωσής της. Για το λόγο αυτό η Μαθηματική Επιστήμη, χρησιμοποιώντας και αναλύοντας τα επιδημιολογικά μοντέλα, επικεντρώνεται στην δυναμική ενός μαθηματικού μοντέλου για τη διάδοση των μεταδοτικών ασθενειών, το μοντέλο SIR με εμβολιασμό και μελετά τον τρόπο με τον οποίο ανταποκρίνεται ο κάθε πληθυσμός στην εξάπλωση μίας επιδημίας. Το μοντέλο SIR έχει αποδειχθεί πως είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη διερεύνηση της επιδημιολογίας σε έναν πληθυσμό.

Η μοντελοποίηση μίας επιδημίας θέτει τρεις κυρίαρχους στόχους: αρχικά, την κατανόηση των μηχανισμών μετάδοσης και των παραμέτρων που επιδρούν στην πορεία μίας επιδημίας, έπειτα την πρόβλεψη της μελλοντικής κατεύθυνσης μίας επιδημίας και τέλος, τον καθορισμό των μηχανισμών μέσω των οποίων θα περιοριστεί η μετάδοση μιας επιδημίας.

Στην περίπτωση της ανεμευλογιάς, η οποία θεωρείται ως μία συχνή λοίμωξη που προσβάλλει τον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως κατά την παιδική ηλικία, τα συστήματα επιτήρησης ποικίλλουν στις ευρωπαϊκές χώρες και παρουσιάζουν υψηλή ετερογένεια. Η πλειοψηφία των χωρών της Ευρώπης επιτηρεί την ανεμευλογιά είτε μέσω συστημάτων υποχρεωτικής δήλωσης, είτε μέσω συστημάτων παρατηρητών νοσηρότητας είτε συνδυάζοντας τα δύο αυτά συστήματα, ενώ κάποια κράτη δεν επιτηρούν καθόλου το νόσημα. Το σύστημα που εφαρμόζεται στη χώρα μας είναι το σύστημα επιτήρησης της ανεμευλογιάς με επιπλοκές, ενώ παράλληλα τηρείται πρόγραμμα υποχρεωτικού εμβολιασμού, προκειμένου να προφυλαχθεί ο πληθυσμός και οι ομάδες υψηλού κινδύνου. Παρά το γεγονός ότι η ανεμευλογιά κατατάσσεται στην κατηγορία ήπιων νοσημάτων, δύναται να προκαλέσει σημαντικές επιπλοκές και να προβληματίσει το εθνικό σύστημα δημόσιας υγείας. Ο υποχρεωτικός εμβολιασμός που καθιερώθηκε και η επιτυχής ανοσοποίηση του ελληνικού πληθυσμού συνετέλεσαν



σημαντικά στον περιορισμό της εκδήλωσης του ιού της ανεμευλογιάς και στη διασφάλιση της ευημερίας του λαού.

Ωστόσο, ο σκεπτικισμός που παρατηρείται απέναντι στα εμβόλια και το κλίμα της οικονομικής ανασφάλειας που επικρατεί επιβαρύνουν την οικονομία της κάθε χώρας, κυρίως εκείνων που έχουν περιορισμένους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους. Από την άλλη πλευρά, η αποτυχημένη ή επιτυχημένη προσπάθεια ελέγχου μίας επιδημίας εξαρτάται σημαντικά από την οικονομική ευημερία των χωρών, τους πόρους που διαθέτουν για την υγειονομική περίθαλψη και την αποτελεσματικότητα του συστήματος υγείας.

Φαίνεται ξεκάθαρο ότι τα μέτρα που παίρνουν οι φορείς λήψης αποφάσεων βασίζονται σε κίνητρα που μειώνουν τους κινδύνους μίας ασθένειας αποτελεσματικότερα από τους άμεσους ελέγχους της κινητικότητας των πληθυσμών.

Η σπουδαιότητα των οικονομικών παραγόντων και η δομή του υγειονομικού συστήματος των χωρών, συνδυαστικά με την εμπεριστατωμένη αφομοίωση της δυναμικής της μεταδοτικότητας μίας νόσου, παρέχουν τα πρότυπα για το πλάνο των στρατηγικών ελέγχου και τη χάραξη της υγειονομικής πολιτικής.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί μελλοντικά σχετικά με την επίδραση που θα μπορούσε να παρουσιάσει το τετραπλό εμβόλιο της ιλαράς - ερυθράς - παρωτίτιδας - ανεμευλογιάς στους πληθυσμούς αναφορικά με τον περιορισμό εξάπλωσης των αντίστοιχων νοσημάτων και την πρόληψη εξέλιξής τους σε επιδημία. Συγκεκριμένα, θα ήταν ενδιαφέρουσα μία μελέτη σύγκρισης του τετραπλού εμβολίου που αναπτύχθηκε και των δύο εμβολίων που είθισται να χορηγούνται στον πληθυσμούς για την κάθε ασθένεια ξεχωριστά, αυτή της ιλαράς - ερυθράς - παρωτίτιδας και αυτή της ανεμευλογιάς.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εγκυκλοπαίδεια Δομή, 2000, Τόμος 9, Εκδόσεις Δομή Α.Ε.

Κομηνέας, Σ., & Χαρμανδάρης, Ε. (2016). Μαθηματική Βιολογία-Πληθυσμιακά Μοντέλα Ενός Είδους.

Κυριόπουλος, Γ., Γκρέγκορυ, Σ., & Οικονόμου, Χ. (2003). Υγεία και υπηρεσίες υγείας στον ελληνικό πληθυσμό. *Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα*.

Μονοτονικό Λεξικό Δημοτικής, 1995, Ορθογραφικό – Ερμηνευτικό – Ετυμολογικό, Τόμος 2, Εκδόσεις Υδρόγειος.

Μπιτσώρη, Ζ. & Μπαλάσκα, Δ. (2016), Υπηρεσίες υγείας και η χρηματοδότησής τους, *Περιεχειρητική Νοσηλευτική*, Vol. 5, No. 2, pp.113-124.

Ντζούφρας, Ι., & Περπέρογλου, Α. (2009). Εισαγωγή στην Βιοστατιστική και την Επιδημιολογία. *Έκδοση*, 4, 113-135.

Οικονόμου, Χ. (2012). Το θεσμικό πλαίσιο παροχών ασθενείας στην Ελλάδα: ο ρόλος και η λειτουργία του Εθνικού Συστήματος Υγείας, Αθήνα: Ινστιτούτο Εργασίας ΓΣΕΕ.

Οικονόμου, Χ. (2013). Υγεία, κοινωνία και οικονομία.

Παπαγεωργίου, Γ., & Μπίζας, Λ. (2013). Αλληλεξάρτηση υγείας και κοινωνίας. *Ελληνικό Περιοδικό Νοσηλευτικής επιστήμης*, 12-20.

Σαρρής, Μ., Σούλης, Σ., & Θεοδώρου, Μ. (2001). Συστήματα υγείας.

Τούντας, Γ. (2000). Κοινωνία και υγεία. *Αθήνα: Οδυσσέας/Νέα Υγεία*.

Χλέτσος, Μ. (2016). Οικονομικά Της Υγείας, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα. Chrusch, CA, Martin, CM, and The Quality Improvement in Critical Care Project.(2016), Quality Improvement in Critical Care: Selection and Development of Quality Indicators. *Canadian Respiratory Journal*.



ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aadland, D., Finnoff, D. & Huang, K. (2013) Syphilis Cycles. *The B.E. Journal of Economic Analysis and Policy*, **14**, 297–348.
- Beckley, R., Weatherspoon, C., Alexander, M., Chandler, M., Johnson, A., & Bhatt, G. S. (2013). Modeling epidemics with differential equations. *Tennessee State University Internal Report*.
- Brandeau, M.L., Zaric, G.S. & Richter, A. (2003) Resource allocation for control of infectious diseases in multiple independent populations: beyond cost-effectiveness analysis. *J Health Econ*, **22**, 575-98.
- Clancy, D., & Green, N. (2007). Optimal intervention for an epidemic model under parameter uncertainty. *Mathematical biosciences*, *205*(2), 297-314.
- Dubé, E. (2017). Addressing vaccine hesitancy: the crucial role of healthcare providers. *Clinical Microbiology and Infection*, *23*(5), 279-280.
- Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., & Trabandt, M. (2021). The macroeconomics of epidemics. *The Review of Financial Studies*, *34*(11), 5149-5187.
- Fenichel, E.P., Horan, R.D. & Hickling, G.J. (2010) Management of infectious wildlife diseases: bridging conventional and bioeconomic approaches. *Ecological Applications*, **20**, 903-914.
- Gramig BM, Horan, RD (2010) Jointly-determined livestock disease dynamics and decentralized economic behavior (in review)
- Horan, R.D., Fenichel, E., Wolf, C.A. & Gramig, B.M. (2010) Managing infectious animal disease systems. *Annual Review of Resource Economics*, **2**, 101-124.
- Jarrett, C., Wilson, R., O’Leary, M., Eckersberger, E., & Larson, H. J. (2015). Strategies for addressing vaccine hesitancy—A systematic review. *Vaccine*, *33*(34), 4180-4190.
- Keeling, M. J., & Rohani, P. (2007). Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals. Page 10.



«Δυναμική Μελέτη της πολιτικής περιοδικού εμβολιασμού και οι οικονομικές επιπτώσεις στο Επιδημιολογικό Μοντέλο SIR»

Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of London. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 115(772), 700-721.

Kremer, M. (1996) Integrating behavioral choice into epidemiological models of AIDS. *Quarterly Journal of Economics*, 111, 549-573.

Lilienfeld, D. E. (2007). Celebration: William Farr (1807–1883)—an appreciation on the 200th anniversary of his birth. *International journal of epidemiology*, 36(5), 985-987.

Pelling, M. (2022). Mythological endings: John Snow (1813–1858) and the history of American epidemiology. *Centaurus*, 64(1), 231-248.

Perrings, C. (2014) Our Uncommon Heritage: Biodiversity, Ecosystem Services and Human Wellbeing. Cambridge University Press, Cambridge.

Perrings, C., Castillo-Chavez, C., Chowell, G., Daszak, P., Fenichel, E. P., Finnoff, D., ... & Springborn, M. (2014). Merging economics and epidemiology to improve the prediction and management of infectious disease. *EcoHealth*, 11(4), 464-475.

Philipson T (2000) Economic epidemiology and infectious diseases. In: Handbook of Health Economics, JC Anthony, PN Joseph (editors), New York: Elsevier, pp. 1761-1799.

Schichl, H. (2004). Models and the history of modeling. In *Modeling languages in mathematical optimization* (pp. 25-36). Springer, Boston, MA.

Siskou, O., Kaitelidou, D., Papakonstantinou, V., & Liaropoulos, L. (2008). Private health expenditure in the Greek health care system: where truth ends and the myth begins. *Health Policy*, 88(2-3), 282-293.

Teugels, J. L. (2006). Graunt, John (1620–1674). *Encyclopedia of Actuarial Science*, 2.

Wickwire, K. (1977). Mathematical models for the control of pests and infectious diseases: a survey. *Theoretical population biology*, 11(2), 182-238.



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2022, <https://eody.gov.gr/disease/anemeylogia/>
- Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, 2021, <https://eody.gov.gr/wp-content/uploads/2019/01/anemeulogia-2004-2021-gr.pdf>
- Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2022, *Η Ελλάδα με αριθμούς*, https://www.statistics.gr/documents/20181/17831637/GreeceInFigures_2022Q2_GR.pdf/6a6cfe11-cecc-685d-9179-1d6b38731ce8
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012, https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2013/20130627126009/anx_126009_el.pdf
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020, https://www.ema.europa.eu/en/documents/overview/proquad-epar-medicine-overview_el.pdf
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022, https://health.ec.europa.eu/system/files/2022-01/2021_chp_gr_greek.pdf
- Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020a, <https://vaccination-info.eu/el/stoiheia-shetika-me-ta-embolia/i-egkrisi-ton-embolion-stin-eyropaiki-enosi>
- Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020b, <https://vaccination-info.eu/el/stoiheia-shetika-me-ta-embolia/i-apotelesmatikotita-ton-embolion>
- Ευρωπαϊκή Πύλη Πληροφοριών Εμβολιασμού, 2020c, <https://vaccination-info.eu/el/stoiheia-shetika-me-ta-embolia/ofeli-apo-ton-emboliasmo>
- Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2022, <https://www.who.int/teams/health-product-and-policy-standards/standards-and-specifications/vaccine-standardization/varicella>
- Υπουργείο Υγείας, 2021, *Εθνικό Πρόγραμμα Εμβολιασμών Ενηλίκων 2022*, available at <https://diavgeia.gov.gr/decision/view/%CE%A87%CE%A6%CE%A5465%CE%A6%CE%A5%CE%9F-47%CE%A6>