



Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών
ΜΠΣ Βιοϊατρικές μέθοδοι και τεχνολογία στη διάγνωση



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θέματα βιοασφάλειας σε εργαστηριακές μονάδες στην
εποχή της πανδημίας του SARS-CoV-2**

POST GRADUATE THESIS

Biosafety issues in laboratory units in the era of the SARS-CoV-2

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENTS

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΣΑΝΤΙΞΗ

ANGELIKI SANTIXI

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

ΠΕΤΡΟΣ ΚΑΡΚΑΛΟΥΣΟΣ

PETROS KARKALOUSOS

ΑΙΓΑΛΕΩ/ΑΙΓΑΛΕΟ 2024



Faculty of Health and Caring Professions

Department of Biomedical Sciences

Postgraduate program:

Biomedical methods and technology in diagnosis



POST GRADUATE THESIS

Biosafety issues in laboratory units in the era of the Sars-Cov-2

SANTIXI ANGELIKI

dml21024

asantixe@gmail.com

FIRST SUPERVISOR

PETROS KARKALOUSOS

SECOND SUPERVISOR

MARIA TRAPALI

AIGALEO 2024

Επιτροπή εξέτασης

Ημερομηνία εξέτασης: 9/2/2024

	Ονόματα εξεταστών	Υπογραφή
1 ^{ος} Εξεταστής	Πέτρος Καρκαλούσος	
2 ^{ος} Εξεταστής	Μαρία Τράπαλη	

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αγγελική Σαντιζή του Παράσχου, με αριθμό μητρώου dml21024 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Βοϊατρικές μέθοδοι και Τεχνολογία στη Διάγνωση του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Σαντιζή Αγγελική



Περίληψη

Εισαγωγή: Η πανδημία COVID-19 έθεσε τα εργαστηριακά πρότυπα βιοασφάλειας στο επίκεντρο της παγκόσμιας προσοχής, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για αυστηρούς περιορισμούς και προσαρμογές στις τρέχουσες πρακτικές. Αυτή η βιβλιογραφική έρευνα επικεντρώνεται στις επιτυχίες, τις αποτυχίες, και τις αναδυόμενες στρατηγικές στη βιοασφάλεια κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Σκοπός: Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η ανάλυση των διαδικασιών και των μέτρων βιοασφάλειας που εφαρμόστηκαν στα εργαστήρια κατά τη διάρκεια της COVID-19, η εξέταση των προκλήσεων, των αποτυχιών και των επιτυχιών, καθώς και η προσδιορισμός των δυνατοτήτων για μελλοντικές βελτιώσεις.

Μέθοδος: Η προσέγγιση περιλαμβάνει μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, μελέτες περίπτωσης και αναλύσεις δεδομένων από διάφορα εργαστήρια που ανταποκρίθηκαν στην πανδημία. Επιπρόσθετα, εξετάζονται διδάγματα από αποτυχίες βιοασφάλειας με τη χρήση κριτικής ανάλυσης.

Αποτελέσματα: Η δημοσίευση των Du et al. (2020) επισημαίνει την ανάγκη για ενισχυμένες προφυλάξεις και προτάσεις για τη διατήρηση της βιοασφάλειας σε ανδρولوجικά εργαστήρια κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Τονίζεται η σημασία της αυστηρής απολύμανσης, χρήσης προστατευτικού εξοπλισμού και της κατάρτισης του προσωπικού σε θέματα βιοασφάλειας για την πρόληψη της διάδοσης του ιού. Παράλληλα, η έρευνα της IFCC ανέδειξε τις προσαρμογές που έκαναν τα εργαστήρια στις διαδικασίες τους, περιορίζοντας τις δοκιμές σε συγκεκριμένες ομάδες ασθενών και ενισχύοντας τις διαδικασίες απολύμανσης. Η μελέτη Silva et al. και η έρευνα των Lu et al. αναδεικνύουν επιπλέον τις προ-κλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επαγγελματίες υγείας, όπως η επαγγελματική εξουθένωση, και τονίζουν την ανάγκη για συνεχή εκπαίδευση και υποστήριξη στις πρακτικές βιοασφάλειας. Αυτές οι ερευνητικές διαπιστώσεις αντικατοπτρίζουν τη σημασία της συνεχούς προσαρμογής και της ανάγκης για συνεργασίες μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών οντοτήτων στον τομέα της υγείας. Η ταχεία κοινοποίηση δεδομένων και η ανάπτυξη κοινών στρατηγικών είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική αντιμετώπιση πανδημικών απειλών, ενώ η ανίχνευση και παρακολούθηση νέων μεταλλάξεων του ιού είναι ζωτικής σημασίας για την προσαρμογή των υγειονομικών πολιτικών και των πρωτοκόλλων αντιμετώπισης της νόσου.

Συμπεράσματα: Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, παρά τις υφιστάμενες προκλήσεις, η πανδημία προσέφερε μοναδικές ευκαιρίες για βελτίωση και καινοτομία στο πεδίο της βιοασφάλειας. Η συνεχής εκπαίδευση, η επενδυτική στήριξη στην έρευνα και η ενίσχυση της διαλλακτικότητας στις μεθόδους βιοασφάλειας αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την προετοιμασία και ανταπόκριση σε μελλοντικές κρίσεις υγείας.

Λέξεις κλειδιά: Βιοασφάλεια, COVID-19, Εργαστηριακές Πρακτικές, Ανταπόκριση στην Πανδημία, Υγειονομικές Κρίσεις, Καινοτόμα Πρωτόκολλα

Abstract

Introduction: The COVID-19 pandemic has thrust laboratory biosafety standards into the global spotlight, underlining the necessity for stringent controls and adaptations in current practices. This research focuses on the successes, failures, and emerging strategies in biosafety during the pandemic era.

Objective: The aim of this study is to analyze the processes and biosafety measures implemented in laboratories during the COVID-19 crisis, examine the challenges, failures, and successes, and identify opportunities for future improvements.

Method: The approach includes an extensive literature review, case studies, and data analyses from various laboratories responding to the pandemic. Additionally, lessons from biosafety failures are examined using critical analysis.

Results: The publication by Du et al. (2020) highlights the need for enhanced precautions and recommendations for maintaining biosafety in laboratories during the COVID-19 pandemic. The importance of strict disinfection processes, use of protective equipment, and staff training in biosafety measures to prevent virus spread is emphasized. Simultaneously, the IFCC research showcased the adaptations made by laboratories in their procedures, limiting tests to specific patient groups and enhancing disinfection processes. Studies by Silva et al. and research from Lu et al. further highlight the challenges faced by healthcare professionals, such as occupational burnout, and underline the necessity for continuous training and support in biosafety practices. These research findings reflect the importance of ongoing adaptation and the need for collaborations between public and private entities in the health sector. Rapid data sharing and the development of joint strategies are crucial for effectively addressing pandemic threats, while the detection and monitoring of new virus mutations are vital for adjusting public health policies and disease management protocols.

Conclusions: The research concludes that, despite existing challenges, the pandemic provided unique opportunities for improvement and innovation in the field of biosafety. Ongoing education, investment in research, and bolstering adaptability in biosafety methods are crucial factors for preparing and responding to future health crises.

Key words: Biosafety, COVID-19, Laboratory Practices, Pandemic Response, Health Crises, Innovative Protocols.

Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας	iv
Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Συνοτομογραφίες	xi
Πρόλογος.....	1
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	2
1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	2
1.2 Δήλωση της ερευνητικής προβληματικής	3
1.3 Στόχοι βιβλιογραφικής έρευνας.....	3
1.4 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί.....	4
1.5 Σημασία της Μελέτης.....	4
Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές βιοασφάλειας.....	5
2.1 Ορισμός της Βιοασφάλειας.....	5
2.2 Επίπεδα βιοασφάλειας και οι απαιτήσεις τους	7
2.3 Σημασία της Βιοασφάλειας στις Εργαστηριακές Μονάδες	10
2.5 Ρυθμιστικό πλαίσιο και κατευθυντήριες οδηγίες	14
Κεφάλαιο 3: Προκλήσεις βιοασφάλειας στην εποχή της Covid-19	17
3.1 Οδοί μετάδοσης του SARS-CoV-2	17
3.2 Κίνδυνοι για το προσωπικό του εργαστηρίου	20
3.3 Προκλήσεις στις διαγνωστικές δοκιμές	22
3.4 Χειρισμός κλινικών δειγμάτων.....	23
3.5 Ζητήματα βιοασφάλειας σε ερευνητικές δραστηριότητες	27
3.6 Ανησυχίες βιοασφάλειας στην ανάπτυξη εμβολίων	29
4.1 Εκτίμηση και Διαχείριση Κινδύνων	30
4.2 Χρήση Ατομικού Προστατευτικού Εξοπλισμού	35
4.2.2 Σωστή χρήση του ΑΠΕ.....	37
4.2.3 Κατάρτιση και εκπαίδευση	40
4.3 Τεχνικοί Έλεγχοι και Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων	40
4.6 Συστήματα επιτήρησης και αναφοράς	46
5.1 Επιτυχείς Πρακτικές Βιοασφάλειας σε Εργαστηριακές Μονάδες.....	47

5.2 Διδάγματα που αντλήθηκαν από αποτυχιές βιοασφάλειας	49
5.3 Μελέτες περίπτωσης εργαστηρίων που ανταποκρίνονται στην Covid-19	53
6.1 Περίληψη ευρημάτων.....	57
6.2 Συνεισφορές στο πεδίο και μελλοντικές προεκτάσεις	58
6.3 Περιορισμοί της βιβλιογραφικής έρευνας.....	60
Αναφορές	61
Πηγές Εικόνων	74

Συντομογραφίες

	<u>Αγγλική ορολογία</u>	<u>Ελληνική ορολογία</u>
WHO	World Health Organization	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
CDC	Centers for Disease Control and Prevention	Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Ασθενειών
PPE	Personal Protective Equipment	Μέσα ατομικής προστασίας
SARS-	Severe Acute Respiratory Syndrome	Σοβαρό οξύ αναπνευστικό
CoV-2	Coronavirus 2	σύνδρομο κορονοϊού 2
BSL	Biosafety Level	Επίπεδο Βιοασφάλειας

Πρόλογος

Στο πλαίσιο της δημόσιας υγείας και της επιστημονικής κοινότητας, η βιοασφάλεια έχει εδραιωθεί ως μία από τις πλέον κρίσιμες προτεραιότητες, ειδικά στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19. Αυτό το φαινόμενο δεν είναι μόνον αποτέλεσμα της ευρείας διάδοσης του ιού, αλλά και της ενδεχόμενης επικινδυνότητας που συνεπάγεται η λανθασμένη χειριστική προσέγγιση των βιολογικών δειγμάτων. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει με βάθος τις προκλήσεις και τις δυναμικές που περιβάλλουν τη βιοασφάλεια σε εργαστηριακές ρυθμίσεις κατά τη διάρκεια αυτού του ιδιαίτερα σημαντικού και διαρκώς εξελισσόμενου κρίσιμου σημείου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία όχι μόνον επιχειρεί μια σύνθετη αναλυτική παρουσίαση των προκλήσεων που παρουσιάζονται στον τομέα της βιοασφάλειας, αλλά εξετάζει και τις υπάρχουσες δυναμικές που διαμορφώνουν την εφαρμογή των προτύπων και των πρωτοκόλλων βιοασφάλειας στα εργαστήρια κατά τη διάρκεια αυτής της κρίσης. Μέσα από την κριτική ανάλυση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, επιχειρείται μια βαθύτερη κατανόηση των πραγματικών πεδίων εφαρμογής, των εμποδίων, των ανησυχιών, αλλά και των προσφερόμενων λύσεων, με ιδιαίτερη έμφαση στην πρόκληση που αντιπροσωπεύει ο SARS-CoV-2. Με βάση παραδείγματα, μελέτες περίπτωσης και πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί σε διεθνές επίπεδο, η εργασία αναδεικνύει τις βέλτιστες πρακτικές στον τομέα και παρουσιάζει ολοκληρωμένες στρατηγικές για την περαιτέρω ενίσχυση των μέτρων βιοασφάλειας.

Ο στόχος αυτής της βιβλιογραφικής αναφοράς είναι να λειτουργήσει ως ένας πολύτιμος πόρος για ερευνητές και επαγγελματίες στον τομέα, προσφέροντας ταυτόχρονα νέες προοπτικές και ευαισθητοποιώντας για τις κρίσιμες ανάγκες και προτεραιότητες της βιοασφάλειας. *Ceteris paribus*, με τελικό στόχο τη βελτίωση της προστασίας της δημόσιας υγείας, τόσο στα εργαστήρια όσο και στην ευρύτερη κοινότητα, πέραν της τρέχουσας πανδημικής κρίσης.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Η πανδημία του SARS-CoV-2, που ξεκίνησε το τέλος του 2019, έθεσε σε δοκιμασία την υγειονομική υποδομή και τα πρωτόκολλα βιοασφάλειας σε παγκόσμιο επίπεδο (Yu *et al.*, 2020; WHO, 2021). Εργαστηριακές μονάδες από όλον τον κόσμο, οι οποίες είχαν προηγουμένως επικεντρωθεί σε διάφορα άλλα επιστημονικά πεδία, βρέθηκαν αντιμέτωπες με την ανάγκη διαχείρισης, μελέτης και παρακολούθησης του νέου ιού (Choy, 2020; Souza and Morel, 2021). Για παράδειγμα η μελέτη των Karthik *et al* (2021), στο προοίμιο της πανδημικής κρίσης ασχολείται με τις ανησυχίες σχετικά με τη βιοασφάλεια κατά τη συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία δειγμάτων COVID-19 για διαγνωστικούς σκοπούς. Το άρθρο εξετάζει πιθανές προκλήσεις και κινδύνους που σχετίζονται με την εργασία σε εργαστηριακό περιβάλλον με δείγματα που μπορεί να περιέχουν τον ιό SARS-CoV-2, ο οποίος προκαλεί την COVID-19 (Karthik *et al.*, 2020).

Επιπρόσθετα, το άρθρο των Loh *et al* (2020) αναφέρεται στις εργαστηριακές πρακτικές παγκοσμίως που υλοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση των κινδύνων σχετιζόμενων με βιοκινδύνους, ειδικά στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19 σε συνδυασμό με τη διερεύνηση της καταγραφής μέσω ερωτηματολογίου των γενικών χαρακτηριστικών των εργαστηρίων κατά το χειρισμό των δειγμάτων. Συγκεκριμένα αναφέρονται θέματα όπως η ασφάλεια κατά τον χειρισμό και επεξεργασία δειγμάτων, η χρήση Προσωπικού Προστατευτικού Εξοπλισμού (PPE), τα διάφορα πρωτόκολλα απόρριψης δειγμάτων και μέτρα προστασίας του προσωπικού του εργαστηρίου (Loh, *et al.*, 2020).

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση επιχειρεί να αναδείξει τις προκλήσεις και τις αλλαγές που έπρεπε να υιοθετηθούν σε εργαστηριακό περιβάλλον για την ασφαλή και αποτελεσματική διαχείριση του ιού. Αποτελεί μια προσπάθεια να καταγράψει, να αναλύσει και να ερμηνεύσει τα δεδομένα που σχετίζονται με τη βιοασφάλεια, και να παρουσιάσει τις βέλτιστες πρακτικές που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Η ανάγκη για βιοασφάλεια έχει αναγνωριστεί εδώ και χρόνια, ωστόσο, η πανδημία του SARS-CoV-2 ανέδειξε την αναγκαιότητα για συνεχή αναθεώρηση, ενημέρωση και προσαρμογή των πρωτοκόλλων και των πρακτικών (Karthik *et al.*, 2020; Rutjes *et al.*, 2023). Αυτή η μεταπτυχιακή μελέτη, λοιπόν, μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική προσφορά

στην επιστημονική κοινότητα, καθώς προσπαθεί να καταγράψει τις αλλαγές, τις δυσκολίες, αλλά και τις λύσεις που εφαρμόστηκαν σε εργαστηριακό πλαίσιο στην εποχή της πανδημίας.

1.2 Δήλωση της ερευνητικής προβληματικής

Στην εποχή της πανδημίας του SARS-CoV-2, η βιοασφάλεια στις εργαστηριακές μονάδες απέκτησε (αλλά λόγω της φύσης του ιού ακόμα έχει) κρίσιμη σημασία, τόσο για την ασφάλεια του εργαστηριακού προσωπικού, όσο και για τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των εργαστηριακών αναλύσεων (Naeem, Zeb and Rashid, 2022). Η προβληματική της παρούσας μελέτης εμπεριέχει πλείστα ερωτήματα τα οποία περιλαμβάνουν τις κύριες προκλήσεις που αντιμετώπισαν τα εργαστήρια στον τομέα της βιοασφάλειας κατά τη διάρκεια της πανδημίας και τα πρωτόκολλα και πρακτικές που έχουν αναπτυχθεί ή τροποποιηθεί για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις. Πρόσθετα, τίθεται το βασικό ερώτημα σχετικά με τον τρόπο που αυτές οι πρακτικές μπορούν να ενταχθούν στις συνήθεις εργαστηριακές διαδικασίες για να διασφαλιστεί η συνεχής βελτίωση της βιοασφάλειας στο μέλλον, που η απάντηση σε αυτό το ερώτημα μπορεί να περιλαμβάνει την πρόσθετη εκπαίδευση και κατάρτιση όχι μόνο του προσωπικού των εργαστηρίων, αλλά και του κοινωνικού συνόλου.

1.3 Στόχοι βιβλιογραφικής έρευνας

Οι στόχοι μιας βιβλιογραφικής έρευνας ορίζουν τις κύριες προτεραιότητες και τις κατευθύνσεις της μελέτης. Με βάση την ερευνητική προβληματική που περιεγράφηκε ανωτέρω, οι στόχοι της βιβλιογραφικής ανασκόπησης μπορούν να οριστούν ως εξής:

- **Επισκόπηση των Εξελίξεων:** Αρχικά επιχειρείται η αναγνώριση των βασικών εξελίξεων στον τομέα της βιοασφάλειας σε εργαστηριακές μονάδες πριν από την εμφάνιση του SARS-CoV-2, που περιλαμβάνει τα επίπεδα βιοασφάλειας και το ρυθμιστικό πλαίσιο και τις κατευθυντήριες οδηγίες που παγκοσμίως τίθενται σε ισχύ.
- **Ανάλυση των Προκλήσεων:** Στη συνέχεια επιχειρείται η διερεύνηση των σημαντικών προκλήσεων που αντιμετώπισαν τα εργαστήρια σε σχέση με τη βιοασφάλεια κατά τη διάρκεια της πανδημίας, δυνάμει του χειρισμού των κλινικών

δειγμάτων και της εκτίμησης και διαχείρισης κινδύνου που αφορά την ενίσχυση των μέτρων βιοασφάλειας.

- Παρουσίαση βέλτιστων πρακτικών: Επιπρόσθετα, επιχειρείται η παρουσίαση των πρωτοκόλλων και πρακτικών που υιοθετήθηκαν ή τροποποιήθηκαν ως απόκριση στις προκλήσεις που επισημάνθηκαν.

1.4 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί

Κατά την εξέταση των θεμάτων βιοασφάλειας σε εργαστηριακές μονάδες κατά τη διάρκεια της πανδημίας του SARS-CoV-2, είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί το πεδίο εφαρμογής της παρούσας βιβλιογραφική έρευνας και οι ενδεχόμενοι περιορισμοί. Αρχικά η βιβλιογραφική αυτή ανασκόπηση στοχεύει στην ανάλυση των πρακτικών και προτύπων βιοασφάλειας που εφαρμόζονται στα εργαστηριακά περιβάλλοντα, ειδικότερα σε εκείνα που έχουν έρθει σε επαφή με δείγματα SARS-CoV-2. Επιπρόσθετα, το χρονικό πλαίσιο αναφοράς αφορά την περίοδο από την ανακάλυψη του ιού έως τη σημερινή ημερομηνία, προκειμένου να κατανοηθεί η εξέλιξη των προτύπων και των προκλήσεων στο πεδίο αυτό.

Σε ότι αφορά τους περιορισμούς, αξίζει να αναφερθεί ότι οι περιορισμοί δεν αποτελούν ούτε λειτουργούν ως τροχοπέδη στην επιστημονικότητα της ανασκόπησης, αλλά παρουσιάζουν το πλαίσιο διερεύνησης βάσει των ενδεχόμενων περιοριστικών παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πρώτον, οι πηγές πληροφοριών περιορίζονται σε δημοσιεύσεις και επιστημονικά άρθρα διαθέσιμα μέχρι το τελευταίο στάδιο της παρούσης έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι οι πιθανές μετέπειτα εξελίξεις μετά την ολοκλήρωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης δεν λαμβάνονται υπόψη. Δεύτερον, ενώ η βιβλιογραφική ανασκόπηση προσπαθεί να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο εκτενής, οι γεωγραφικοί περιορισμοί μπορεί να επηρεάσουν την ολοκληρωμένη κατανόηση των προτύπων βιοασφάλειας σε διεθνές επίπεδο. Τέλος, η δυναμική φύση της πανδημίας και οι συνεχείς εξελίξεις στον τομέα της βιοασφάλειας προσδίδουν μια ενδεχομένως προσωρινή φύση στα ευρήματα.

1.5 Σημασία της Μελέτης

Η πανδημία του SARS-CoV-2, η οποία ξεκίνησε το 2019, έφερε στο προσκήνιο σημαντικές προκλήσεις για την παγκόσμια υγειονομική κοινότητα, τόσο σε επίπεδο πρόληψης όσο και θεραπείας. Εκτός των προφανών προκλήσεων που σχετίζονται με την ιατρική

περίθαλψη των ασθενών, ένας τομέας που αντιμετώπισε σημαντικές προκλήσεις είναι η βιοασφάλεια εντός των εργαστηριακών μονάδων (Karagül, Saraç and Hasöksüz, 2021). Η συγκεκριμένη μελέτη, καταπιάνεται με την εξέταση των θεμάτων βιοασφάλειας σε αυτές τις μονάδες, αναδεικνύοντας την αναγκαιότητα για αυστηρά και εξελισσόμενα πρότυπα. Ως εκ τούτου, η σημασία της μελέτης εντοπίζεται στην προσπάθειά της ενίσχυσης των προτύπων, καθώς τα εργαστήρια *ceteris paribus* προς την εφαρμογή των καλύτερων πρακτικών μπορούν να μειώσουν τυχόν εξάπλωση του ιού ή άλλων παθογόνων. Επιπρόσθετα, η μελέτη μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για περαιτέρω έρευνες, ενθαρρύνοντας τη διεξαγωγή εμπειριστατωμένων μελετών στον τομέα της βιοασφάλειας.

Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές βιοασφάλειας

2.1 Ορισμός της Βιοασφάλειας

Η βιοασφάλεια αναφέρεται στο σύνολο των μέτρων, πρακτικών, κατευθυντηρίων οδηγιών και προτύπων που λαμβάνονται με σκοπό την πρόληψη, τον περιορισμό και την αντιμετώπιση της εμφάνισης, εξάπλωσης και εκδήλωσης παθογόνων οργανισμών, καθώς και άλλων βιολογικών παραγόντων που μπορεί να απειλήσουν την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον ή την οικονομία. Η βιοασφάλεια στοχεύει τόσο στην προστασία του πληθυσμού και των οικοσυστημάτων, όσο και στην αποφυγή της εκτός ελέγχου διάδοσης βιολογικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (Sewell, 1995; Orelle *et al.*, 2022).

Η έννοια της βιοασφάλειας έχει ήδη οριστεί από την επιστημονική κοινότητα και αναφέρεται στην πρόληψη και τον έλεγχο των κινδύνων που προκαλούνται από βιολογικούς παράγοντες, όπως η βιοτεχνολογία και οι παθογόνοι οργανισμοί, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω (Liarin and Kuttyrev, 2013). Ωστόσο, υπάρχουν δύο έννοιες που συχνά είτε αλληλοσυμπληρώνονται είτε σημαίνουν διαφορετική έννοια: η biosafety και η biosecurity (Briggs, 2011). Η biosafety αφορά στην πρόληψη της μεγάλης κλίμακας απώλειας της βιολογικής ακεραιότητας, εστιάζοντας τόσο στην οικολογία όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Επικεντρώνεται στην παθητική πρόληψη και έλεγχο των ακούσια προκληθέντων βιοτεχνολογικών και μικροβιακών βιολογικών κινδύνων (Bakanidze, Imnadze and Perkins, 2010). Αντίθετα, η biosecurity αναφέρεται σε προληπτικά μέτρα για την αποτροπή εσκεμμένων βιολογικών κινδύνων και συχνά αναφέρεται σε τομείς όπως η εθνική ασφάλεια, ο έλεγχος βιολογικών όπλων, η διαχείριση πρόληψης επιδημιών, η

ασφάλεια των τροφίμων και η εισβολή ειδών (Meyerson and Reaser, 2002; Borkow *et al.*, 2010). Παρόλο που οι δύο όροι έχουν κάποιες διακριτές διαφορές στη σημασία τους, χωρίς ειδική έμφαση, χρησιμοποιείται γενικά ο όρος βιοασφάλεια. Επομένως, στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη, ο όρος «βιοασφάλεια» χρησιμοποιείται σε όλες τις επόμενες ενότητες.

Ο ερευνητικός σκοπός της βιοασφάλειας έγκειται στη λήψη αποτελεσματικών μέτρων ενάντια στις βιολογικές απειλές (Lakoff and Collier, 2020). Όπως συνοψίζεται στην Εικόνα 1, τα ερευνητικά πεδία της βιοασφάλειας καλύπτουν μια ευρεία γκάμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου των μεταδοτικών νόσων, της παρακολούθησης των κινδύνων της βιοτεχνολογίας, της διασφάλισης της βιολογικής ασφάλειας στα εργαστήρια, της προστασίας των βιολογικών πόρων, της πρόληψης εισβολής ξένων ειδών, της άμυνας ενάντια στον βιολογικό πόλεμο και τις βιολογικές τρομοκρατικές επιθέσεις (Yu *et al.*, 2020).



Εικόνα 1. Ερευνητικό πεδίο της βιοασφάλειας (Yu *et al.*, 2020)

Σε εργαστηριακό περιβάλλον, η βιοασφάλεια συνδέεται άμεσα με τη χρήση και τη διαχείριση βιολογικών δειγμάτων, την ασφαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων, την

εκπαίδευση του προσωπικού και την προληπτική δράση σε περίπτωση ατυχημάτων ή απειλών. Επομένως, η ορθή εφαρμογή των αρχών της βιοασφάλειας είναι αποφασιστικής σημασίας.

2.2 Επίπεδα βιοασφάλειας και οι απαιτήσεις τους

Οι βασικές αρχές της βιοασφάλειας απαιτούν τη συνεχή ενημέρωση και επιβλέποντα ελέγχου των προτύπων και πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται. Η διαχείριση των βιολογικών δειγμάτων περιλαμβάνει τη σωστή συλλογή, αποθήκευση, μεταφορά και απόρριψη τους, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εξάπλωσης παθογόνων οργανισμών. Παράλληλα, οι εγκαταστάσεις πρέπει να είναι σχεδιασμένες και λειτουργικές ώστε να παρέχουν ένα ασφαλές περιβάλλον, αποτρέποντας τυχόν διαρροές ή άλλες πηγές εκθέσεως. Επιπλέον, τα εργαστήρια πρέπει να διαθέτουν σαφή πρωτόκολλα αντίδρασης σε περίπτωση ατυχημάτων ή απρόσμενων καταστάσεων, με στόχο τη γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση κάθε πιθανού συμβάντος. Τέλος, η βιοασφάλεια δεν περιορίζεται μόνο στο εσωτερικό του εργαστηρίου. Η συνεργασία με άλλες επαγγελματικές ομάδες, ρυθμιστικές αρχές και το γενικό πληθυσμό είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της βιοασφάλειας σε ευρύτερο πλαίσιο, προωθώντας τη συνεχή βελτίωση των πρακτικών και τη διατήρηση της δημόσιας εμπιστοσύνης. Η βιοασφάλεια στο εργαστηριακό περιβάλλον κατατάσσεται σε διάφορα επίπεδα, με βάση τον βαθμό κινδύνου των παθογόνων που χειρίζεται το εργαστήριο και την πολυπλοκότητα των εργασιών. Κάθε επίπεδο έχει τις δικές του απαιτήσεις και προδιαγραφές για να εξασφαλίζεται η ασφάλεια (Barkham, 2004; Kaufner *et al.*, 2020).

i. Επίπεδο Βιοασφάλειας 1 (BSL-1)

- Κίνδυνος: Περιλαμβάνει οργανισμούς που δεν προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο.
- Απαιτήσεις: Τυπικές πρακτικές εργαστηρίου, δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός. Οι εργασίες γίνονται σε ανοιχτές πάγκους εργασίας.

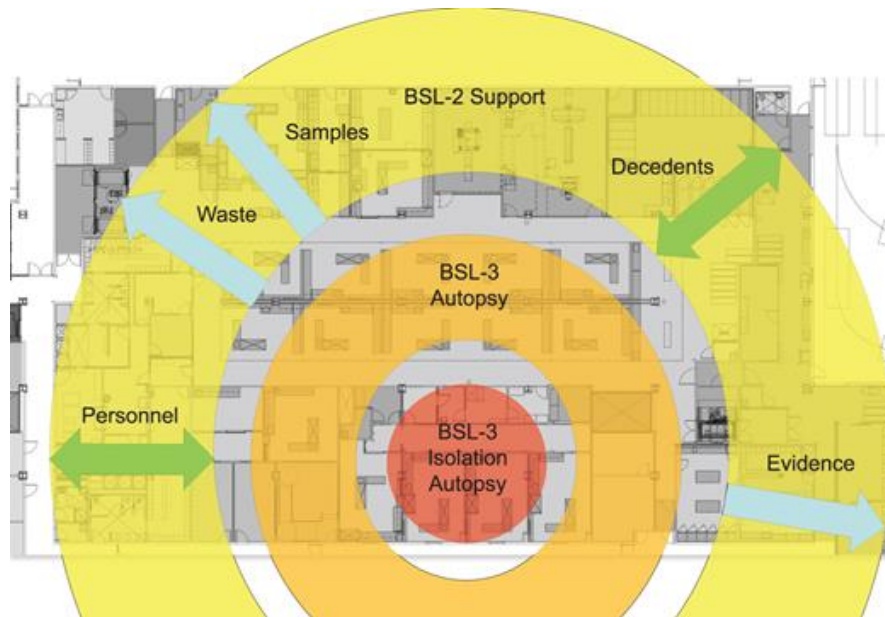
ii. Επίπεδο Βιοασφάλειας 2 (BSL-2)

- Κίνδυνος: Περιλαμβάνει οργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες στον άνθρωπο αλλά υπάρχουν γνωστές θεραπείες.
- Απαιτήσεις: Ειδικές πρακτικές εργαστηρίου, π.χ. βιολογικοί ανεμιστήρες ασφαλείας (BSCs) για διάχυση αερίων και εκτός αέρα.

iii. Επίπεδο Βιοασφάλειας 3 (BSL-3)

- Κίνδυνος: Περιλαμβάνει οργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες ή ασθένειες που μπορεί να διαδοθούν αερογενώς και για τις οποίες ενδέχεται να μην υπάρχει θεραπεία.
- Απαιτήσεις: Στεγανά εργαστήρια, αποστείρωση του εξαεριζόμενου αέρα, απαιτούνται ειδικοί εξοπλισμοί προστασίας.

Οι εγκαταστάσεις που σχεδιάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα των εργαστηρίων BSL-3 πρέπει να συμμορφώνονται με μια σειρά κρίσιμων χαρακτηριστικών για να διασφαλίζεται η βιοασφάλεια. Πρωτίστως, απαιτείται ένας ξεχωριστός χώρος εργασίας, ο οποίος πρέπει να είναι εφοδιασμένος με πόρτες που κλείνουν, περιορίζοντας την πρόσβαση μόνο στο προσωπικό που εκτελεί τις εργασίες. Ο εξαερισμός του χώρου πρέπει να είναι ισορροπημένος, διασφαλίζοντας μια μονόδρομη ροή αέρα προς το εσωτερικό (αρνητική πίεση), με την εξαεριζόμενη ροή να απομακρύνεται προς το εξωτερικό. Όλες οι τομές στην κατασκευή του εργαστηρίου (τοίχοι, δάπεδα και ταβάνια) πρέπει να είναι σφραγισμένες, συμπεριλαμβανομένων και των πλαισίων των πορτών. Επιπλέον, τα υλικά των τοίχων, δαπέδων και ταβανιών πρέπει να είναι εύκολα στον καθαρισμό και την απολύμανση, ενώ τα δάπεδα πρέπει να είναι ομογενή, αντιολισθητικά και ανθεκτικά στη φθορά. Τα συστήματα κενού πρέπει να είναι εξοπλισμένα με φίλτρα υψηλής αποδοτικότητας (HEPA) και παγίδες απολύμανσης. Τέλος, ολόκληρο το σύστημα απομόνωσης πρέπει να επαληθεύεται από ειδικούς προτού ξεκινήσει η λειτουργία του εργαστηρίου και σε ετήσια βάση, διασφαλίζοντας τη συνεχή τήρηση των προτύπων βιοασφάλειας (Nolte *et al.*, 2021).



Εικόνα 2. Σχεδιασμός ομόκεντρου δακτυλίου που απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ των ζωνών βιοασφάλειας και της ροής του προσωπικού, των δειγμάτων και των αποβλήτων (Nolte et al., 2021).

iv. Επίπεδο Βιοασφάλειας 4 (BSL-4)

- Κίνδυνος: Περιλαμβάνει οργανισμούς που προκαλούν σοβαρές ασθένειες για τις οποίες δεν υπάρχει θεραπεία.
- Απαιτήσεις: Εξαιρετικά αυστηρά μέτρα. Τα εργαστήρια ακολουθούν ιδιαίτερα αυστηρά πρότυπα βιοασφάλειας, με στεγανές πόρτες και διπλά τοιχώματα. Το προσωπικό εργάζεται με πλήρη προστατευτικό εξοπλισμό και υπό στεγανές συνθήκες.

Τα εργαστήρια BSL-4 αποτελούν διακριτές εγκαταστάσεις, οι οποίες συνιστούν μόνο ένα μικρό ποσοστό των εργαστηρίων παγκοσμίως. Παρόλο που είναι περιορισμένα σε αριθμό, αυτά τα εργαστήρια εκτελούν μελέτες μέγιστης σημασίας σχετικά με τους πλέον θανατηφόρους παθογόνους οργανισμούς του πλανήτη, για τους οποίους οι διαθέσιμοι εμβολιασμοί ή θεραπείες είναι περιορισμένοι ή ανύπαρκτοι. Πολλά από αυτά τα εργαστήρια λειτουργούν ως κέντρα αναφοράς, παρέχοντας επιστημονικές συμβουλές, καθώς και διαγνωστική υποστήριξη και εργαλεία σε χώρες σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα εργαστήρια αναφοράς υφίστανται ως κέντρα αριστείας με στόχο την υποστήριξη της ανθρώπινης και ζωικής υγείας, διαδραματίζοντας ένα καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της δημόσιας υγείας και της βιοασφάλειας σε παγκόσμιο επίπεδο (Pickering et al., 2019). Ορισμένα χαρακτηριστικά των εργαστηρίων BSL-4 περιλαμβάνουν την αυτόνομη

κατασκευή τους, ήτοι είναι συχνά ανεξάρτητα κτίρια ή απομονωμένες ενότητες με δικά τους συστήματα εξαερισμού. Η πρόσβαση είναι περιορισμένη και συχνά χρειάζεται βιομετρική επαλήθευση. Ολόκληρο το εργαστήριο και όλος ο εξοπλισμός αποστειρώνονται τακτικά.



Εικόνα 3. Φωτογραφίες του εκπαιδευτικού εργαστηρίου Βιοασφάλειας Επίπεδου 4 (BSL-4) για το Εθνικό Εργαστήριο Βιοασφάλειας της Κίνας (Επίπεδο 4) της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών της Wuhan (Xia *et al.*, 2019).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω επίπεδα και απαιτήσεις μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις εθνικές ή περιφερειακές νομοθεσίες και κατευθυντήριες οδηγίες.

2.3 Σημασία της Βιοασφάλειας στις Εργαστηριακές Μονάδες

Προηγούμενες επιδημίες όπως η επιδημία του Έμπολα το 2014 πρόσφερε πολλά σημαντικά μαθήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Μεταξύ αυτών ήταν η ανάγκη για τη θέσπιση πολιτικών και διαδικασιών που προστατεύουν τους εργαζόμενους στον τομέα της υγείας, καθώς και η αποφυγή καθυστερήσεων στις διαγνωστικές αξιολογήσεις λόγω επικέντρωσης σε σπάνια νοσήματα (Karwowski *et al.*, 2014). Το 2016, η εμφάνιση του ιού Ζίκα αποτέλεσε ακόμη ένα παράδειγμα αναδυόμενης επιδημίας που αναδείχθηκε σε δημόσια επιτακτική ανάγκη, και πολλοί ειδικοί προέβλεψαν τότε την εμφάνιση νέων μολυντικών ασθενειών στο εγγύς μέλλον (Jones *et al.*, 2008; Castillo-Salgado, 2010; Ryan *et al.*, 2017).

Κατά τη διάρκεια αυτής της επιδημίας, η Επιτροπή Συμβουλευτικής Βελτίωσης των Κλινικών Εργαστηρίων (CLIA) χαρακτήρισε τη βιοασφάλεια των κλινικών εργαστηρίων ως «κρίσιμη αναγκαία αντιμετώπιση σε εθνικό επίπεδο» και κάλεσε την κυβέρνηση των ΗΠΑ να αυξήσει σημαντικά την καθοδήγηση, την εκπαίδευση και την προβολή της βιοασφάλειας προς την κοινότητα των κλινικών εργαστηρίων. Επομένως, η ενίσχυση της διαχείρισης και της προετοιμασίας της βιοασφάλειας στα κλινικά εργαστήρια, που αποτελούν την πρώτη γραμμή αντίδρασης σε οποιαδήποτε επιδημιολογική έκρηξη, είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία της δημόσιας υγείας. Η σημασία αυτή επιβεβαιώθηκε και πάλι με την πανδημία της COVID-19, με την οποία έρχονται αντιμέτωποι εργαζόμενοι στον τομέα της υγείας, προσωπικό εργαστηρίου και το ευρύ κοινό (Madad and Spencer, 2021). Η βιοασφάλεια αποτελεί θεμελιώδη πυλώνα στη λειτουργία των εργαστηριακών μονάδων και είναι κρίσιμη για πολλούς λόγους:

- Προστασία του Εργαστηριακού Προσωπικού: Η προστασία του εργαστηριακού προσωπικού από την έκθεση σε βιολογικούς παράγοντες και παθογόνους οργανισμούς είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι ακόλουθοι παράγοντες και μέτρα ασφάλειας αποτελούν κεντρικό σημείο εστίασης σε αυτό το πλαίσιο. Οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδεύονται περιοδικά για τη σωστή χρήση του εξοπλισμού, τον ασφαλή χειρισμό των δειγμάτων και τις διαδικασίες αντιμετώπισης κινδύνων. Πρόσθετα, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο σχεδιασμός των εργαστηρίων, όπου κρίνονται απαραίτητα εργαστήρια με αεροσφαιρική αρνητική πίεση, στα οποία ο αέρας εισέρχεται από το εξωτερικό αλλά δεν επιτρέπεται να εξέλθει χωρίς φιλτράρισμα. Τα δείγματα πρέπει να φυλάσσονται με ασφάλεια και να μεταφέρονται με τρόπο που να μην αποτελεί κίνδυνο για τη διάδοση του παθογόνου.
- Προστασία της Κοινότητας: Οι διαρροές παθογόνων από τα εργαστήρια μπορούν να οδηγήσουν σε δημόσιες επιδημίες. Αυστηρά μέτρα βιοασφάλειας εξασφαλίζουν ότι οι οργανισμοί δεν θα διαφύγουν στο εξωτερικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, οι εγκαταστάσεις πρέπει να έχουν αεροστεγείς πόρτες και συστήματα αερισμού που προλαμβάνουν τη διαρροή στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης θα πρέπει να περιλαμβάνονται ανιχνευτές που παρακολουθούν την παρουσία παθογόνων στον αέρα και στα υγρά, καθώς και συστήματα ειδοποίησης για τυχόν διαρροές.

- Διατήρηση της Έρευνας: Είναι κρίσιμο τα δείγματα και οι οργανισμοί που μελετώνται να μην εκτίθενται σε μολύνσεις, καθώς αυτό μπορεί να παρεμβαίνει στα αποτελέσματα των πειραμάτων.
- Διαβεβαίωση της Δημόσιας Εμπιστοσύνης: Τα εργαστήρια πρέπει να λειτουργούν με τρόπο που διασφαλίζει την εμπιστοσύνη της κοινότητας, επιδεικνύοντας ότι τα δείγματα και οι οργανισμοί τίθενται υπό διαχείριση με ασφάλεια.
- Νομοθετική Συμμόρφωση: Πολλές χώρες έχουν εισαγάγει νομοθεσία σχετικά με τη βιοασφάλεια στα εργαστήρια. Η συμμόρφωση με αυτούς τους κανόνες είναι υποχρεωτική για την αδειοδότηση και τη λειτουργία.
- Επιτυχής Χειρισμός Επικίνδυνων Οργανισμών: Για να διεξαγάγουν την έρευνά τους, τα εργαστήρια πρέπει να μπορούν να χειρίζονται επικίνδυνους οργανισμούς σε ένα ασφαλές περιβάλλον.

Συνεπώς, η βιοασφάλεια αποτελεί έναν ζωτικό παράγοντα για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των εργαστηριακών μονάδων. Στη βάση της βιοασφάλειας βρίσκεται η προστασία από μικροοργανισμούς που μπορεί να αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή για το περιβάλλον. Τα μέτρα βιοασφάλειας εξασφαλίζουν τη μέγιστη προστασία του εργαστηριακού προσωπικού από την έκθεση και τη μόλυνση, προλαμβάνοντας τη μετάδοση παθογόνων σε άλλους εργαζόμενους ή ακόμη και στην ευρύτερη κοινότητα.

2.4 Βασικά μέτρα βιοασφάλειας

Πολλά εργαστήρια έχουν αναπτύξει συστήματα βιοασφάλειας και προετοιμασίας, καθώς και τυποποιημένες λειτουργικές διαδικασίες (SOPs) για την αντιμετώπιση ζητημάτων αποθήκευσης δειγμάτων σε περιπτώσεις εκρήξεων επιδημιών ή εμφάνισης νέων αναδυόμενων νοσημάτων (Campbell *et al.*, 2012). Οι SOPs αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν διαδικασίες για την ασφαλή μεταφορά και αποστολή δειγμάτων σε δημόσια εργαστήρια υγείας, αναφοράς και ειδικότητας ή εγκεκριμένες τοποθεσίες αρχειοθέτησης. Επιπλέον, τα σχέδια βιοασφάλειας και οι SOPs συχνά περιλαμβάνουν διαδικασίες για την απομόνωση δειγμάτων που θεωρούνται ύποπτα ή επιβεβαιώνονται ότι περιέχουν παθογόνους υψηλού κινδύνου, και καθορίζουν εξαιρέσεις στις τυποποιημένες πολιτικές αποθήκευσης, ανάκλησης και διατήρησης, προκειμένου να διευκολύνουν την ασφάλεια. Όταν τα παραπάνω σχέδια και διαδικασίες δεν υφίστανται

ή δεν μπορούν να εφαρμοστούν με ασφάλεια, τα δείγματα των ασθενών ενδέχεται να χρειαστεί να καταστραφούν άμεσα μετά την ολοκλήρωση των δοκιμασιών. Πιθανές μολύνσεις ή διασταυρούμενες μολύνσεις μπορούν να αποτρέψουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των ερευνητικών αποτελεσμάτων, παρεμβαίνοντας στην επιστημονική πρόοδο. Εξετάζοντας τις βασικές αρχές της βιοασφάλειας, δύνανται να προσδιοριστούν τα ακόλουθα βασικά μέτρα:

- Εκπαίδευση και Κατάρτιση: Το εργαστηριακό προσωπικό πρέπει να λαμβάνει συνεχή εκπαίδευση για τις τελευταίες τεχνικές βιοασφάλειας, τους κινδύνους που σχετίζονται με τους οργανισμούς που χειρίζονται και τους τρόπους αντιμετώπισης ατυχημάτων.
- Φυσικά Μέτρα Ασφαλείας: Αυτά περιλαμβάνουν την ύπαρξη βιοασφαλείας θαλάμων, ειδικών περιοχών για την αποθήκευση οργανισμών και συστημάτων εξαιρισμού για τη διασφάλιση της καθαρότητας του αέρα.
- Ατομικά Μέσα Προστασίας: Τα Ατομικά Μέσα Προστασίας, όπως γάντια, στολές, γυαλιά ασφαλείας και μάσκες, πρέπει να χρησιμοποιούνται αναλόγως του επιπέδου κινδύνου.
- Κανόνες Υγιεινής: Η συχνή απολύμανση των επιφανειών, η σωστή απόρριψη των βιολογικών αποβλήτων και η συνεχής παρακολούθηση των εργαστηριακών εγκαταστάσεων αποτελούν βασικούς κανόνες.
- Πρωτόκολλα Επείγουσας Κατάστασης: Τα εργαστήρια πρέπει να διαθέτουν σαφείς διαδικασίες για την αντιμετώπιση ατυχημάτων, διαρροών και άλλων εκτάκτων καταστάσεων.
- Κανονισμοί και Εποπτεία: Συμμόρφωση με τις τοπικές, εθνικές και διεθνείς διατάξεις και πρότυπα βιοασφάλειας, με τακτικές επιθεωρήσεις και αξιολογήσεις για την επιβεβαίωση της συμμόρφωσης.
- Αναφορά Συμβάντων: Εγκαθίδρυση ενός συστήματος αναφοράς για οποιαδήποτε παραβίαση ή συμβάν που σχετίζεται με τη βιοασφάλεια, προκειμένου να αντληθούν διδάγματα και να βελτιώνεται συνεχώς η πρακτική. Πρόσθετα, υπάρχουν διάφορα εργαλεία αξιολόγησης της βιοασφάλειας. Ενδεικτικά, το εργαλείο αξιολόγησης BSS LAT, βασίζεται σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό φύλλο της Microsoft Excel και αποτελείται από ένα τυποποιημένο ερωτηματολόγιο. Η

επιλογή της χρήσης της πλατφόρμας Excel επιτρέπει τη διατήρηση ενός ανοικτού και μη κλειδωμένου συστήματος, το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί. Επιπροσθέτως, βασίζεται σε ένα λογισμικό που είναι ευρέως γνωστό και κατανοητό στην επιστημονική κοινότητα (Orelle *et al.*, 2022).

2.5 Ρυθμιστικό πλαίσιο και κατευθυντήριες οδηγίες

Η ανάγκη για ρύθμιση της βιοασφάλειας έχει καταστεί ιδιαίτερα σαφής, καθώς οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τους βιολογικούς παράγοντες, τις βιοτεχνολογίες και την υγεία δημόσιας ασφάλειας έχουν αυξηθεί. Το ρυθμιστικό πλαίσιο και οι κατευθυντήριες οδηγίες προσδιορίζουν τα πρότυπα και τις πρακτικές που πρέπει να τηρούνται σε εργαστηριακό περιβάλλον.

- Διεθνείς Συμφωνίες: Στη διεθνή σκηνή, η Σύμβαση για τη Βιολογική Διαφοροποίηση και το Πρωτόκολλο της Καρθαγένης σχετίζονται με την ασφαλή μεταφορά, χειρισμό και χρήση ζώντων τροποποιημένων οργανισμών.
- Εθνικές Κανονιστικές Αρχές: Σε εθνικό επίπεδο, οι υγειονομικές υπηρεσίες, τα υπουργεία περιβάλλοντος, εργασίας ή έρευνας, μπορεί να έχουν την αρμοδιότητα για τη ρύθμιση της βιοασφάλειας.
- Κατευθυντήριες Οδηγίες: Πολλοί οργανισμοί, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), έχουν δημοσιεύσει κατευθυντήριες οδηγίες για τη βιοασφάλεια σε εργαστηριακές ρυθμίσεις, προσφέροντας συστάσεις για την ασφαλή λειτουργία εργαστηρίων. Στο πλαίσιο αυτής της κρίσης, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) δημοσίευσε το Πλάνο Προετοιμασίας και Ανταπόκρισης σε Πανδημία (PPRP). Το PPRP καθόρισε τρεις στόχους για την καταπολέμηση της διάδοσης και τον περιορισμό των ζημιών που προκαλούνται από τη νόσο. Πρώτον, σε παγκόσμιο επίπεδο, περιέγραψε βήματα για διεθνή συντονισμό με σκοπό την ταχεία υποστήριξη των χωρών στον σχεδιασμό, τη χρηματοδότηση και την υλοποίηση της αντίδρασής τους. Για τον σκοπό αυτό, τα κράτη πρέπει να απαιτούν από τις αρχές: πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη της επιδημιολογίας και των κινδύνων, έγκαιρη πρόσβαση σε ουσιώδη εφόδια, φάρμακα και εξοπλισμό, πρόσβαση και κατάρτιση σε πρόσφατες τεχνικές οδηγίες και βέλτιστες πρακτικές. Στον δεύτερο στόχο του, επίσης σε διεθνές επίπεδο, το PPRP καθόρισε τα απαραίτητα βήματα για μια παγκόσμια διαφανή διαδικασία, με προτεραιότητες

την έρευνα και την καινοτομία, με στόχο να εξασφαλιστεί η δίκαιη διαθεσιμότητα θεραπευτικών, διαγνωστικών και εμβολιαστικών μέτρων. Αυτές οι δύο πρωτοβουλίες συμβαδίζουν με τον τρίτο στόχο, ο οποίος είναι η ενίσχυση της κατάστασης προετοιμασίας και των αντιδράσεων των χωρών έναντι της COVID-19 (WHO, 2020c).

- **Πρότυπα Βιοασφάλειας:** Οι σύγχρονες πρακτικές και πρότυπα βιοασφάλειας συχνά καθορίζονται από πρότυπα οργανισμούς όπως η ISO, η οποία προσφέρει πιστοποίηση για τη βιοασφάλεια.
- **Συνεχής Παρακολούθηση:** Η εφαρμογή του ρυθμιστικού πλαισίου απαιτεί τακτική εποπτεία και ελέγχους για την επιβεβαίωση της συμμόρφωσης.
- **Εκπαίδευση και Κατάρτιση:** Οι διατάξεις για την εκπαίδευση και τη συνεχή κατάρτιση του προσωπικού σε θέματα βιοασφάλειας είναι συχνά ενσωματωμένες στο ρυθμιστικό πλαίσιο.

Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκάστοτε οδηγίες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα οι οδηγίες του WHO και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Σύγκριση απαιτήσεων για εργαστήρια BSL-3 όπως ορίζονται στην Οδηγία της ΕΕ και στο Εγχειρίδιο Βιοασφάλειας του ΠΟΥ (Loibner et al., 2021)

Οδηγία της Επιτροπής (ΕΕ) 2019/1833 της 24ης Οκτωβρίου 2019	Εγχειρίδιο WHO Laboratory Biosafety (3η έκδοση, 2004)
Ο χώρος εργασίας πρέπει να διαχωρίζεται από οποιοσδήποτε άλλες δραστηριότητες στο ίδιο κτίριο (συνιστάται).	Το εργαστήριο πρέπει να είναι διαχωρισμένο από τους χώρους που είναι ανοιχτοί σε απεριόριστη κυκλοφορία εντός του κτιρίου.
Μη καθορισμένο	Οι πόρτες του προθάλαμου μπορεί να κλείνουν μόνες τους και να κλειδώνουν έτσι ώστε να είναι ανοιχτή μόνο μία πόρτα κάθε φορά. Ενδέχεται να παρέχεται πίνακας διάνοιξης για χρήση εξόδου κινδύνου.
Ο χώρος εργασίας πρέπει να σφραγίζεται για να επιτρέπεται ο υποκαπνισμός (συνιστάται)	Ναι
Μη καθορισμένο	Τα παράθυρα πρέπει να είναι κλειστά, σφραγισμένα και ανθεκτικά στο σπάσιμο.
Μη καθορισμένο	Κοντά σε κάθε πόρτα εξόδου θα πρέπει να παρέχεται σταθμός πλυσίματος χεριών με χειριστήρια hands-free.
Το μολυσμένο υλικό, συμπεριλαμβανομένου οποιουδήποτε ζώου, πρέπει να υφίσταται χειρισμό σε θάλαμο ασφαλείας ή απομόνωση (εάν η μόλυνση γίνεται με αερομεταφερόμενο τρόπο).	Οι ανοιχτοί χειρισμοί όλου του δυνητικά μολυσματικού υλικού πρέπει να διεξάγονται μέσα σε ερμάριο βιολογικής ασφάλειας ή άλλη κύρια συσκευή περιορισμού.

Η εξαγωγή αέρα στο χώρο εργασίας πρέπει να φιλτράρεται χρησιμοποιώντας HEPA ή κάτι παρόμοιο.	Όταν ο αέρας εξαγωγής από το εργαστήριο (εκτός από τα ερμάρια βιολογικής ασφάλειας) εκκενώνεται στο εξωτερικό του κτιρίου, πρέπει να διασκορπίζεται μακριά από τα κατειλημμένα κτίρια και τις εισαγωγές αέρα. Ανάλογα με τους παράγοντες που χρησιμοποιούνται, αυτός ο αέρας μπορεί να εκκενωθεί μέσω φίλτρων HEPA.
Ο χώρος εργασίας πρέπει να διατηρείται σε πίεση αέρα αρνητική στην ατμόσφαιρα (συνιστάται).	Πρέπει να υπάρχει ένα ελεγχόμενο σύστημα εξαερισμού που να διατηρεί μια κατευθυντική ροή αέρα στο χώρο του εργαστηρίου. Θα πρέπει να εγκατασταθεί μια συσκευή οπτικής παρακολούθησης με ή χωρίς συναγερμό, έτσι ώστε το προσωπικό να μπορεί ανά πάσα στιγμή να διασφαλίζει ότι διατηρείται η σωστή κατευθυντική ροή αέρα στο δωμάτιο του εργαστηρίου.
Επιφάνειες αδιαπέραστες στο νερό και εύκολες στο καθάρισμα	Ναι
Επιφάνειες ανθεκτικές σε οξέα, αλκάλια, διαλύτες και απολυμαντικά	Μη καθορισμένο
Η πρόσβαση πρέπει να περιορίζεται μόνο σε πιστοποιημένους εργαζόμενους.	Μη καθορισμένο
Αποτελεσματικός έλεγχος για τρωκτικά και έντομα	Μη καθορισμένο
Καθορισμένες διαδικασίες απολύμανσης	Μη καθορισμένο
Ασφαλής αποθήκευση βιολογικού παράγοντα	Μη καθορισμένο
Το προσωπικό πρέπει να κάνει ντους πριν φύγει από τον περιορισμένο χώρο (συνιστάται).	Μη καθορισμένο
Επικυρωμένη διαδικασία αδρανοποίησης για την ασφαλή απόρριψη σφαγίων ζώων, εντός ή εκτός εργαστηρίου	Μη καθορισμένο
Ένα εργαστήριο πρέπει να περιέχει δικό του εξοπλισμό (συνιστάται).	Μη καθορισμένο
Πρέπει να υπάρχει ένα παράθυρο παρατήρησης ή μια εναλλακτική λύση, ώστε να είναι ορατά τα άτομα (συνιστάται).	Μη καθορισμένο
Μη καθορισμένο	Μία αυτόματη συσκευή για την απολύμανση των μολυσμένων αποβλήτων θα πρέπει να είναι διαθέσιμη στο εργαστήριο περιορισμού.
Μη καθορισμένο	Στην παροχή νερού πρέπει να τοποθετούνται συσκευές προφύλαξης αντίστροφης ροής.
Μη καθορισμένο	Η ιατρική εξέταση όλου του εργαστηριακού προσωπικού που εργάζεται σε εργαστήρια περιορισμού (BSL-3) είναι υποχρεωτική.

Τα ρυθμιστικά πλαίσια και οι κατευθυντήριες οδηγίες παρέχουν μια σταθερή βάση για τη βιοασφάλεια, διασφαλίζοντας την προστασία του περιβάλλοντος, της κοινότητας και του εργαστηριακού προσωπικού από τους κινδύνους που σχετίζονται με τους βιολογικούς παράγοντες.

Κεφάλαιο 3: Προκλήσεις βιοασφάλειας στην εποχή της Covid-19

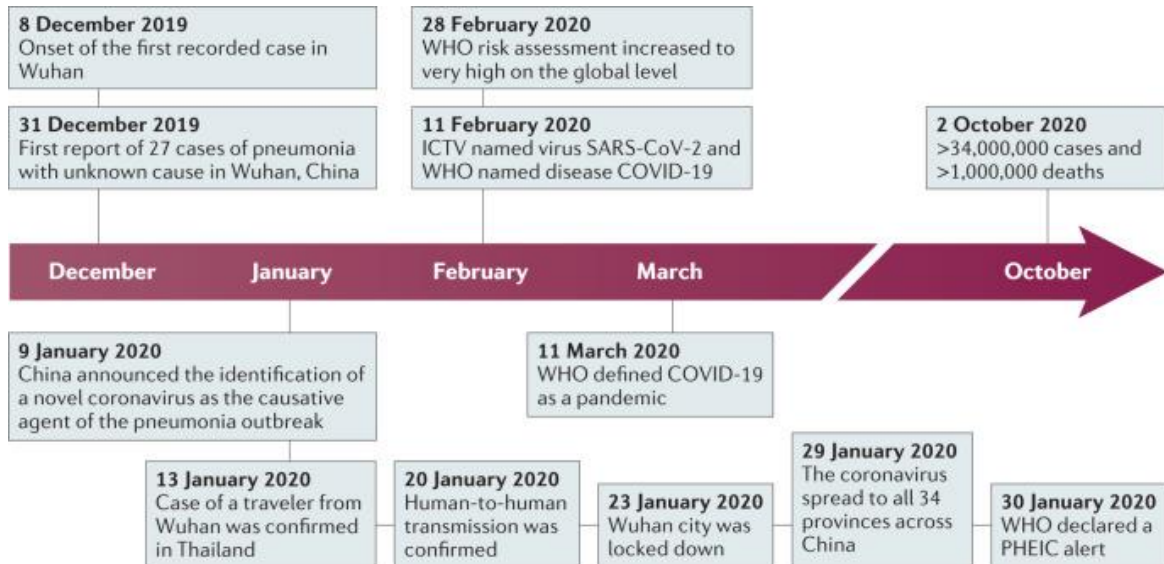
3.1 Οδοί μετάδοσης του SARS-CoV-2

Οι κορωνοϊοί αποτελούν μια ποικίλη ομάδα ιών που προσβάλλουν πολλά διαφορετικά ζώα και μπορούν να προκαλέσουν από ήπιες έως σοβαρές αναπνευστικές λοιμώξεις στους ανθρώπους. Το 2002 και το 2012, αντίστοιχα, δύο υψηλής παθογόνου δραστηριότητας κορωνοϊοί ζωνοτικής προέλευσης, ο σοβαρός οξύς αναπνευστικός κορωνοϊός (SARS-CoV) και ο κορωνοϊός του αναπνευστικού συνδρόμου της Μέσης Ανατολής (MERS-CoV), εμφανίστηκαν προσβάλλοντας τους ανθρώπους και προκάλεσαν θανατηφόρα αναπνευστική ασθένεια, καθιστώντας τους εμφανιζόμενους κορωνοϊούς μια νέα δημόσια υγειονομική ανησυχία για τον εικοστό πρώτο αιώνα. Στα τέλη του 2019, ένας νέος κορωνοϊός εμφανίστηκε στην πόλη του Wuhan, Κίνα, και προκάλεσε μια επιδημία ασυνήθιστης ιογενούς πνευμονίας. Λόγω της υψηλής μεταδοτικότητάς του, αυτή η νέα νόσος κορωνοϊού εξαπλώθηκε γρήγορα σε όλο τον κόσμο. Έχει υπερβεί κατά πολύ το SARS και το MERS τόσο σε όρους αριθμούς μολυσμένων ανθρώπων όσο και σε όρους χωρικής εμβέλειας των επιδημικών περιοχών. Η συνεχιζόμενη επιδημία της COVID-19 έχει αποτελέσει μια εξαιρετική απειλή για την παγκόσμια δημόσια υγεία (Cui, Li and Shi, 2019; Deng and Peng, 2020; Han *et al.*, 2020; Hui *et al.*, 2020; Wu, Leung and Leung, 2020).

Αρχικά, ο νεοανακαλυφθέν κορωνοϊός ονομάστηκε 2019-nCoV, αλλά αργότερα μετονομάστηκε σε οξύ σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας κορωνοϊού 2 (SARS-CoV-2) λόγω των ομοιοτήτων του με τον κορωνοϊό του σοβαρού οξέος συνδρόμου αναπνευστικής δυσχέρειας (SARS-CoV) (Khosrawipour *et al.*, 2020). Αυτή είναι η τρίτη επιδημία κορωνοϊού σε δύο δεκαετίες και, λόγω της παγκόσμιας εξάπλωσής της, ανακηρύχθηκε σε πανδημία, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) στις 11 Μαρτίου 2020. Η ασθένεια που προκαλείται από τον SARS-CoV-2 είναι πλέον γνωστή ως COVID-19 και προκάλεσε σημαντική αναστάτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας την υγεία, την οικονομία και την καθημερινή ζωή σε πολυάριθμες χώρες, τόσο λόγω της φύσης της, όσο και λόγω των προληπτικών μέτρων που αναγκάστηκαν πολλές κυβερνήσεις να λάβουν όπως για παράδειγμα τα μέτρα απομόνωσης (Dhama *et al.*, 2020; Gorbalenya *et al.*, 2020).

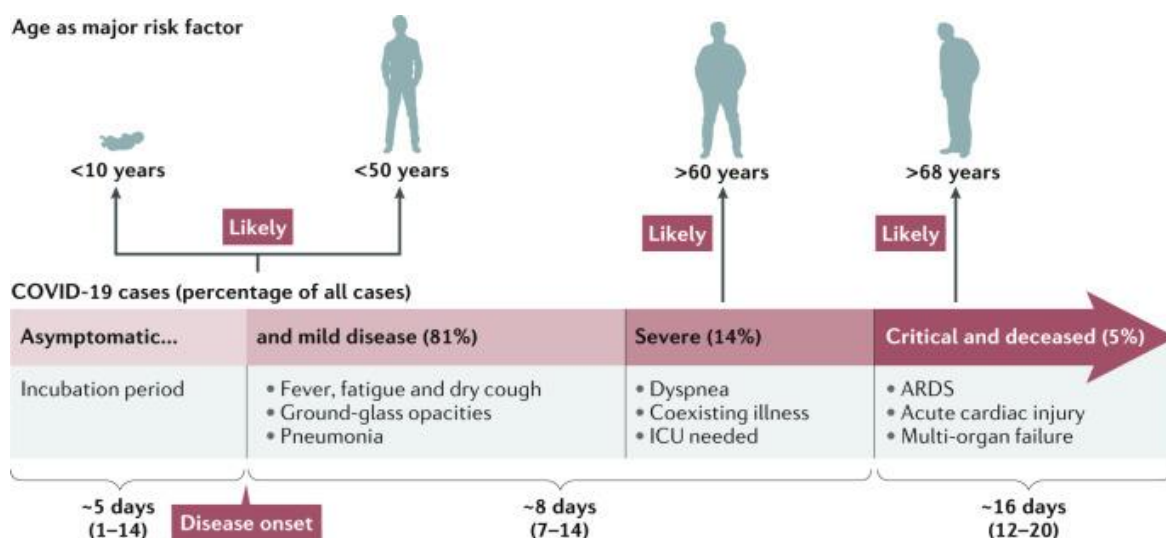
Η αναγνώριση του SARS-CoV-2 ως νέου παθογόνου ήταν κρίσιμη στην προσπάθεια κατανόησης της αιτιολογίας και της παθογένειας της ασθένειας, ενώ επιτρέπει επίσης τη διαμόρφωση στοχευμένων στρατηγικών πρόληψης και αντιμετώπισης. Η ανάλυση της γονιδιωματικής ακολουθίας και τα βιολογικά χαρακτηριστικά του ιού επιβεβαίωσαν τη

συγγένειά του με άλλους γνωστούς κορωνοϊούς, καθιστώντας έτσι επιτακτική την ανάγκη για άμεση δημόσια υγειονομική απόκριση και έρευνα για την ανάπτυξη θεραπειών και εμβολίων (C. Huang *et al.*, 2020).



Εικόνα 4. Χρονοδιάγραμμα των βασικών γεγονότων της COVID-19 (Hu *et al.*, 2021)

Η παθογένεια της λοίμωξης από SARS-CoV-2 στους ανθρώπους εκδηλώνεται με ένα φάσμα συμπτωμάτων, από ήπια μέχρι σοβαρή αναπνευστική ανεπάρκεια. Με τη σύνδεσή του στα επιθηλιακά κύτταρα του αναπνευστικού συστήματος, το SARS-CoV-2 ξεκινά την αναπαραγωγή του και μετακινείται προς τα κάτω στους αεραγωγούς, εισέρχεται στα επιθηλιακά κύτταρα στους πνεύμονες. Η ταχεία αναπαραγωγή του SARS-CoV-2 στους πνεύμονες μπορεί να πυροδοτήσει μια έντονη ανοσολογική αντίδραση. Το σύνδρομο της κυτοκινικής απόκρισης προκαλεί οξύ σύνδρομο δύσπνοιας (ARDS) και αναπνευστική ανεπάρκεια, η οποία θεωρείται η κύρια αιτία θανάτου στους ασθενείς με COVID-19. Οι ασθενείς μεγαλύτερης ηλικίας (>60 ετών) και με σοβαρές προϋπάρχουσες παθήσεις έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο να αναπτύξουν οξύ σύνδρομο δύσπνοιας και εν τέλει θνησιμότητα. Έχει αναφερθεί επίσης πολυοργανική ανεπάρκεια σε ορισμένες περιπτώσεις COVID-19 (C. Wu *et al.*, 2020; Mehta *et al.*, 2020; Xiaohong *et al.*, 2020).



Εικόνα 5. Κλινικά χαρακτηριστικά της COVID-19 (Hu *et al.*, 2021)

Ο SARS-CoV-2, ο ιός που προκαλεί την COVID-19, έχει αποδειχθεί ότι μεταδίδεται κυρίως μέσω των εξής οδών (Chen and Chi, 2020; Soares *et al.*, 2021; Santome-Pariona *et al.*, 2023):

- Σταγονίδια Αερολυμάτων: Η πρωταρχική οδός μετάδοσης του SARS-CoV-2 είναι μέσω των μεγάλων σταγονιδίων αερολυμάτων που παράγονται όταν ένα μολυσμένο άτομο βήχει, φτερνίζεται ή μιλά. Τα σταγονίδια αυτά μπορούν να εισπνευστούν από άλλους ανθρώπους που βρίσκονται κοντά στο μολυσμένο άτομο. Η μολυσματικότητα του SARS-CoV-2 εξακολουθεί να ανιχνεύεται έως και 17 ημέρες μετά τον θάνατο, ιδιαίτερα στον πνεύμονα και την τραχεία.
- Σταγονίδια Αέρος: Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ιός μπορεί να μεταδίδεται και μέσω μικρότερων σταγονιδίων αερολυμάτων που μπορούν να παραμένουν στον αέρα για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και να μεταφερθούν σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ιδίως σε κλειστούς χώρους με μη επαρκή αερισμό.
- Επαφή με Επιφάνειες: Ο ιός μπορεί να επιβιώσει για διαφορετικά χρονικά διαστήματα σε διάφορες επιφάνειες. Άτομα μπορούν να μολυνθούν καθώς έρχονται σε επαφή με αυτές τις επιφάνειες και στη συνέχεια αγγίζοντας το στόμα, τη μύτη ή τα μάτια τους.
- Οφθαλμική Μετάδοση: Ενώ αυτή η οδός μετάδοσης είναι λιγότερο κοινή, υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ιός μπορεί να μεταδοθεί μέσω των οφθαλμών.

- Κοπρανοϊδής Μετάδοση: Υπάρχουν ενδείξεις για την παρουσία του ιού στα κόπρανα μολυσμένων ατόμων, αλλά η σημασία αυτής της οδού μετάδοσης δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή.
- Κάθετη Μετάδοση: Υπάρχει έρευνα που εξετάζει τη δυνατότητα κάθετης μετάδοσης από τη μητέρα στο έμβρυο ή το νεογνό, αλλά οι πληροφορίες είναι ακόμη περιορισμένες, καθώς και οι έρευνες συγκεχυμένες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι συνεχείς ερευνητικές προσπάθειες μπορεί να φέρουν στο φως περισσότερες πληροφορίες για τις οδούς μετάδοσης του SARS-CoV-2 και τη σχετική τους σημασία.

3.2 Κίνδυνοι για το προσωπικό του εργαστηρίου

Ένα κρίσιμο στοιχείο της πανδημίας COVID-19 είναι ο υψηλός κίνδυνος στον οποίο εκτίθενται οι επαγγελματίες υγείας που εργάζονται σε εργαστήρια αντιμετώπισης της COVID-19 (Waris *et al.*, 2020). Αυτή η διαπίστωση επιβεβαιώθηκε από μελέτες που αναφέρθηκαν τόσο από την Κίνα όσο και από την Ιταλία, όπου το 3.8% των μολυσμένων ατόμων στην Κίνα ανήκαν στον κλάδο των επαγγελματιών υγείας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε μέχρι και 63% (Wu and McGoogan, 2020). Στην Ιταλία, το συνολικό ποσοστό κρουσμάτων COVID-19 ανέρχεται σε ένα εκπληκτικά υψηλό 10,7% μεταξύ των επαγγελματιών υγείας (Onder, Rezza and Brusaferro, 2020). Αυτά τα στατιστικά στοιχεία υπογραμμίζουν την ανάγκη για αυστηρά μέτρα προστασίας και βιοασφάλειας στα εργαστήρια και τις υγειονομικές εγκαταστάσεις που χειρίζονται δείγματα και κρούσματα COVID-19. Είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται συστηματικά πρωτόκολλα προστασίας, όπως η χρήση ατομικών μέσων προστασίας (PPE), η τήρηση αποστάσεων και η στενή παρακολούθηση της υγείας των εργαζομένων, για να περιοριστεί η διάδοση του ιού μεταξύ των επαγγελματιών υγείας και να διατηρηθεί η λειτουργική ικανότητα των υγειονομικών συστημάτων κατά τη διάρκεια αυτής της πρωτοφανούς πανδημίας. Το προσωπικό του εργαστηρίου εκτίθεται σε ποικίλους κινδύνους, ειδικά όταν διαχειρίζεται παθογόνους οργανισμούς, όπως ο SARS-CoV-2. Οι κίνδυνοι αυτοί περιλαμβάνουν (Zhou *et al.*, 2022):

- Μεταδοτικός Κίνδυνος: Αυτός είναι ο πιο άμεσος κίνδυνος, καθώς το προσωπικό του εργαστηρίου μπορεί να εκτεθεί σε μολυσματικούς παράγοντες. Ο έλεγχος και η πρόληψη αυτής της μετάδοσης είναι κεντρικής σημασίας.

- Χημικός Κίνδυνος: Τα εργαστήρια χρησιμοποιούν ποικιλία χημικών ουσιών, οι οποίες μπορεί να είναι τοξικές, ερεθιστικές ή ακόμη και καρκινογόνες.
- Φυσικοί Κίνδυνοι: Αυτοί περιλαμβάνουν τραυματισμούς από καυτά αντικείμενα, εκδορές από γυάλινο υλικό, έκθεση σε υπεριώδη ή ιονίζουσα ακτινοβολία και άλλους συναφείς κινδύνους.
- Εργονομικοί Κίνδυνοι: Περιλαμβάνουν τα προβλήματα που προκύπτουν από την επαναλαμβανόμενη ή ακατάλληλη κίνηση, την κακή στάση ή τις ακατάλληλες συνθήκες εργασίας.
- Κίνδυνος Έκθεσης σε Βιολογικά Αερολύματα: Το προσωπικό που εργάζεται με παθογόνους μπορεί να εκτεθεί σε βιολογικά αερολύματα, τα οποία μπορεί να παραμένουν στον αέρα και να εισπνευστούν.
- Κίνδυνος Ακατάλληλης Διάθεσης: Τα απόβλητα και τα υλικά που έχουν μολυνθεί με παθογόνους πρέπει να απορρίπτονται με ασφάλεια και σύμφωνα με τους κανονισμούς για να αποφεύγεται η εξάπλωση της νόσου.
- Ψυχολογικοί Κίνδυνοι: Η ψυχολογική πίεση που προκύπτει από τον φόβο της μόλυνσης ή την ευθύνη για τη διαχείριση επικίνδυνων παραγόντων μπορεί να επηρεάσει το προσωπικό του εργαστηρίου.

Μέσω μιας προσομοίωσης διακριτών συμβάντων, ο Lim και οι συνεργάτες του μοντελοποίησαν το αποτέλεσμα διαφορετικών συνδυασμών διευθετήσεων προσωπικού στη μετάδοση της COVID-19 στον χώρο εργασίας, χρησιμοποιώντας έναν εξομοιωμένο δείκτη του προσωπικού που είχε προσβληθεί από λοίμωξη από την κοινότητα για 3 εβδομάδες. Στο μοντέλο λήφθηκαν υπόψη ο αριθμός των βαρδιών ανά ημέρα, ο αριθμός του προσωπικού ανά βάρδια, ο συνολικός αριθμός του προσωπικού που είναι διαθέσιμος για εργασία στο εργαστήριο, η συχνότητα αλλαγής των βαρδιών, οι διευθετήσεις διαίρεσης ομάδων και οι σταθερές εργάσιμες-αργίες ημέρες. Ο Lim και οι συνεργάτες του παρατήρησαν ότι υψηλότερο ποσοστό μετάδοσης του SARS-CoV-2 συνδέθηκε με μικρότερο απόθεμα προσωπικού, μεγαλύτερο αριθμό βαρδιών ανά ημέρα, μεγαλύτερο αριθμό προσωπικού ανά βάρδια και μεγαλύτερο αριθμό διαδοχικών εργάσιμων ημερών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση προσωπικού προστατευτικού εξοπλισμού και η φυσική απόσταση μείωσαν σημαντικά το ποσοστό μετάδοσης. Οι Lim και οι συνεργάτες του πρότειναν ότι τα εργαστήρια πρέπει να εξετάσουν τη διευθέτηση του προσωπικού σε μικρότερες ομάδες και τη μείωση του αριθμού των διαδοχικών εργάσιμων ημερών (Lim

et al., 2020). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό τα εργαστήρια να έχουν αποτελεσματικά προγράμματα κατάρτισης, πρωτόκολλα ασφαλείας και εξοπλισμό προστασίας για να μειώνουν αυτούς τους κινδύνους.

3.3 Προκλήσεις στις διαγνωστικές δοκιμές

Οι διαγνωστικές δοκιμές, ειδικά όταν αφορούν παθογόνους όπως ο SARS-CoV-2, αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις. Οι παρακάτω είναι μερικές από τις σημαντικότερες (Orelle *et al.*, 2022; Ulsenheimer *et al.*, 2022):

- **Ακρίβεια και Ευαισθησία:** Είναι ζωτικής σημασίας να διαπιστώνεται με ακρίβεια η παρουσία του παθογόνου, ελαχιστοποιώντας τα ψευδώς θετικά ή τα ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα.
- **Ταχύτητα Απόκρισης:** Σε ένα περιβάλλον πανδημίας, η γρήγορη και έγκυρη διάγνωση είναι κρίσιμη για τη θεραπεία και τον έλεγχο της εξάπλωσης της νόσου.
- **Κόστος:** Οι δοκιμές πρέπει να είναι οικονομικά προσιτές, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένους πόρους.
- **Πρόσβαση και Διανομή:** Η διαθεσιμότητα και η διανομή των δοκιμαστικών συνόλων σε όλες τις περιοχές αποτελεί ένα τεράστιο παράγοντα προκλήσεων.
- **Συλλογή Δειγμάτων:** Ο τρόπος συλλογής, αποθήκευσης και μεταφοράς των δειγμάτων μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.
- **Εκπαίδευση και Κατάρτιση:** Το προσωπικό που διενεργεί τις δοκιμές πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένο, τόσο στην τεχνική όσο και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- **Ποικιλότητα Παθογόνων:** Οι μεταλλάξεις και οι νέες παραλλαγές του ιού μπορεί να επηρεάσουν την ευαισθησία των δοκιμαστικών συνόλων.
- **Επαλήθευση και Πιστοποίηση:** Η συνεχής επαλήθευση των δοκιμαστικών συνόλων και η προσαρμογή τους στις νέες παραλλαγές είναι απαραίτητη.
- **Επιβεβαίωση με Άλλες Μεθόδους:** Οι διαγνωστικές δοκιμές πρέπει να είναι συμβατές με άλλες μεθόδους διάγνωσης και ελέγχου.
- **Δημόσια Εμπιστοσύνη:** Είναι σημαντικό το κοινό να έχει εμπιστοσύνη στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία των δοκιμαστικών συνόλων.

Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν συνεχή έρευνα, ανάπτυξη και προσαρμογή των τεχνολογικών και επιστημονικών προσεγγίσεων στον τομέα των διαγνωστικών δοκιμαστικών συνόλων.

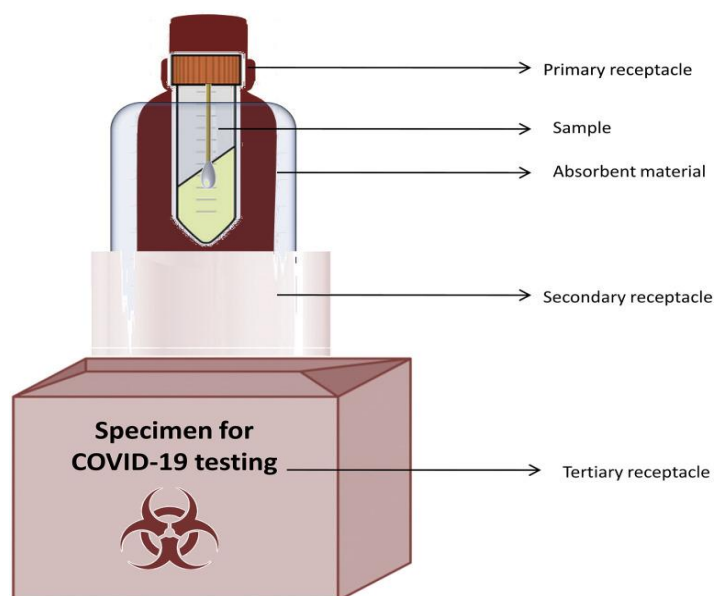
Η αντίστροφη μεταγραφή-πολυμεράση αλυσίδα αντίδραση (rRT-PCR) έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα παγκοσμίως για την επιβεβαίωση περιστατικών COVID-19 (Chan *et al.*, 2004). Το Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC) συνιστά τη χρήση δειγμάτων από τον ανώτερο αναπνευστικό σωλήνα, όπως οροφαρυγγικά ή ρινοφαρυγγικά δείγματα, για την επιβεβαίωση της παρουσίας SARS-CoV-2 μέσω rRT-PCR (Zou *et al.*, 2020; Bahl *et al.*, 2022). Ωστόσο, η λήψη οροφαρυγγικών ή ρινοφαρυγγικών δειγμάτων απαιτεί στενή επαφή με ύποπτους ασθενείς. Το SARS-CoV-2 μεταδίδεται μέσω αναπνευστικών σταγονιδίων, και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις κατά τη συλλογή δειγμάτων. Πρέπει να χρησιμοποιούνται γυαλιά προστασίας, γάντια, ρόμπες με μακριά μανίκια, αναπνευστήρες N95, και προσωπίδες (Jenco, 2020). Οι εργαζόμενοι στον τομέα της υγείας που συλλέγουν δείγματα COVID-19 μπορεί να κινδυνεύουν με μόλυνση εάν ο ΑΠΕ, ιδιαίτερα οι μάσκες ή οι αναπνευστήρες, δεν είναι διαθέσιμοι ή δεν χρησιμοποιούνται σωστά (Wang *et al.*, 2004). Άλλες επιλογές για τη συλλογή δειγμάτων λόγω έλλειψης PPE μπορεί να είναι η αυτο-συλλογή δειγμάτων σιέλου. Τα δείγματα σιέλου έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό αρκετών αναπνευστικών ιών, συμπεριλαμβανομένου του SARS-CoV (Goff *et al.*, 2015).

3.4 Χειρισμός κλινικών δειγμάτων

Ο χειρισμός κλινικών δειγμάτων, ειδικά όταν σχετίζονται με παθογόνους όπως ο SARS-CoV-2, είναι μια διαδικασία που πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες οδηγίες και πρότυπα για την ασφάλεια των εργαζομένων και την ακρίβεια των διαγνωστικών δοκιμαστικών. Ακολουθούν βασικές οδηγίες για τον χειρισμό των κλινικών δειγμάτων:

- i. Προετοιμασία: Πριν τη συλλογή του δείγματος, πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο δοχείο συλλογής, το οποίο πρέπει να είναι αποστειρωμένο και να υπάρχει η σωστή σημείωση σε αυτό.
- ii. Συλλογή Δείγματος: Το δείγμα πρέπει να συλλέγεται από εκπαιδευμένο προσωπικό, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα προστατευτικά εξαρτήματα (π.χ. γάντια, μάσκες, προστατευτικά γυαλιά).

iii. Μεταφορά: Τα δείγματα πρέπει να τοποθετούνται σε σφραγισμένες σακούλες και να μεταφέρονται σε ειδικά δοχεία, λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα και τις απαιτήσεις αποθήκευσης του δείγματος. Τα συλλεχθέντα δείγματα πρέπει να μεταφέρονται σε ειδικό μέσο μεταφοράς ιών προς τα εργαστήρια ελέγχου, υπό ψυκτικές συνθήκες ή σε θερμοκρασία δωματίου, σύμφωνα με τις συστάσεις (Rodino *et al.*, 2020). Εάν το δείγμα μεταφέρεται σε μικρή απόσταση, πρέπει να σφραγίζεται μέσα σε μια σακούλα zip-lock βιοκινδύνου ή δοχείο εντός ενός αδιάβροχου κρουικιβωτίου. Η εξωτερική στρώση του κιβωτίου πρέπει να απολυμαίνεται, η επισήμανση των δειγμάτων πρέπει να είναι σαφής, και ένα σύμβολο βιοκινδύνου πρέπει να είναι παρόν στο κουτί. Όλα τα δείγματα πρέπει να επισημαίνονται σωστά, ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στην επικοινωνία των αποτελεσμάτων. Εάν τα δείγματα μεταφέρονται σε άλλη πόλη ή χώρα για περαιτέρω επεξεργασία, πρέπει να χρησιμοποιείται τριπλή συσκευασία (CDC, 2020). Η τριπλή συσκευασία αποτελείται από ένα πρωτεύον αδιάβροχο δοχείο που περιέχει το δείγμα, το οποίο είναι τυλιγμένο με υλικό που μπορεί να απορροφήσει τα υγρά σε περίπτωση ζημιάς στο δοχείο. Το πρωτεύον δοχείο πρέπει να τοποθετείται εντός ενός ανθεκτικού, αδιάβροχου δευτερεύοντος δοχείου. Περισσότερα από ένα πρωτεύοντα δοχεία μπορούν να τοποθετηθούν εντός του δευτερεύοντος δοχείου με κατάλληλο απορροφητικό υλικό ενδιάμεσα. Η τρίτη στρώση πρέπει να είναι ένα σκληρό εξωτερικό υλικό συσκευασίας που μπορεί να προστατεύσει τα δείγματα. Η εξωτερική στρώση πρέπει να έχει μια ετικέτα που να αναγράφει σαφώς «Δείγμα για τεστ COVID-19» και να περιλαμβάνει λεπτομέρειες της εταιρείας μεταφορών και του παραλήπτη. Οι άνθρωποι που μεταφέρουν τα δείγματα πρέπει να είναι ενήμεροι για την επικίνδυνη φύση του δείγματος και πρέπει να έχουν εκπαιδευτεί στο χειρισμό παθογόνων ομάδας κινδύνου. Επιπλέον, πρέπει να είναι ενήμεροι για τις διαδικασίες έκτακτης απολύμανσης σε περίπτωση που συμβεί κάποιο ατύχημα. Κάθε περιστατικό ατυχήματος πρέπει να αναφέρεται στις σχετικές αρχές. Το εργαστήριο που λαμβάνει το δείγμα πρέπει να ενημερώνεται εκ των προτέρων σχετικά με τη μεταφορά του δείγματος και τον αριθμό των δειγμάτων που μεταφέρονται (WHO, 2011, 2021).



Εικόνα 6. Συσκευασία τριών στρωμάτων για αποστολή μολυσματικών δειγμάτων (Karthik *et al.*, 2020)

- iv. Αποθήκευση: Αν δεν αναλύονται αμέσως, τα δείγματα πρέπει να αποθηκεύονται υπό τις κατάλληλες συνθήκες (π.χ. ψύξη) για να διατηρηθεί η ακεραιότητά τους.
- v. Επεξεργασία: Στο εργαστήριο, τα δείγματα πρέπει να χειρίζονται μέσα σε βιοασφαλείς εργαστηριακούς θαλάμους, και το προσωπικό πρέπει να φορά τα κατάλληλα προστατευτικά είδη. Το εργαστήριο πρέπει να διαθέτει τρεις διαφορετικούς χώρους: έναν για την εξαγωγή νουκλεϊκού οξέος από το δείγμα, έναν για την προετοιμασία του αντιδραστηρίου μίγματος και έναν για την τελική διαχείριση. Τα δείγματα πρέπει να ρέουν σε μία κατεύθυνση για να αποφευχθεί η μόλυνση και η ψευδώς θετική ενίσχυση. Αντίστοιχα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ξεχωριστές πιπέτες για την προετοιμασία των δειγμάτων, την προετοιμασία του αντιδραστηρίου μίγματος και τις λοιπές διαδικασίες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άκρα πιπέτας με φίλτρο για να αποτραπεί η μόλυνση των δειγμάτων. Μια ξεχωριστή ομάδα ατόμων μπορεί να εργαστεί στις διαδικασίες εξαγωγής και ενίσχυσης. Η εξωτερική επιφάνεια της συσκευασίας πρέπει να απολυμαίνεται με 70% οινόπνευμα ή 0.1% υποχλωριώδες νάτριο πριν από το άνοιγμα της συσκευασίας. Τα δείγματα που προορίζονται για δοκιμή ενίσχυσης νουκλεϊκού οξέος θα πρέπει να ανοίγονται μόνο σε βιοασφαλείς εργαστηριακές θάλαμους κλάσης II A1 ή A2 ή υψηλότερου επιπέδου, όπως οι θάλαμοι κλάσης III. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα, τα δείγματα μπορούν να χειριστούν σε

εγκαταστάσεις περιορισμού βιοασφάλειας επιπέδου 3 ή 4. Τα απαιτούμενα επίπεδα βιοασφάλειας για διάφορες εργαστηριακές δραστηριότητες κατά την επεξεργασία δειγμάτων SARS-CoV-2, όπως συνιστάται από το CDC, παρουσιάζονται στον Πίνακα (Chin *et al.*, 2020; Chu *et al.*, 2020; Gupta, 2020; Hong *et al.*, 2020).

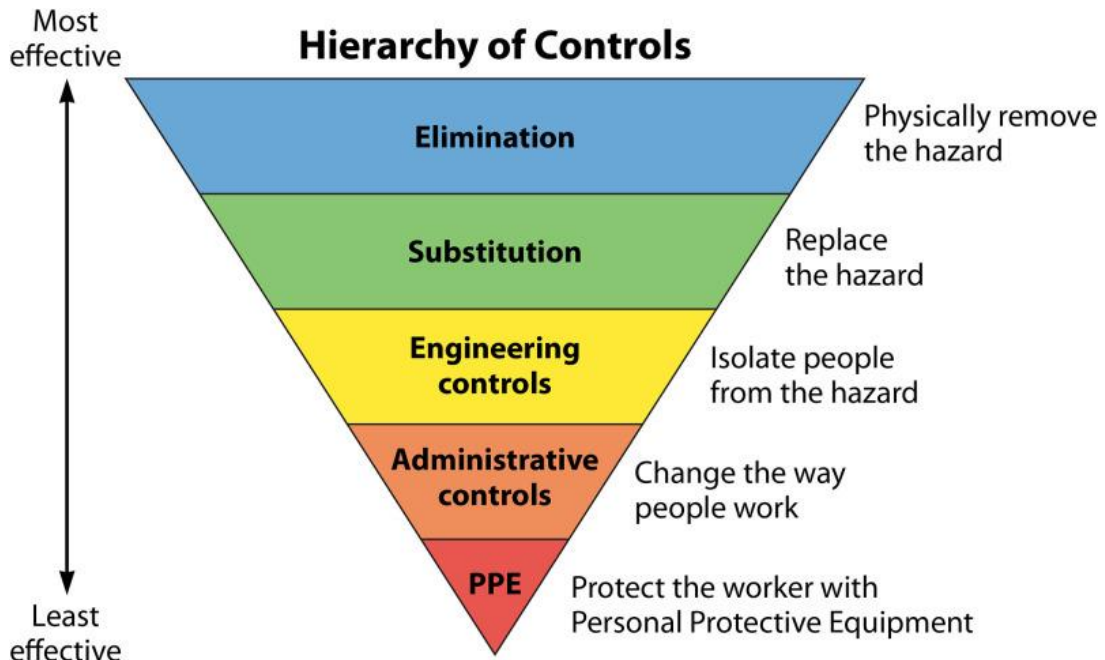
Πίνακας 2. Απαιτήσεις επιπέδου βιοασφάλειας για την επεξεργασία δειγμάτων ύποπτων για SARS-CoV-2 (Karthik *et al.*, 2020)

	Εργαστηριακές δραστηριότητες	Απαιτούμενη εργαστηριακή εγκατάσταση
1	Προετοιμασία μέσων Ιστοπαθολογία δειγμάτων με φορμαλίνη Ηλεκτρονική μικροσκοπία σταθερών δειγμάτων Χρώση και εξέταση σταθερού επιχρίσματος για βακτηριολογία	Εγκατάσταση εργαστηρίου βιοασφάλειας επιπέδου 2
2	Δείγμα αδρανοποίησης Εκχύλιση νουκλεϊκού οξέος Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης Προετοιμασία επιχρίσματος για βακτηριολογικές και μυκητολογικές εργασίες Ορολογικές εξετάσεις	Εγκατάσταση εργαστηρίου βιοασφάλειας επιπέδου 2 με πρακτικές εργαστηρίου βιοασφάλειας επιπέδου 3
3	Απομόνωση ιών και διαχείριση ικής καλλιέργειας Πειράματα σε ζώα	Εγκατάσταση εργαστηρίου βιοασφάλειας επιπέδου 3

- vi. Απόρριψη: Τα χρησιμοποιημένα δείγματα, τα υλικά και τα απορρίμματα πρέπει να απορρίπτονται σύμφωνα με τους κανονισμούς για τα βιολογικά απόβλητα, περιλαμβάνοντας συχνά αποστείρωση και ασφαλή απόρριψη.
- vii. Τυχόν Διαρροές ή Εκτεθειμένα Δείγματα: Σε περίπτωση διαρροής ή επαφής με το δείγμα, πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένες διαδικασίες για την απολύμανση και την αντιμετώπιση των εκτεθειμένων προσώπων.

Για τη μεγιστοποίηση της ασφάλειας και τη μείωση του κινδύνου εκτεθειμένης έκθεσης, μπορούν να εφαρμοστούν υποκατάστατα ελεγκτικά μέτρα, προτιμώντας τη χρήση κλειστών συστημάτων δοκιμών στο εργαστήριο. Όταν αυτό είναι εφικτό, μπορούν να πραγματοποιηθούν δοκιμές δίπλα στον ασθενή στο δωμάτιό του, χρησιμοποιώντας εργαλεία δοκιμών επί τόπου (POC). Η διεξαγωγή των δοκιμών εντός του δωματίου του ασθενούς, αντί για το κεντρικό εργαστήριο, αποτελεί μια επιθυμητή πρακτική που μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο για τους επαγγελματίες των εργαστηρίων. Αυτό οφείλεται στο ότι περιορίζει την έκθεση, την επαφή και τη μεταφορά μολυσματικών δειγμάτων εντός του

νοσοκομείου, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα. Η ασφαλής διαχείριση κλινικών δειγμάτων απαιτεί συνεχή επιμόρφωση και ενημέρωση του εργαστηριακού προσωπικού, καθώς και την τήρηση των τρεχόντων οδηγιών και προτύπων.



Εικόνα 7. Η ιεραρχία των ελέγχων όπως περιγράφεται από το CDC (Cornish et al., 2021)

3.5 Ζητήματα βιοασφάλειας σε ερευνητικές δραστηριότητες

Οι ερευνητικές δραστηριότητες, ειδικά όταν αφορούν στη διαχείριση και μελέτη παθογόνων οργανισμών, βακτηρίων, ιών ή άλλων επικίνδυνων υλικών, παρουσιάζουν ποικίλα ζητήματα βιοασφάλειας. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται μερικά από τα κύρια ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Hackney et al., 2012; Peng, Bilal and Iqbal, 2018):

- Εκτίμηση Κινδύνου: Κάθε ερευνητικό πρόγραμμα πρέπει να συνοδεύεται από μια λεπτομερή εκτίμηση κινδύνου για τον ερευνητικό προσωπικό, τον εργαστηριακό εξοπλισμό και το περιβάλλον.
- Επιλογή Επιπέδου Βιοασφάλειας: Βάσει της εκτίμησης κινδύνου, πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο επίπεδο βιοασφάλειας για τη συγκεκριμένη ερευνητική δραστηριότητα.

- Κατάρτιση Προσωπικού: Το ερευνητικό και εργαστηριακό προσωπικό πρέπει να είναι καταρτισμένο για τους κινδύνους και τις διαδικασίες που αφορούν τη βιοασφάλεια.
- Χρήση Προστατευτικού Εξοπλισμού: Η χρήση των κατάλληλων προστατευτικών εξαρτημάτων (γάντια, στολές, μάσκες, γυαλιά) είναι κρίσιμη.
- Διαχείριση Αποβλήτων: Τα βιολογικά απόβλητα πρέπει να διαχειρίζονται με ασφάλεια, αποστειρώνονται κατάλληλα πριν απορριφθούν.
- Προφυλάξεις για Γενετικά Τροποποιημένους Οργανισμούς (GMOs): Οι ερευνητικές δραστηριότητες που αφορούν τη δημιουργία ή τη χρήση GMOs απαιτούν ειδικές προφυλάξεις.
- Προληπτικές Δράσεις: Σε περίπτωση ατυχημάτων ή αποτυχημένων διαδικασιών, πρέπει να υπάρχουν σαφείς κατευθυντήριες οδηγίες για την αντιμετώπιση και την αποφυγή επιπλέον κινδύνων.
- Ρυθμιστικό Πλαίσιο: Η εφαρμογή των τρεχόντων νόμων και κανονισμών που αφορούν τη βιοασφάλεια είναι κρίσιμη, και το ερευνητικό ινστιτούτο πρέπει να διασφαλίζει την συμμόρφωση με αυτούς.

Είναι προφανές ότι η βιοασφάλεια στις ερευνητικές δραστηριότητες δεν είναι μόνο μια υποχρέωση, αλλά και μια ανάγκη για τη διασφάλιση της υγείας και της ασφάλειας του ερευνητικού προσωπικού, της κοινότητας και του περιβάλλοντος. Η εφαρμογή συνεπών πρωτοκόλλων από το εργαστηριακό προσωπικό κατά την γενετική διαχείριση των μικροοργανισμών αποτελεί πρωταρχική προτεραιότητα, προκειμένου να προληφθεί η πιθανή διασπορά τους στο περιβάλλον. Είναι απαραίτητη η σωστή αναγνώριση των πιθανών, αλλά ακόμη μη γνωστών, κινδύνων που συνδέονται με τεχνικές γενετικής τροποποίησης. Πέρα από την ευθύνη των ερευνητών να ενημερώνουν για τους κινδύνους και τις προειδοποιήσεις, τα ιδρύματα οφείλουν να παρέχουν τα απαραίτητα τεχνικά και ανθρώπινα δυναμικά για την εγγύηση της τήρησης όλων των μέτρων βιοασφάλειας και βιοασφάλειας (Rusnak *et al.*, 2004).

Η παροχή εξειδικευμένης εκπαίδευσης για τη διαχείριση παθογόνων μικροοργανισμών είναι απολύτως απαραίτητη. Επιπλέον, πρέπει να εφαρμόζεται μια συνεπής πολιτική ανοσολογικού ελέγχου για όλο το εργαστηριακό προσωπικό. Οι μικροοργανισμοί που ανήκουν στην ομάδα κινδύνου 4, όπως ορισμένοι ιοί της οικογένειας *Arenaviridae* και οι ιοί *Hendra*, προκαλούν συχνά θανατηφόρες παθήσεις

στους μολυσμένους ανθρώπους. Εργαστήρια που χειρίζονται παθογόνους της ομάδας κινδύνου 3 και 4 εκθέτουν το προσωπικό τους σε σοβαρούς κινδύνους. Ως εκ τούτου, αυτά τα εργαστήρια οφείλουν να τηρούν τα πλέον αυστηρά πρωτόκολλα ασφαλείας (Lipsitch and Bloom, 2012).

3.6 Ανησυχίες βιοασφάλειας στην ανάπτυξη εμβολίων

Ο εμβολιασμός αποτελεί την πλέον αποτελεσματική μέθοδο για μια μακροπρόθεσμη στρατηγική πρόληψης και ελέγχου της COVID-19 στο μέλλον. Πληθώρα εμβολίων κατά του SARS-CoV-2 βρίσκονται υπό ανάπτυξη και άλλα έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Οι εκάστοτε προσεγγίσεις εκμεταλλεύονται διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή μιας ανοσολογικής απόκρισης που είναι αρκετά ισχυρή ώστε να προστατεύσει τα άτομα από την λοίμωξη. Κάθε ένα από αυτά τα εμβόλια έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς σε σχέση με την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια, την ευκολία παραγωγής και τη διανομή. Συνεπώς, η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη είναι απαραίτητες για την επιτυχία μιας παγκόσμιας προσπάθειας εμβολιασμού ενάντια στην COVID-19 (Gao *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2020). Η ανάπτυξη εμβολίων για τον SARS-CoV-2, τον ιό που προκαλεί την COVID-19, πραγματοποιήθηκε με αξιοσημείωτη ταχύτητα, οδηγώντας σε διάφορες ανησυχίες βιοασφάλειας. Ορισμένες από αυτές τις ανησυχίες περιλαμβάνουν (Qu *et al.*, 2022; Ye *et al.*, 2022):

- Διαχείριση του Ζωντανού Ιού: Η ανάπτυξη κάποιων εμβολίων απαιτεί τη χρήση ζωντανού ιού. Τα εργαστήρια που εργάζονται με τέτοιες παραλλαγές του ιού πρέπει να παρέχουν αυξημένα επίπεδα βιοασφάλειας για να αποτρέψουν τη διασπορά του ιού.
- Γενετική Τροποποίηση: Ορισμένα εμβόλια βασίζονται στη χρήση γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (GMOs). Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τη διαχείριση και την απόρριψη αυτών των GMOs.
- Διασταυρούμενες Αντιδράσεις: Ενώ τα εμβόλια αναπτύσσονται για να προστατεύουν από ένα συγκεκριμένο παθογόνο, υπάρχει η δυνατότητα διασταυρούμενων αντιδράσεων με άλλες παθολογίες.
- Αποτελεσματικότητα και Παρενέργειες: Κάθε νέο εμβόλιο μπορεί να παρουσιάζει παρενέργειες. Παρόλο που οι κλινικές δοκιμές αναζητούν τέτοιες παρενέργειες,

είναι δυνατόν να εμφανιστούν περισσότερες παρενέργειες όταν τα εμβόλια χορηγούνται στο γενικότερο πληθυσμό.

- Παραγωγή και Διανομή: Η ασφαλής παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά των εμβολίων είναι κρίσιμης σημασίας, ειδικά αν τα εμβόλια απαιτούν πολύ συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης (π.χ., χαμηλές θερμοκρασίες).
- Βιοηθικές Ανησυχίες: Η ταχεία ανάπτυξη και διάθεση των εμβολίων οδηγεί σε βιοηθικές συζητήσεις, σχετικά με τη διαφάνεια, τη δικαιοσύνη στην πρόσβαση και τη λήψη ενημερωμένης συναίνεσης από τους δικαιούχους.

Αυτές οι ανησυχίες υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσεκτική παρακολούθηση και επιστημονική προσοχή κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, της έγκρισης και της διανομής των εμβολίων για την COVID-19.

Κεφάλαιο 4: Ενίσχυση των μέτρων βιοασφάλειας

4.1 Εκτίμηση και Διαχείριση Κινδύνων

Η εκτίμηση και διαχείριση κινδύνων είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση των μέτρων βιοασφάλειας, ιδιαίτερα σε ένα σενάριο όπως η πανδημία της COVID-19 (Back *et al.*, 2022). Η διαδικασία αυτή βοηθά στον εντοπισμό, ανάλυση και προσαρμογή των στρατηγικών μέτρων για την αποφυγή ή μείωση των κινδύνων.

i. Εκτίμηση Κινδύνου:

- Αναγνώριση Κινδύνου: Εξέταση των δυνητικών πηγών μόλυνσης, μεταξύ άλλων, το εργαστηριακό περιβάλλον, τα υλικά και τα εργαλεία.
- Ανάλυση Κινδύνου: Εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης ενός κινδύνου και των πιθανών συνεπειών.

Η αξιολόγηση βιοασφάλειας αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο στη διαχείριση των κλινικών εργαστηρίων, ειδικά στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τόσο τον εντοπισμό όσο και την αξιολόγηση των βιολογικών κινδύνων. Κατά την εφαρμογή της αξιολόγησης κινδύνου βιοασφάλειας, προτείνεται η χρήση της μεθόδου διαγράμματος για τον εντοπισμό των κινδύνων βιοασφάλειας σε κάθε δοκιμαστική δραστηριότητα. Κάθε τέτοια δραστηριότητα συνεπάγεται στοιχεία που περιλαμβάνουν προσωπικό, εξοπλισμό, απολυμαντικά, εγκαταστάσεις και περιβάλλον, δείγματα ασθενών

και λειτουργικές διαδικασίες, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον εντοπισμό των κινδύνων βιοασφάλειας (Long *et al.*, 2022).

ii. Διαχείριση Κινδύνου:

- Επιλογή Μέτρων: Βάσει της εκτίμησης κινδύνου, επιλέγονται τα κατάλληλα μέτρα βιοασφάλειας για την πρόληψη ή μείωση του κινδύνου.
- Εφαρμογή Μέτρων: Οι στρατηγικές και τα μέτρα πρέπει να εφαρμοστούν σωστά και συνεπώς σε όλες τις φάσεις των εργασιών του εργαστηρίου.

Ένα από τα κύρια στοιχεία της αξιολόγησης κινδύνου βιοασφάλειας είναι η υιοθέτηση κατάλληλων, αλλά όχι υπερβολικών, μέτρων ελέγχου για την αντιμετώπιση των κινδύνων διαφορετικών βαθμών κινδύνου. Αυτή η προσέγγιση δεν μειώνει μόνο τον κίνδυνο σε ένα αποδεκτό επίπεδο, αλλά επίσης εξοικονομεί πόρους και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της εργασίας. Για τον ίδιο παθογόνο μικροοργανισμό που δοκιμάζεται σε διαφορετικές δοκιμαστικές δραστηριότητες, οι βαθμοί κινδύνου της βιοασφάλειας που υπάρχουν σε αυτές τις δραστηριότητες διαφέρουν και, ως εκ τούτου, πρέπει να διεξάγονται σε εργαστήρια με διαφορετικά επίπεδα βιοασφάλειας (Long *et al.*, 2022).

Γι' αυτό, δεν είναι σωστό να τονίζεται μονομερώς ότι το επίπεδο βιοασφάλειας του εργαστηρίου πρέπει να είναι συνεπές με το επίπεδο κινδύνου των παθογόνων μικροοργανισμών που δοκιμάζονται στο εργαστήριο. Για παράδειγμα, οι κινέζικες υγειονομικές αρχές, στην «Οδηγία Βιοασφάλειας για τα Εργαστήρια του Κορωνοϊού (Δεύτερη Έκδοση)», ορίζουν ότι οι καλλιέργειες ιών και τα ζωικά πειράματα για τον SARS-CoV-2 πρέπει να διεξάγονται σε εργαστήρια με επίπεδο βιοασφάλειας άνω του 3, ενώ μετά την αδρανοποίηση του ιού, οι δραστηριότητες ανίχνευσης και η προστασία της βιοασφάλειας του προσωπικού απαιτούνται μόνο να είναι στο επίπεδο 2. Η χρήση προστασίας βιοασφάλειας στο επίπεδο 3, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το συγκεκριμένο πλαίσιο, θα οδηγούσε όχι μόνο σε σπατάλη περιορισμένων ιατρικών πόρων αλλά και σε μείωση της αποδοτικότητας της εργασίας (Long *et al.*, 2022).

Ειδικά στα πρώιμα στάδια της επιδημίας, υπήρξαν περιπτώσεις όπου τα δείγματα μετά τη δοκιμασία ή τα απορρίμματα που είχαν ενισχυθεί ζητήθηκαν να αποστειρωθούν σε εργαστήριο νουκλεϊκών οξέων, γεγονός που οδήγησε σε διασταυρούμενη μόλυνση και

στην εμφάνιση ψευδών θετικών αποτελεσμάτων νουκλεϊκού οξέος στο εργαστήριο. Οι κινέζικες υγειονομικές αρχές πρόσεξαν αυτά τα προβλήματα και προχώρησαν άμεσα σε προσαρμογές, εκδίδοντας τον «Οδηγό Οργάνωσης και Εφαρμογής της Δοκιμασίας Νουκλεϊκού Οξέος για τον Νέο Κορωνοϊό για Όλο το Προσωπικό (Δεύτερη Έκδοση)» (Long *et al.*, 2022). Επιπλέον, το «Εγχειρίδιο Βιοασφάλειας Εργαστηρίου (Τέταρτη Έκδοση)» που δημοσίευσε ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας κατήργησε το επίπεδο βιοασφάλειας εργαστηρίου, τονίζοντας τη σημασία της αξιολόγησης του κινδύνου βιοασφάλειας και την ανάγκη καθορισμού αποτελεσματικών αλλά όχι υπερβολικών μέτρων ελέγχου για τον κίνδυνο βιοασφάλειας, ανάλογα με την οικονομική κατάσταση κάθε χώρας (WHO, 2020a).

Ωστόσο, για την ίδια δοκιμαστική δραστηριότητα χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους δειγμάτων ή διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας δειγμάτων, οι βαθμοί κινδύνου των κινδύνων βιοασφάλειας στη δοκιμαστική δραστηριότητα είναι επίσης διαφορετικοί. Για παράδειγμα, ανάλογα με το αν οι λύσεις διατήρησης νουκλεϊκών οξέων περιέχουν ενεργοποιητές ιών, όπως τα άλατα γουανιδίνης και νουκλεϊκών οξέων, και αν ο ιός απενεργοποιείται πριν από την δοκιμή, οι αντίστοιχοι κίνδυνοι βιοασφάλειας στις δοκιμαστικές δραστηριότητες διαφέρουν. Συνεπώς, τα μέτρα προστασίας και τα μέτρα ελέγχου για τον κίνδυνο βιοασφάλειας πρέπει επίσης να καθορίζονται σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του κινδύνου. Συγκεκριμένα, αν χρησιμοποιούνται λύσεις διατήρησης νουκλεϊκών οξέων που περιέχουν άλατα γουανιδίνης ή νουκλεϊκών οξέων, ή αν ο ιός απενεργοποιείται μετά την παραλαβή του δείγματος, υπάρχει πολύ χαμηλός κίνδυνος βιοασφάλειας στις επόμενες δοκιμαστικές δραστηριότητες, και η προστασία βιοασφάλειας στο επίπεδο 2 είναι επαρκής (WHO, 2020a).

Επιπλέον, όπως ανέφεραν οι Wu *et al.*, τα ποσοστά ανίχνευσης του νουκλεϊκού οξέος SARS-CoV-2 στα δείγματα αίματος και κοπράνων ήταν 3,03% και 9,83% αντίστοιχα, τα οποία ήταν πολύ χαμηλότερα σε σύγκριση με τα δείγματα ρινοφαρυγγικού επιχρίσματος, ενώ τα δείγματα αίματος και κοπράνων έχουν πολύ χαμηλότερο κίνδυνο βιοασφάλειας σε σύγκριση με τα δείγματα ρινοφαρυγγικού επιχρίσματος. Συνεπώς, αν τα δείγματα αίματος και κοπράνων εξετάζονται για τον ιό, τα μέτρα προστασίας βιοασφάλειας στο επίπεδο 2 είναι επίσης επαρκή. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια των δοκιμαστικών δραστηριοτήτων, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των διάφορων δειγμάτων και των μεθόδων επεξεργασίας δειγμάτων, και να καθορίζονται ανάλογα με

αυτά τα μέτρα προστασίας και έλεγχος του κινδύνου βιοασφάλειας. Οι υπερβολικές απαιτήσεις για τη βιοασφάλεια μπορούν να οδηγήσουν σε σπατάλη πόρων και να μειώσουν την αποδοτικότητα των δοκιμαστικών δραστηριοτήτων, ενώ οι χαλαρές απαιτήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο κίνδυνο μόλυνσης (J. Wu *et al.*, 2020).

Στο πλαίσιο αυτό, η ανάγκη για διαρκή προσαρμογή και αναθεώρηση των κατευθυντηρίων οδηγιών και πρακτικών βιοασφάλειας είναι σαφής, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και τις νέες πληροφορίες που εμφανίζονται σχετικά με την πανδημία COVID-19. Είναι ζωτικής σημασίας η συνεχής αξιολόγηση του κινδύνου, η προσαρμογή των μέτρων βιοασφάλειας σε πραγματικό χρόνο και η εκπαίδευση και κατάρτιση του προσωπικού εργαστηρίου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η υψηλότερη δυνατή ασφάλεια και αποτελεσματικότητα στη διαχείριση και ανάλυση των δειγμάτων για την ανίχνευση του SARS-CoV-2.

iii. Παρακολούθηση και Αναθεώρηση:

- Οι διαδικασίες και τα μέτρα βιοασφάλειας πρέπει να παρακολουθούνται τακτικά για την αποτελεσματικότητά τους.
- Οποιαδήποτε αποκλίσεις, ατυχήματα ή περιστατικά πρέπει να αναφέρονται και να αναλύονται για τη βελτίωση των μέτρων.

iv. Εκπαίδευση και Ενημέρωση:

- Το εκπαιδευμένο προσωπικό είναι βασικός παράγοντας για την αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων.
- Τακτικά σεμινάρια, εργαστηριακές συναντήσεις και επαναλαμβανόμενες εκπαιδευτικές προσπάθειες μπορούν να διασφαλίσουν την ενημέρωση και επικαιροποίηση των γνώσεων του προσωπικού.

Οι συστάσεις βιοασφάλειας παρέχονται από την Ομάδα Εργασίας της IFCC, η οποία προέκυψε μετά από μια ταχεία επισκόπηση σχετικών εγγράφων διαφόρων διεθνών οργανισμών και της διαθέσιμης βιβλιογραφίας. Η λίστα αυτών των αντιπροσωπευτικών εγγράφων, με εστίαση στη διαχείριση και επεξεργασία δειγμάτων αίματος, ούρων, κοπράνων και αναπνευστικών δειγμάτων σε εργαστήρια BSL-1 και BSL-2 κατά τη διάρκεια της έξαρσης της COVID-19, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3. Αυτά τα

έγγραφα αποτελούν τη βάση για τις κατευθυντήριες οδηγίες που προτείνονται, επιτρέποντας την επιλογή βέλτιστων πρακτικών με βάση τη συγκεντρωτική γνώση από διάφορες εξειδικευμένες πηγές. Το κύριο αντικείμενο αυτών των κατευθυντήριων οδηγιών είναι η διασφάλιση της ασφάλειας του εργαστηριακού προσωπικού και της αποφυγής της διασποράς του ιού, ενώ παράλληλα διατηρείται η ακρίβεια και η αξιοπιστία των εργαστηριακών αναλύσεων. Με την αξιοποίηση των δεδομένων από διεθνείς οργανισμούς και την επιστημονική κοινότητα, αυτή η συνεισφορά υποστηρίζει μια ενοποιημένη προσέγγιση στις πρακτικές βιοασφάλειας, εξασφαλίζοντας τόσο την προστασία της δημόσιας υγείας όσο και τη συνέχιση των κρίσιμων εργαστηριακών λειτουργιών κατά τη διάρκεια της πανδημίας (Lippi *et al.*, 2020).

Πίνακας 3. Γενικές ενδείξεις ή συστάσεις βιοασφάλειας για τη νόσο του κορονοϊού 2019 (COVID-19) σε κλινικά εργαστήρια με επίπεδα βιοασφάλειας 1 (BSL-1) και 2 (BSL-2) (Lippi *et al.*, 2020)

Μέτρο προστασίας	WHO/ECDC	CDC	PHE	ABSA	FAHZU
Διατήρηση κοινωνικής απόστασης	Ναι (1 m)	N/A	N/A	N/A	N/A
Υγιεινή των χεριών	Συχνά	Συχνά	Συχνά	N/A	Συχνά
Αποφυγή επαφής με τα μάτια, τη μύτη και το στόμα	Ναι	Ναι	N/A	N/A	N/A
Χρήση μάσκας	Χειρουργική μάσκα	Μάσκα τύπου N95 (χειρουργική μάσκα όταν το N95 δεν είναι διαθέσιμο)		Χειρουργική μάσκα	Μάσκα τύπου N95 (χειρουργική μάσκα όταν το N95 δεν είναι διαθέσιμο)
Χρήση γαντιών	Ναι, μίας χρήσης	Ναι, μίας χρήσης	Ναι, μίας χρήσης	Ναι, μίας χρήσης	Ναι, μίας χρήσης
Χρήση εργαστηριακής ρόμπας	Με βάση τον κίνδυνο μόλυνσης	Με βάση τον κίνδυνο μόλυνσης	Με βάση τον κίνδυνο μόλυνσης	Εργαστηριακή ρόμπα	Με βάση τον κίνδυνο μόλυνσης
Προστασία οφθαλμών	Όταν υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης μέσω των οφθαλμών	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Χρήση προστατευτικού κεφαλής μίας χρήσης	N/A	N/A	N/A	N/A	Ναι
Χρήση αυτοματοποιημένων οργάνων και αναλυτών	N/A	Προτιμότερη	Προτιμότερη	Προτιμότερη	N/A

Φυγοκέντρηση με δοχεία ασφαλείας	Ναι	Ναι	Προτιμάται η ελαχιστοποίηση του αερολύματος	N/A	N/A
Απολύμανση επιφανειών εργασίας	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι

Σε αναφορά σε: (CDC, 2020; PHE, 2020; The First Affiliated Hospital, 2020; WHO, 2020b; ECDC, 2021)

Διαχειριζόμενοι με σωστό τρόπο τους κινδύνους, τα εργαστήρια μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, προστατεύοντας τόσο το προσωπικό όσο και την κοινότητα από πιθανές απειλές.

4.2 Χρήση Ατομικού Προστατευτικού Εξοπλισμού

Ο Ατομικός Προστατευτικός Εξοπλισμός αποτελεί ένα από τα βασικότερα μέτρα βιοασφάλειας, ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση παθογόνων όπως το SARS-CoV-2. Η σωστή επιλογή, χρήση και απόρριψη του ΑΠΕ είναι κρίσιμη για την προστασία του εργαστηριακού προσωπικού και του γενικού πληθυσμού.



Εικόνα 8. Τρεις διαφορετικοί τύποι ΑΠΕ (Loibner et al., 2021)

Ολόκληρος ο κόσμος αντιμετώπισε κατά την περίοδο έξαρσης της Covid-19 έλλειψη αποτελεσματικών υλικών για την αντιμετώπιση απειλών βιοασφάλειας (Feng et al., 2020). Κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, η έλλειψη προσωπικού εξοπλισμού προστασίας (PPE) για τη βιολογική ασφάλεια, όπως μάσκες, προστατευτικά ρούχα, γυαλιά

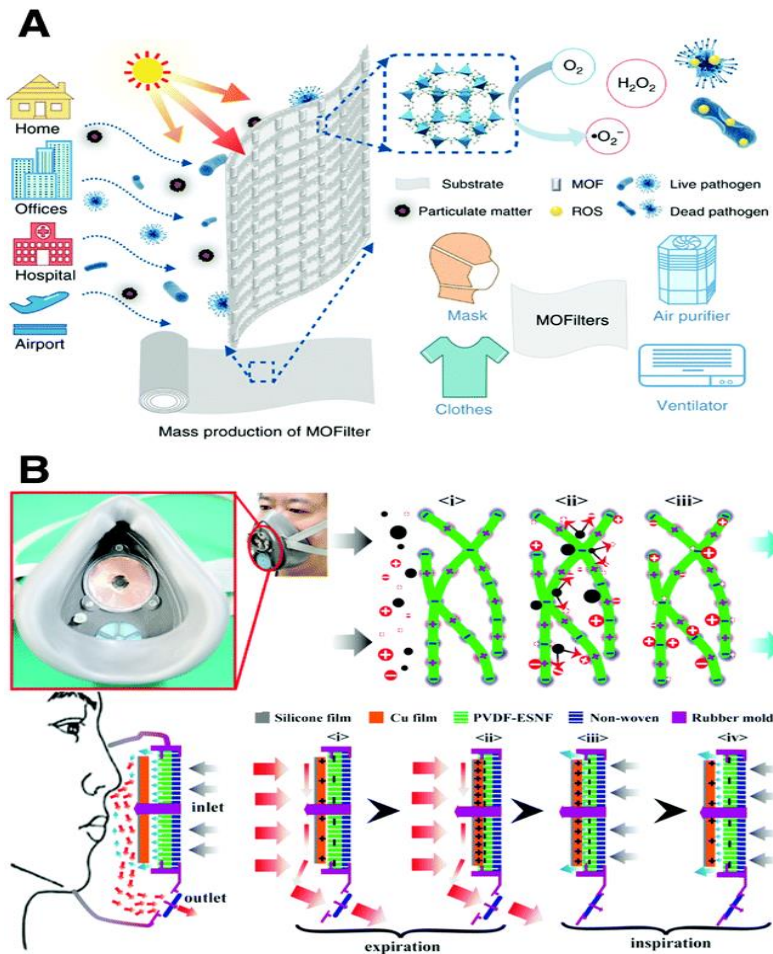
προστασίας και διαχειριστικά μέσα αρνητικής πίεσης, είχε ως αποτέλεσμα την αποτυχία προστασίας αμέτρητων επαγγελματιών υγειονομικών (Livingston, Desai and Berkwits, 2020; Mahase, 2020b). Επιπλέον, η ανεπαρκής ευαίσθητη και γρήγορη ανίχνευση ιών δυσχέρανε σημαντικά τη διάγνωση των ασθενών, οδηγώντας σε ταχεία εξάπλωση αυτής της πανδημίας (Greenberg *et al.*, 2020; Mahase, 2020a; Matthay, Aldrich and Gotts, 2020). Συνεπώς, η συνεργασία της βιοασφάλειας με τις υλικοτεχνικές επιστήμες δύναται να συμβάλει σημαντικά στην επίλυση των υφιστάμενων προκλήσεων στους τομείς της βιοασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης και απολύμανσης παθογόνων

Μάσκες: Οι μάσκες N95 ή FFP2/FFP3 παρέχουν υψηλότερο επίπεδο προστασίας από τη μόλυνση. Είναι σημαντικό να φορεθούν σωστά για να είναι αποτελεσματικές.

Γάντια: Τα γάντια μιας χρήσης πρέπει να αλλάζονται τακτικά και μετά από κάθε διαδικασία ή όταν υπάρχει ρήγμα.

Προστατευτικά γυαλιά ή προσωπίδες: Για την προστασία από σωματίδια ή υγρά που μπορεί να περιέχουν τον ιό.

Στολές: Στολές μιας χρήσης που προστατεύουν από υγρά ή μολυσμένες επιφάνειες.



Εικόνα 9. Υλικά βιοασφάλειας για ΜΑΠ με αντιμικροβιακή ικανότητα (Yu et al., 2020)

4.2.2 Σωστή χρήση του ΑΠΕ

Σε εργαστηριακές συνθήκες, οι διαδικασίες τοποθέτησης και αφαίρεσης των Ατομικών Προστατευτικών Εξοπλισμών (ΑΠΕ) αποκτούν ιδιαίτερη σημασία. Αυτοί οι εξοπλισμοί σχεδιάζονται για να προστατεύουν το προσωπικό από μολύνσεις και άλλους κινδύνους, ενώ ταυτόχρονα προστατεύουν το εργαστηριακό περιβάλλον και τα δείγματα από τυχόν μόλυνση. Η σωστή τοποθέτηση των ΑΠΕ είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική τους λειτουργία. Αν ο εξοπλισμός δεν φορεθεί σωστά, μπορεί να μην παρέχει την απαραίτητη προστασία, εκθέτοντας τον χρήστη σε κινδύνους. Η αφαίρεση των ΑΠΕ είναι εξίσου κρίσιμη. Αν δεν γίνεται με προσοχή, υπάρχει ο κίνδυνος μετάδοσης μικροοργανισμών ή άλλων ρύπων στον χρήστη, στο εργαστηριακό περιβάλλον ή ακόμα και στο ευρύτερο περιβάλλον του εργαστηρίου.

Για την ασφαλή απόρριψη των υλικών αυτών, απαιτείται η χρήση κατάλληλων κάδων που είναι σχεδιασμένοι να προλαμβάνουν τυχόν διαρροές, ατυχήματα ή

αναδιάχυση περιεχομένου. Συχνά, αυτοί οι κάδοι είναι αδιαπέραστοι και ανθεκτικοί σε διάβρωση, εξασφαλίζοντας ότι το περιεχόμενο δεν θα μπορέσει να διαφύγει. Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπάρχουν διακριτές κατηγορίες κάδων, ανάλογα με τον τύπο των υλικών που πρόκειται να απορριφθούν, όπως για παράδειγμα κάδοι για επικίνδυνα ή μολυσμένα υλικά και ξεχωριστοί κάδοι για ακίνδυνα υλικά. Τέλος, τα προσωπικά του εργαστηρίου πρέπει να είναι καλά ενημερωμένα για τις σωστές διαδικασίες απόρριψης και να τηρούν αυστηρά τις σχετικές οδηγίες, διασφαλίζοντας την ασφάλεια τους και την προστασία του εργαστηριακού περιβάλλοντος.

Η κοινωνική απόσταση μεταξύ των εργαζομένων σε εργαστήρια είναι ζωτικής σημασίας, καθώς ένας ασυμπτωματικός συνάδελφος μπορεί να μεταδώσει την λοίμωξη σε άλλους. Επιπρόσθετα, πρέπει να τηρείται αυστηρή υγιεινή των χεριών. Η κατάσταση υγείας όλων των εργαζομένων στο εργαστήριο πρέπει να παρακολουθείται τακτικά για συμπτώματα και οι ύποπτοι για θετική λοίμωξη εργαζόμενοι πρέπει να τεθούν σε καραντίνα. Ο προσωπικός προστατευτικός εξοπλισμός (PPE), όπως εργαστηριακή στολή ή ρόμπα, μάσκα προσώπου, ασπίδα προσώπου, γάντια, γυαλιά προστασίας, πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια όλων των εργαστηριακών διαδικασιών. Τα αερολύματα ή τα σταγονίδια παράγονται επίσης κατά τη διάρκεια της ομιλίας, και για το λόγο αυτό, πρέπει να χρησιμοποιείται η μάσκα ακόμη και έξω από το εργαστήριο. Υπό πειραματικές συνθήκες, έχει βρεθεί ότι ο SARS-CoV-2 παραμένει ζωντανός στα αερολύματα για 3 ώρες. Έτσι, ο εκάστοτε ΑΠΕ πρέπει να φοριέται πάντα μέσα στο εργαστήριο για την πρόληψη λοιμώξεων. Αν και συνιστώνται μάσκες N95 για όλες τις εργαστηριακές εργασίες που μπορούν να παράγουν αερολύματα, παρατηρήθηκε σημαντική έλλειψη μασκών N95 παγκοσμίως. Εάν δεν είναι διαθέσιμη μια μάσκα N95, πρέπει να χρησιμοποιείται χειρουργική μάσκα (Anfinrud *et al.*, 2020; Lipri *et al.*, 2020; van Doremalen *et al.*, 2020).

Η αξιολόγηση της προστασίας που παρέχουν διάφοροι τύποι μασκών απέναντι στον SARS-CoV-2 έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτενών ερευνών. Σε μια πρόσφατη μελέτη, οι Sande και συνεργάτες διερεύνησαν τη ικανότητα των τυπικών χειρουργικών μασκών, οι οποίες προορίζονται για την πρόληψη της μετάδοσης μικροοργανισμών μέσω σταγονιδίων μεγάλου μεγέθους, και των μασκών FFP2 (το ευρωπαϊκό ισοδύναμο των N95), όσον αφορά την αποτελεσματικότητα στην αποτροπή σταγονιδίων μεγέθους 0.2 έως 1 μm , που αντιστοιχούν στα "αερολύματα" (van der Sande, Teunis and Sabel, 2008). Σημαντικό εύρημα ήταν ότι η συνολική αποφυγή σωματιδίων που εκπέμπονται εντός της

μάσκας (δηλαδή η προστασία προς τα έξω) ήταν σχεδόν παρόμοια για τις χειρουργικές μάσκες και τις μάσκες FFP2, οι οποίες συμβατικά είναι γνωστό ότι αποκλείουν τουλάχιστον το 95% των μικρών σωματιδίων (δηλ. 0.3 μm) (Food and Drug Administration, 2021). Ωστόσο, όπως αναμενόταν, η φραγή για την προστασία εσωτερικά ήταν σημαντικά υψηλότερη για τις μάσκες FFP2 σε σύγκριση με τις χειρουργικές μάσκες.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Li και συνεργάτες συγκρίναν τις φυσικές ιδιότητες των αναπνευστήρων N95 και των χειρουργικών μασκών (Li *et al.*, 2006), καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι παρόλο που οι πρώτες παρέχουν υψηλότερη αποτελεσματικότητα φιλτραρίσματος *in-vivo* (δηλ. έως 97%), οι χειρουργικές μάσκες επίσης επέδειξαν επαρκείς αδιάβροχες και αντιβακτηριακές δραστηριότητες. Πιο πρόσφατα, οι Ma και συνάδελφοι έδειξαν ότι οι μάσκες N95 και οι ιατρικές μάσκες είναι ικανές να σταματήσουν το 99.98% και το 97.14% του ιού σε αερολύματα, αντίστοιχα (Ma *et al.*, 2020). Έτσι, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι οι χειρουργικές μάσκες είναι πολύτιμες για την πρόληψη της διάδοσης του ιού από μολυσμένα άτομα, ενώ η αποτελεσματικότητά τους στην πρόληψη της λοίμωξης από σταγονίδια για όσους φορούν τη μάσκα είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τις μάσκες N95. Ωστόσο, η ευρεία χρήση των σχετικά οικονομικών χειρουργικών μασκών θεωρείται μια πολύτιμη παρέμβαση δημόσιας υγείας που βοηθά στην αναχαίτιση της μετάδοσης του ιού στον γενικό πληθυσμό, όπως πρόσφατα έδειξαν οι Leung *et al.* και οι Feng *et al.* (Feng *et al.*, 2020; Leung *et al.*, 2020; Leung, Lam and Cheng, 2020). Πέραν τούτου, οι μάσκες πρέπει να θεωρούνται και ως ένα πολύτιμο ορατό υπενθύμιση ενός αλλιώς αόρατου αλλά ευρέως επικρατούντος ιού, υπενθυμίζοντας έτσι στους ανθρώπους τη σημασία της τήρησης μέτρων κοινωνικής αποστασιοποίησης και άλλων μέτρων ελέγχου της λοίμωξης (Klompas, Morris and Shenoy, 2020).

Σε μια κρίσιμη έρευνα, οι Kratzel και συνάδελφοι αξιολόγησαν την αντιική δράση δύο φόρμουλων αντισηπτικών χεριών που συνιστά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, βασισμένες στο αλκοόλ. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το οινόπνευμα (αιθανόλη) και το 2-προπανάλη ήταν αποτελεσματικά στην καταπολέμηση του ιού μέσα σε 30 δευτερόλεπτα σε ελάχιστη τελική συγκέντρωση τουλάχιστον 30% (Kratzel *et al.*, 2020). Αυτή η διαπίστωση υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης αντισηπτικών προϊόντων χεριών με βάση το αλκοόλ ως μέσο πρόληψης της μετάδοσης του SARS-CoV-2, ενισχύοντας ταυτόχρονα τις προσπάθειες δημόσιας υγείας για την περιορισμό της εξάπλωσης της νόσου COVID-19 μέσω επιφανειών και ανθρώπινης επαφής. Τα ευρήματα

αυτά είναι σημαντικά όχι μόνο για εργαστήρια, αλλά και για το ευρύτερο κοινό, καθώς καθοδηγούν τις πρακτικές υγιεινής που μπορούν να συμβάλουν στην προστασία από την έκθεση και τη μετάδοση του ιού.

4.2.3 Κατάρτιση και εκπαίδευση

Το προσωπικό πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένο στη σωστή χρήση, αφαίρεση και απόρριψη του ΑΠΕ. Η τακτική επιμόρφωση είναι απαραίτητη λόγω των συνεχών εξελίξεων και των νέων συστάσεων. Πρέπει να λαμβάνεται ειδική προσοχή κατά τη διαδικασία αφαίρεσης του PPE, καθώς υπάρχει υψηλός κίνδυνος μόλυνσης κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Ειδικά σε συνθήκες όπου τα εργαστήρια επεξεργάζονται δείγματα από ασθενείς με COVID-19, η προετοιμασία και η σωστή διαχείριση του ΑΠΕ είναι ουσιαστικές. Η αξιολόγηση κινδύνου πριν από την επεξεργασία των δειγμάτων επιτρέπει στο εργαστήριο να προσδιορίσει τις συγκεκριμένες απειλές, τις πιθανές επιπτώσεις και τα αναγκαία μέτρα πρόληψης. Με βάση αυτήν την αξιολόγηση, ετοιμάζεται μια τυποποιημένη λειτουργική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει βήμα προς βήμα οδηγίες για το πώς να χειριστούν τα δείγματα και πώς να χρησιμοποιήσουν και να αφαιρέσουν το ΑΠΕ (Iwen, Stiles and Pentella, 2021).

Επιπρόσθετα, λαμβάνοντας υπόψη τις συνεχείς εξελίξεις στον τομέα της βιολογικής ασφάλειας και τις νέες επιστημονικές γνώσεις, η τακτική επιμόρφωση του προσωπικού είναι περισσότερο απαραίτητη παρά προαιρετική. Μέσω της εκπαίδευσης, το προσωπικό ενημερώνεται για τις τελευταίες καλύτερες πρακτικές, νέες τεχνολογίες ΑΠΕ και νέες στρατηγικές για την αποφυγή μόλυνσης.

Εν κατακλείδι, η χρήση του Ατομικού Προστατευτικού Εξοπλισμού είναι απαραίτητη για τη βιοασφάλεια, ειδικά στην περίπτωση της COVID-19. Ο συνδυασμός της σωστής χρήσης του ΑΠΕ με άλλα μέτρα βιοασφάλειας αυξάνει σημαντικά την ασφάλεια των εργαστηρίων και των εργαζομένων τους.

4.3 Τεχνικοί Έλεγχοι και Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων

Η ενίσχυση των μέτρων βιοασφάλειας στα εργαστηριακά και ιατρικά περιβάλλοντα, όπου γίνεται αντιμετώπιση της COVID-19, περιλαμβάνει τόσο διαδικαστικές πρακτικές όσο και την τεχνική διαμόρφωση των εγκαταστάσεων. Οι τεχνικές πτυχές ελέγχου και σχεδιασμού

των εγκαταστάσεων είναι ουσιαστικές για τη μείωση της μετάδοσης του SARS-CoV-2 (Zhang *et al.*, 2022).

i. Συστήματα Εξαερισμού

- Υψηλής Απόδοσης Φίλτρα (HEPA): Είναι σχεδιασμένα για να αφαιρούν μικροσκοπικά σωματίδια, συμπεριλαμβανομένων των ιικών σωματιδίων, από τον αέρα.
- Αρνητική Πίεση: Στα δωμάτια με αρνητική πίεση ο αέρας εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον, μειώνοντας την πιθανότητα εξάπλωσης του ιού σε άλλα τμήματα του κτιρίου.

ii. Διαμόρφωση των Χώρων

- Κλειστές Εργαστηριακές Μονάδες: Ειδικά σχεδιασμένοι χώροι που περιορίζουν την εξάπλωση αερολυμάτων.
- Ειδικές Περιοχές Διαχείρισης Αποβλήτων: Χώροι όπου τα μολυσμένα απόβλητα απομονώνονται και αποφεύγεται η μετάδοση του ιού.

iii. Έλεγχος Πρόσβασης

- Αυτόματες Πόρτες: Μειώνουν την ανάγκη για επαφή με επιφάνειες.
- Σημεία Πλύσης Χεριών: Προβλεπτικά τοποθετημένα κοντά στις εισόδους και τις εξόδους.

iv. Συστήματα Καθαρισμού

- Υπεριώδης Ακτινοβολία (UV): Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό και την απολύμανση επιφανειών από τον ιό.
- Αυτοματοποιημένοι Καθαριστές Αέρα: Συστήματα που ανακυκλώνουν τον αέρα μέσω φίλτρων HEPA.

v. Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης

- Δυνατότητα γρήγορης προσαρμογής των χώρων σε περίπτωση αύξησης των κρουσμάτων ή άλλης έκτακτης ανάγκης.

Συνολικά, ο σχεδιασμός και η τεχνική διαμόρφωση των εγκαταστάσεων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προστασία του προσωπικού και του κοινού από τη μετάδοση της COVID-19. Είναι απαραίτητο να τηρούνται τα πρότυπα βιοασφάλειας και να γίνεται συνεχής αξιολόγηση των τεχνικών μέτρων.

4.4 Διαχείριση απορριμμάτων

Η διαχείριση των απορριμμάτων που σχετίζονται με την COVID-19, είτε πρόκειται για απορρίμματα από τις θεραπευτικές δραστηριότητες είτε από το διαγνωστικό εργαστήριο, αποτελεί μια σημαντική πτυχή για την ενίσχυση των μέτρων βιοασφάλειας. Τα απορρίμματα αυτά πρέπει να διαχειρίζονται ως μολυσμένα, και συνεπώς, απαιτούν ειδική προσοχή στη συλλογή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και την τελική επεξεργασία τους.

Αρχίζοντας από τη συλλογή, σημαντικό είναι το χρήση διαφανών ή κόκκινων σάκων απόρριψης, οι οποίοι έχουν επισημανθεί καταλλήλως, προκειμένου να διασφαλιστεί η απομόνωση των μολυσμένων απορριμμάτων από τα συνηθισμένα απορρίμματα. Επιπλέον, προτείνεται η διπλή συσκευασία, όπου οι σάκοι τοποθετούνται εντός ενός δεύτερου σάκου, αυξάνοντας έτσι το επίπεδο προστασίας. Σε ό,τι αφορά την αποθήκευση, τα μολυσμένα απορρίμματα πρέπει να τηρούνται μακριά από τις γενικές περιοχές απορριμμάτων, προτιμώντας καθορισμένες και ασφαλείς περιοχές για την αποφυγή κινδύνων διασποράς.

Η μεταφορά των απορριμμάτων απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό, το οποίο έχει λάβει κατάλληλη εκπαίδευση στις διαδικασίες ασφαλούς διαχείρισης. Αυτό το προσωπικό πρέπει επίσης να είναι εξοπλισμένο με κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό, όπως γάντια, μάσκες, και ειδικές στολές, προκειμένου να μειωθεί το ενδεχόμενο μόλυνσης κατά τη διάρκεια της μεταφοράς (Gwenzi, 2022).

Όσον αφορά την επεξεργασία και την καταστροφή των απορριμμάτων, η καύση αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο, χάρη στην ικανότητά της να εξουδετερώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Εναλλακτικά, η χημική διάλυση μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένες περιπτώσεις υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιώντας χημικές ουσίες που αντιδρούν και εξουδετερώνουν τους ιούς. Παρόλο που υπάρχουν πολλά δεδομένα από χώρες υψηλού εισοδήματος, οι μελέτες που εφαρμόζουν την επιδημιολογία της Covid βάσει των λυμάτων στα ύδατα (W-BE) στις χώρες με χαμηλό εισόδημα (LICs) είναι σπάνιες.

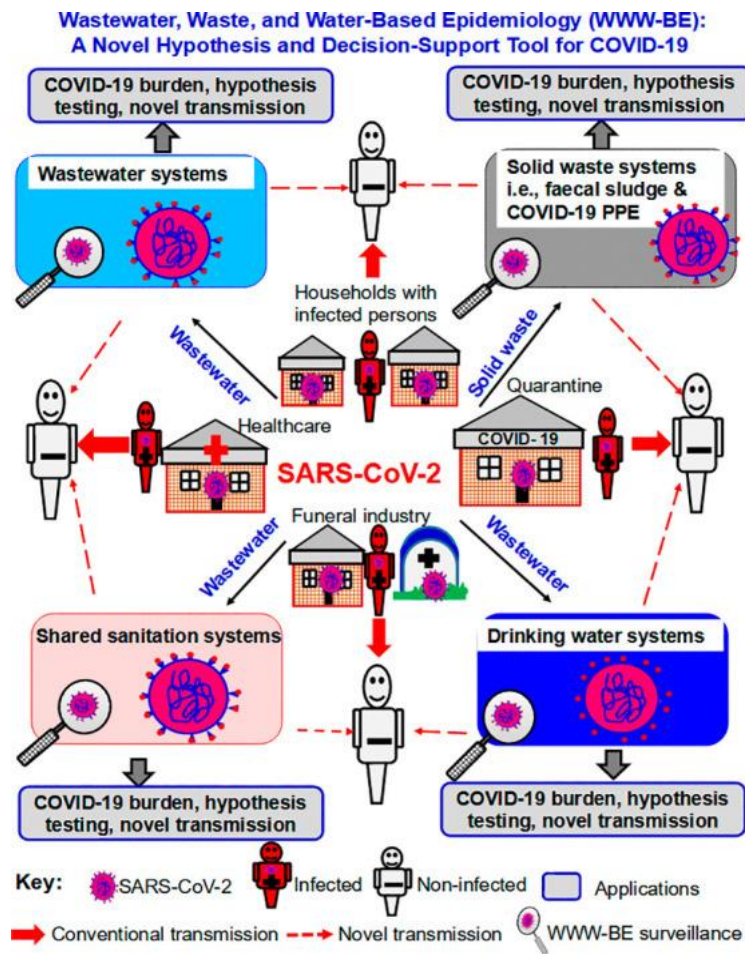
Ωστόσο, το W-BE προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για την κατανόηση της COVID-19 σε περιβάλλοντα χαμηλού εισοδήματος (Bhattacharya *et al.*, 2021). Επί του παρόντος, το W-BE περιορίζεται κυρίως στα ακατέργαστα/μη επεξεργασμένα λύματα από κεντρικά αστικά συστήματα αποχέτευσης (Ahmed *et al.*, 2020; Hart and Halden, 2020; Medema, Heijnen, *et al.*, 2020). Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός ότι αυτό είναι το κυρίαρχο σύστημα υγιεινής στις ανεπτυγμένες χώρες, όπου το εργαλείο αναπτύχθηκε αρχικά και αργότερα χρησιμοποιήθηκε για την επιτήρηση του COVID-19 (Daughton, 2012; Medema, Been, *et al.*, 2020; Medema, Heijnen, *et al.*, 2020).

Στις χώρες με χαμηλό εισόδημα, άλλα πιθανά αποθέματα του SARS-CoV-2 παρόμοια με τα αστικά λύματα περιλαμβάνουν: (i) λύματα/απόβλητα, στερεά απόβλητα και βιοαερόσωμα από κοινόχρηστες ή αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις υγιεινής (π.χ. βόθροι, λεκάνες, τουαλέτες) (Adelodun *et al.*, 2020; Caruso and Freeman, 2020; Street *et al.*, 2020; Amoah *et al.*, 2021), (ii) ακατέργαστα/μη επεξεργασμένα ύδατα επιφάνειας και υπογείων που λαμβάνουν ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα λύματα (Guerrero-Latorre *et al.*, 2020; Mahlknecht *et al.*, 2021; Fongaro *et al.*, 2022), (iii) στερεά απόβλητα, όπως στερεά απόβλητα από συστήματα υγιεινής και COVID-19 PPE, και (iv) πηγές πόσιμου νερού που δεν είναι ασφαλείς.

Πρόσφατες μελέτες έχουν ανιχνεύσει το RNA του SARS-CoV-2 σε περιβαλλοντικές συνθήκες που είναι σχετικές με την επιτήρηση του COVID-19 στις LICs, περιλαμβανομένων: (i) συστημάτων υγιεινής και τουαλετών (Meng *et al.*, 2020; Peccia, Zulli, Brackney, Grubaugh, Kaplan, Casanovas-Massana, Ko, Malik, Wang, Wang, Warren, *et al.*, 2020; Peccia, Zulli, Brackney, Grubaugh, Kaplan, Casanovas-Massana, Ko, Malik, Wang, Wang, Weinberger, *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Amoah *et al.*, 2021; Del Brutto *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021), και (ii) ακατέργαστων/μη επεξεργασμένων υδάτων επιφάνειας και υπογείων που λαμβάνουν ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα λύματα (Guerrero-Latorre *et al.*, 2020; Rimoldi *et al.*, 2020; Kolarević *et al.*, 2021; Mahlknecht *et al.*, 2021). Τα ύδατα αυτά χρησιμοποιούνται ως πηγές πόσιμου νερού σε περιβάλλοντα χαμηλού εισοδήματος, όπου συχνά καταναλώνονται χωρίς επεξεργασία. Δεδομένα δείχνουν επίσης ότι τα κορωνοϊοί, το SARS-CoV-2 και τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους υπάρχουν και επιμένουν σε στερεά υλικά όπως μέταλλα, χαρτί, ξύλο, πλαστικό, ύφασμα, και ακόμη και στο COVID-19 PPE (Chin *et al.*, 2020; Lui *et al.*, 2020; Pastorino *et al.*, 2020; van Doremalen *et al.*, 2020; Kasloff *et al.*, 2021). Έτσι, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το

SARS-CoV-2 ενδέχεται να επιμένει και σε στερεά απόβλητα, όπως στερεά απόβλητα από συστήματα υγιεινής και COVID-19 PPE από μολυσμένα άτομα.

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να τηρούνται αυστηρά τα πρωτόκολλα και οι κανονισμοί υγειονομικής διαχείρισης κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της διαδικασίας, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια του πληθυσμού και του περιβάλλοντος.



Εικόνα 10. Αναπαράσταση επιδημιολογίας με βάση τα λύματα (Gwenzi, 2022)

4.5 Προγράμματα Κατάρτισης και Εκπαίδευσης

Η διασφάλιση της βιοασφάλειας αποτελεί πρωταρχικό ζήτημα, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19, όπου η προετοιμασία και η ετοιμότητα του επαγγελματικού προσωπικού καθίστανται απαραίτητες για την αντιμετώπιση των βιολογικών κινδύνων. Ένα περιεκτικό και καλά δομημένο πρόγραμμα κατάρτισης είναι ζωτικής σημασίας, καθώς προετοιμάζει το προσωπικό παρέχοντας του τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες που

απαιτούνται για την αντιμετώπιση του SARS-CoV-2 και άλλων βιολογικών απειλών. Πολλοί επιστήμονες αναγνώρισαν τον ρόλο τους στην εκπαίδευση τόσο του γενικού πληθυσμού όσο και των επαγγελματιών υγείας (Callaway, 2020). Ωστόσο, επίσημοι παγκόσμιοι οργανισμοί όπως ο ΠΟΥ χρειάστηκαν έως και έξι μήνες από την έναρξη της πανδημίας για να θεσπίσουν μια παγκόσμια λίστα συστάσεων και βέλτιστων πρακτικών για την ασφαλή χειρισμό των ιολογικών διαγνωστικών (World Health Organization, 2020; Maxmen, 2021). Εξαιτίας αυτής της καθυστέρησης στην πρόσβαση σε επίσημες συστάσεις, τα εργαστήρια ήταν υποχρεωμένα να δημιουργήσουν τα δικά τους πρωτόκολλα βιοασφάλειας με περιορισμένες επιστημονικές γνώσεις σχετικά με τις ιδιότητες του ιού. Αυτή η ανάγκη για αυτορρύθμιση επιβεβαιώνει τη σημασία της ταχείας και ανοιχτής κοινοποίησης των επιστημονικών πληροφοριών και της συνεχούς επικοινωνίας μεταξύ των κυβερνητικών οργανώσεων, των ερευνητικών ιδρυμάτων και των επαγγελματιών υγείας σε παγκόσμιο επίπεδο (Rutjes *et al.*, 2023).

Η εισαγωγή στη βιοασφάλεια καλύπτει τον ορισμό, τη σημασία και τις βασικές αρχές της βιοασφάλειας, προβάλλοντας τη σπουδαιότητα της κατανόησης και της τήρησης των διεθνών πρωτοκόλλων. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να κατανοηθεί η επιδημιολογία του SARS-CoV-2, συμπεριλαμβανομένων των οδών μετάδοσης, των πηγών κινδύνου και των πληθυσμών που είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στον ιό.

Ο κατάλληλος χειρισμός και η χρήση των Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ) είναι απαραίτητα για την πρόληψη της μετάδοσης, ενώ η κατάρτιση σε διαδικασίες βιοασφάλειας παρέχει τις δεξιότητες που απαιτούνται για την ασφαλή διαχείριση δειγμάτων, την εκτίμηση κινδύνων, καθώς και τις τεχνικές καθαρισμού και απολύμανσης. Εξίσου σημαντική είναι η διαχείριση απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένης της ασφαλούς συλλογής, αποθήκευσης, μεταφοράς και καταστροφής μολυσμένων απορριμμάτων.

Η επικοινωνία και η συνεργασία είναι ουσιώδεις, καθώς ενθαρρύνουν την αποτελεσματική επικοινωνία κινδύνων και τη συνεργασία μεταξύ των επαγγελματιών υγείας. Οι εκπαιδευτικές προσπάθειες πρέπει επίσης να περιλαμβάνουν την κατάρτιση για σενάρια έκτακτης ανάγκης μέσω προσομοιώσεων και δραστηριοτήτων που προσομοιώνουν πραγματικά περιστατικά, ενισχύοντας την ετοιμότητα και την ανταπόκριση σε περιπτώσεις κρίσης. Στην προσέγγισή τους, οι Gardezi και Ikram επισημαίνουν την ανάγκη για συνεχή εκπαίδευση και κατάρτιση του εργαστηριακού

προσωπικού, καθώς και για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που ενθαρρύνει την ασφαλή διεξαγωγή ερευνών και διαγνωστικών δοκιμών. Τονίζουν την ανάγκη για δυναμικές αντιδράσεις στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της πανδημίας και την ανάπτυξη προσαρμοστικών και ευέλικτων πρωτοκόλλων βιοασφάλειας (Gardezi and Ikram, 2020).

Τέλος, η συνεχής εκπαίδευση και η ενημέρωση σχετικά με τις τρέχουσες εξελίξεις και τις βέλτιστες πρακτικές στη βιοασφάλεια είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της επάρκειας και της επιδεξιότητας του προσωπικού, προωθώντας έναν πολιτισμό ασφάλειας και προστασίας σε όλους τους τομείς της δημόσιας υγείας.

4.6 Συστήματα επιτήρησης και αναφοράς

Στο πλαίσιο των προσπαθειών για την αντιμετώπιση βιολογικών απειλών, όπως εκδηλώνεται σε πανδημικές καταστάσεις αναφορικά με την COVID-19, τα συστήματα επιτήρησης και αναφοράς αναδεικνύονται ως ζωτικοί πυλώνες της βιοασφάλειας. Η ορθολογική εφαρμογή αυτών των συστημάτων εγγυάται την καταγραφή, ανάλυση και διαχείριση των περιστατικών με ακρίβεια και αποδοτικότητα.

Κρίσιμης σημασίας στοιχείο αποτελεί η διακριτικότητα, η οποία εξασφαλίζει την προστασία των προσωπικών δεδομένων και της ταυτότητας των ατόμων που πραγματοποιούν την αναφορά, ενθαρρύνοντας την ανοιχτή και ειλικρινή επικοινωνία. Συγχρόνως, η αξιοπιστία του συστήματος πρέπει να είναι αδιαπραγμάτευτη, εξασφαλίζοντας την αδιάλειπτη και αποτελεσματική λειτουργία του. Η ταχύτητα αποτελεί έναν άλλο ζωτικό παράγοντα, καθώς μια άμεση ανταπόκριση σε κάθε αναφορά είναι απαραίτητη για την επίλυση περιστατικών ή ανησυχιών που απαιτούν άμεση προσοχή.

Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων διαδραματίζει στρατηγικό ρόλο, καθώς η χρήση των συλλεγόμενων πληροφοριών για αναλυτική εξέταση τάσεων, προκλήσεων και απειλών είναι απαραίτητη για την προληπτική δράση και την αποτελεσματική αντίδραση. Η ενσωμάτωση του συστήματος επιτήρησης με άλλα συστήματα διαχείρισης κινδύνου και ασφάλειας είναι επίσης απαραίτητη για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην αντιμετώπιση βιολογικών κινδύνων. Τέλος, η συνεχής ενημέρωση σχετικά με τις πρόσφατες επιστημονικές και τεχνικές εξελίξεις είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της επικαιρότητας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος.

Στην πράξη, είναι απαραίτητη η καθιέρωση μηχανισμών για την άμεση αναφορά περιστατικών ή ανησυχιών, η δημιουργία ενός περιβάλλοντος που ενθαρρύνει την

αναφορά χωρίς τον φόβο επακόλουθων αντίποινων ή κυρώσεων, η προώθηση της ενημέρωσης και της εκπαίδευσης σχετικά με την πρόληψη και την αντίδραση σε βιολογικές απειλές, και η διασφάλιση της συνεχούς βελτίωσης και προσαρμογής του συστήματος σε νέες προκλήσεις και απαιτήσεις. Με αυτό τον τρόπο, τα συστήματα επιτήρησης και αναφοράς μπορούν να αποτελέσουν έναν αποφασιστικό παράγοντα στην προστασία της δημόσιας υγείας και ασφάλειας.

Κεφάλαιο 5: Μελέτες περίπτωσης και βέλτιστες πρακτικές

5.1 Επιτυχείς Πρακτικές Βιοασφάλειας σε Εργαστηριακές Μονάδες

Η βιοασφάλεια στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα για την προστασία της δημόσιας υγείας, του περιβάλλοντος, καθώς και της υγείας των εργαστηριακών εργαζομένων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει μια σειρά από δομημένες προσεγγίσεις και πρωτόκολλα που έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη της μη ελεγχόμενης έκθεσης σε βιολογικούς παράγοντες και πιθανών ατυχημάτων.

Πολλές βιομηχανοποιημένες χώρες έχουν επιτύχει στην οργάνωση και χρηματοδότηση κέντρων για τον έλεγχο και την πρόληψη των νόσων (US CDC, China CDC, European CDC). Μια σημαντική, συνεχιζόμενη προσπάθεια στοχεύει στην ίδρυση ενός CDC στην Αφρική, αλλά παρόμοιες πρωτοβουλίες απουσιάζουν ή είναι ανεπτυγμένες στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Στη Βραζιλία, για παράδειγμα, η επιτήρηση των νόσων στηρίζεται σε ένα εθνικό σύστημα δημόσιων υγειονομικών εργαστηρίων (Sistema Nacional de Laboratórios de Saúde Pública, SISLAB) το οποίο ξεκίνησε το 2004 και σήμερα περιλαμβάνει δώδεκα μονάδες BSL-3 για την χειρισμό μολυσμένων κυττάρων και δειγμάτων μαζί με ένα δίκτυο κεντρικών κρατικών εργαστηρίων (Laboratórios Centrais de Saúde Pública, LACENs) που είναι εργαστήρια BSL-2 (Souza and Morel, 2021).

Αυτή η υποδομή αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στην προσπάθεια για την παρακολούθηση, τη διάγνωση και την αντιμετώπιση των νόσων. Οι δυνατότητες των εργαστηρίων BSL-3 επιτρέπουν τον ασφαλή χειρισμό μολυσματικών παραγόντων που παρουσιάζουν ένα σημαντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, ενώ τα εργαστήρια BSL-2 παρέχουν ένα επαρκή επίπεδο προστασίας για την εργασία με παράγοντες που παρουσιάζουν μέτριο κίνδυνο. Το δίκτυο αυτό, συνδυασμένο με τη συνεχή εκπαίδευση και την εφαρμογή αυστηρών πρωτοκόλλων βιοασφάλειας, είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που παρουσιάζονται από τις επιδημίες, όπως η πανδημία

COVID-19, σε μια στιγμή όπου τα παγκόσμια συστήματα υγείας βρίσκονται υπό έντονη πίεση (Souza and Morel, 2021).

Καταρχάς, η εφαρμογή του επιπέδου βιοασφάλειας (Biosafety Level - BSL) που είναι κατάλληλο για τον εκάστοτε εργαστηριακό χώρο είναι ζωτικής σημασίας. Τα επίπεδα BSL καθορίζονται ανάλογα με τους παράγοντες όπως η επικινδυνότητα των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται, ο τρόπος μετάδοσής τους, και η φύση της εργασίας που πραγματοποιείται. Η κατάλληλη ταξινόμηση και τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας για κάθε επίπεδο είναι απαραίτητη για την προστασία και την αποτροπή της διασποράς παθογόνων. Στη συνέχεια, η κατάρτιση και η εκπαίδευση του προσωπικού είναι καίριας σημασίας. Όλοι οι εργαζόμενοι σε εργαστήρια πρέπει να λαμβάνουν τακτική εκπαίδευση σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές, τη χρήση προσωπικών μέσων προστασίας (Personal Protective Equipment - PPE), τη διαχείριση αποβλήτων, και τα πρωτόκολλα έκτακτης ανάγκης. Αυτό εξασφαλίζει την επίγνωση των κινδύνων και των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθούνται για την αποφυγή ατυχημάτων.

Πέραν τούτου, η υλοποίηση της αρχής της περιορισμένης πρόσβασης σε εργαστηριακούς χώρους όπου χειρίζονται επικίνδυνους παράγοντες είναι ένας βασικός τρόπος προστασίας. Η πρόσβαση πρέπει να επιτρέπεται μόνο σε εκπαιδευμένο προσωπικό με την κατάλληλη εξουσιοδότηση, και οι χώροι αυτοί πρέπει να είναι σαφώς προετοιμασμένοι για τη διαχείριση παθογόνων. Ένα άλλο στοιχείο αποτελεί η καθιέρωση τακτικών ελέγχων και αξιολογήσεων της βιοασφάλειας. Αυτό περιλαμβάνει την τακτική αξιολόγηση των διαδικασιών, των εγκαταστάσεων και των εξοπλισμών για την εξασφάλιση της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές και την ενημέρωση των πρωτοκόλλων ασφαλείας όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Τέλος, η καλή εργαστηριακή πρακτική (Good Laboratory Practice - GLP) αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της βιοασφάλειας. Αυτό συμπεριλαμβάνει τη συστηματική τήρηση των πρωτοκόλλων και των διαδικασιών, την τακτική συντήρηση και αποστείρωση του εξοπλισμού, την κατάλληλη σήμανση και αποθήκευση των βιολογικών υλικών, και τη διεξαγωγή σαφούς και ακριβούς τεκμηρίωσης.

Οι Siles-Garcia et al. (2021) προσφέρουν μια εμπειριστατωμένη ανασκόπηση των προτύπων βιοασφάλειας για την προστασία των ασθενών στον οδοντιατρικό τομέα μετά την πανδημία COVID-19. Η δημοσίευση επικεντρώνεται στις προκλήσεις που εισήχθησαν από την εμφάνιση του SARS-CoV-2 και τις απαραίτητες προσαρμογές στις κλινικές

πρακτικές για να διασφαλιστεί η ασφάλεια τόσο των ασθενών όσο και των επαγγελματιών υγείας. Οι συγγραφείς αναλύουν τις βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση του κινδύνου μετάδοσης, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χρήση προστατευτικών εξοπλισμών ατομικής χρήσης (PPE), την εφαρμογή αυστηρών κατευθυντήριων οδηγιών για την απολύμανση και την τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας κατά τη διάρκεια οδοντιατρικών διαδικασιών. Επιπλέον, εξετάζουν τη σημασία της προληπτικής διάγνωσης πριν από την παροχή οδοντιατρικής φροντίδας, καθώς και της αναβάθμισης των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και κατάρτισης για το προσωπικό. Πέραν τούτου, οι Siles-Garcia et al. τονίζουν την ανάγκη για συνεχή έρευνα και αναθεώρηση των προτύπων βιοασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη την εξελισσόμενη φύση του ιού και τις νέες πληροφορίες που προκύπτουν από την επιστημονική κοινότητα. Αυτή η προσαρμοστικότητα είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της υγείας και της ασφάλειας στις οδοντιατρικές κλινικές, καθώς οι κοινωνίες προσπαθούν να επιστρέψουν σε μια κάποια μορφή νορμαλισμού μετά την πανδημία (Siles-Garcia et al., 2021).

Μέσω της συνεχούς εκπαίδευσης, της εφαρμογής βέλτιστων πρακτικών, της δέσμευσης στη συνεχή βελτίωση, και της τήρησης των κανονιστικών προτύπων και κατευθυντήριων οδηγιών, τα εργαστήρια μπορούν να διασφαλίσουν την ασφάλεια τόσο του προσωπικού όσο και της ευρύτερης κοινότητας.

5.2 Διδάγματα που αντλήθηκαν από αποτυχίες βιοασφάλειας

Η επιταχυνόμενη εξέλιξη της σύγχρονης βιοτεχνολογίας σε συνδυασμό με την οικονομική παγκοσμιοποίηση έχει δημιουργήσει μια σειρά από ζητήματα βιοασφάλειας, όπως η διαφυγή γενετικά τροποποιημένων οργανισμών, η εισβολή ξένων ειδών και η παγκόσμια εξάπλωση μεταδοτικών νοσημάτων, προβάλλοντας έτσι τεράστιες απειλές για την ποικιλομορφία των ειδών, το οικολογικό περιβάλλον και την ανθρώπινη κοινωνία. Μέχρι στιγμής, η συνεχιζόμενη επιδείνωση της πανδημίας COVID-19 έχει επηρεάσει σοβαρά την κοινωνία και την οικονομική ανάπτυξη παγκοσμίως (Richmond et al., 2003; Kraemer et al., 2020; Thornton, 2020).

Σημαντικά συστατικά της ασφάλειας εξοπλισμού και οργάνων που προωθούν την ασφαλή πρακτική στον χώρο εργασίας είναι η αξιολόγηση της ροής εργασιών και η ανθρώπινη μηχανική συστημάτων. Η σημασία αυτών των στοιχείων αποδεικνύεται από μια πρόσφατη έρευνα, στην οποία η πλειοψηφία των λοιμώξεων σε εργαστήρια BSL-3 και

-4 προκλήθηκε από ανθρώπινο λάθος (Wurtz *et al.*, 2016). Ωστόσο, οι αξιολογήσεις της ροής εργασιών και η μηχανική των συστημάτων δεν είναι σχετικές μόνο με τα εργαστήρια υψηλής απομόνωσης. Τα κλινικά εργαστήρια (BSL-2) μπορεί επίσης να παρουσιάζουν ανεπαρκείς πρακτικές ασφαλείας, και συχνά έχουν καθαρούς χώρους εργασίας είτε εντός είτε αμέσως δίπλα σε μολυσμένους χώρους, αυξάνοντας τον κίνδυνο διασταυρούμενης μόλυνσης. Υπάρχουν λίγες δημοσιευμένες μελέτες που αξιολογούν τους κινδύνους του εργαστηριακού εξοπλισμού, και η πλειονότητα των διαθέσιμων μελετών έχει ερευνήσει τη μόλυνση χωρίς να καταγράφει τη μετάδοση μολυσματικών παραγόντων (Bryan *et al.*, 2016). Αντιθέτως, οι μελέτες που καταγράφουν λοιμώξεις που μεταδίδονται από το εργαστήριο σπανίως παρέχουν λεπτομέρειες για συγκεκριμένα όργανα ή κατασκευαστές (Pike, 1979; Baron and Miller, 2008; Pedrosa and Cardoso, 2011; Petts *et al.*, 2021). Ως εκ τούτου, η ερμηνεία των κινδύνων που σχετίζονται με συγκεκριμένα όργανα μπορεί να περιλαμβάνει την αναφορά σε εργαστηριακές ροές εργασιών, διαδικασίες και τα προσωπικά προστατευτικά εξοπλισμένα (PPE) που χρησιμοποιούνται με αυτά τα όργανα.

Ανταποκρινόμενη στις άνευ προηγουμένου προκλήσεις που προκύπτουν από την πανδημία COVID-19, η κινεζική κυβέρνηση αποφάσισε αμέσως να συμπεριλάβει τη βιοασφάλεια στο εθνικό της σύστημα ασφαλείας, φέρνοντας έτσι και πάλι στο προσκήνιο την έννοια της «βιοασφάλειας» (Wang, 2020). Αυτή η ανανεωμένη έμφαση επισημαίνει την ανάγκη για συνεχή αξιολόγηση και προσαρμογή των πρωτοκόλλων βιοασφάλειας, καθώς και για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην αντιμετώπιση των απειλών που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση μεταξύ τεχνολογικής προόδου, βιολογικής ποικιλομορφίας και διεθνούς κινητικότητας (Wang *et al.*, 2020). Η βιοασφάλεια αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα που έχει σχεδιαστεί για την προστασία των ανθρώπων και του περιβάλλοντος από πιθανούς βιολογικούς κινδύνους. Ωστόσο, η ιστορία έχει αποδείξει ότι ακόμη και με τα πιο αυστηρά μέτρα, οι αποτυχίες βιοασφάλειας μπορούν να συμβούν με σοβαρές συνέπειες. Από αυτές τις αποτυχίες, υπάρχουν σημαντικά διδάγματα που μπορούν να αντληθούν.

Για την αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με τη βιοασφάλεια μέσω των υλικών, πρέπει να καθοριστούν οι τρέχουσες προκλήσεις σε αυτόν τον τομέα. Για παράδειγμα, η τρέχουσα κύρια μέθοδος ανίχνευσης παθογόνων βασίζεται ευρέως στην αντίδραση αλυσιδωτής πολυμεράσης (PCR), η οποία είναι χρονοβόρα (Mukai and Nakagawa, 1996). Οι συσκευές δοκιμής στο σημείο φροντίδας (POCT) είναι ιδιαίτερα

επιθυμητές λόγω της ευκολίας τους (Yoo *et al.*, 2020). Τα υλικά Luminescent παρέχουν ένα ισχυρό εργαλείο για την επίτευξη ευαίσθητης και έγκαιρης ανίχνευσης. Ο Πίνακας 4 περιλαμβάνει συνοπτικά τις κύριες προκλήσεις στη βιοασφάλεια από την οπτική γωνία της επιστήμης των υλικών (Sui *et al.*, 2018; X. Huang *et al.*, 2020). Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η καινοτομία στα υλικά βιοασφάλειας δεν περιορίζεται μόνο στην ανίχνευση παθογόνων. Η συνεχής εξέλιξη και βελτίωση των υλικών για προστατευτικό εξοπλισμό, καθώς και για την απομόνωση και διατήρηση των βιολογικών πόρων, παραμένει ένας βασικός πυλώνας στην προσπάθεια για την ενίσχυση της συνολικής βιοασφάλειας.

Πίνακας 4. Σύγχρονες προκλήσεις στη βιοασφάλεια (Yu *et al.*, 2020)

Πεδίο Βιοασφάλειας	Κατηγορία	Προκλήσεις
Ανίχνευση παθογόνων	Καλλιέργεια και ταυτοποίηση Μηχανήματα παθολογίας Ανοσολογική ανίχνευση Μοριακή βιολογική ανίχνευση	Η διαδικασία ανίχνευσης είναι χρονοβόρα Χαμηλή ευαισθησία, ειδικότητα Αρνητικά αποτελέσματα
Απολύμανση παθογόνων	Φυσική απολύμανση (υπεριώδεις ακτίνες, υψηλή θερμοκρασία, ιονίζουσα ακτινοβολία, κτλ.) Χημική απολύμανση (αλκοόλες, χλωριούχα απολυμαντικά, φαινόλες, τετρατομικά αμμώνια, και ιωδούχα απολυμαντικά)	Χαμηλή αποδοτικότητα Δυσσομία Επικίνδυνα χημικά υπολείμματα Ανθεκτικότητα στα φάρμακα Διαβρωτικά Απαιτείται αποχώρηση προσωπικού κατά την απολύμανση
Θεραπευτικά σκευάσματα	Αντιβακτηριδιακά φάρμακα Αντικά φάρμακα	Ανθεκτικότητα στα φάρμακα Ο ιός δεν έχει κυτταρική δομή, και η ανάπτυξη φαρμάκων είναι δύσκολη
Εμβόλια	Εμβόλιο με εξασθενημένους ζωντανούς ιούς	Αργή Έ&Α Μη επαρκές μετά τη μετάλλαξη του ιού
Προστατευτικός εξοπλισμός	Προστατευτική στολή Μάσκα Γάντια	Κακή αντιτοξικότητα, διαπνοή, και απαγωγή θερμότητας Χαμηλή προστασία απέναντι σε αερολύματα Δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν

Πρώτον, μία κεντρική παρατήρηση είναι ότι η υπερβολική εμπιστοσύνη στα άτομα και στις διαδικασίες μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία αντιμετώπισης απρόβλεπτων κινδύνων. Ακόμα και τα πιο σύγχρονα συστήματα μπορούν να αποτύχουν, γεγονός που επιβεβαιώνει την ανάγκη για συνεχή επιθεώρηση και αναβάθμιση των προτύπων βιοασφάλειας, καθώς και για τη δημιουργία πολλαπλών επιπέδων προστασίας. Επιπλέον,

η έλλειψη κατάλληλης κατάρτισης και ευαισθητοποίησης του προσωπικού αποτελεί συχνό παράγοντα σε περιπτώσεις αποτυχίας, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της τακτικής και εκτενούς εκπαίδευσης, καθώς και της διασφάλισης ότι όλα τα μέλη του εργαστηριακού προσωπικού είναι πλήρως ενημερωμένα για τις πρακτικές και τις διαδικασίες που πρέπει να τηρούνται. Τρίτον, η ανεπαρκής επικοινωνία και συντονισμός μεταξύ των ερευνητικών ομάδων, των εργαστηρίων και των κυβερνητικών οργάνων έχει συχνά αποδειχθεί ότι συμβάλλει σε ατυχή γεγονότα. Αυτό καταδεικνύει την ανάγκη για διαφάνεια, καθώς και για καθιερωμένους μηχανισμούς επικοινωνίας και κοινοποίησης πληροφοριών. Τέλος, οι αποτυχίες βιοασφάλειας υπογραμμίζουν την κρισιμότητα της αποτελεσματικής και άμεσης αντίδρασης σε επείγουσες καταστάσεις. Η προετοιμασία για έκτακτες ανάγκες, η οποία περιλαμβάνει καλά καθορισμένα σχέδια αντίδρασης, καθώς και τη διεξαγωγή τακτικών ασκήσεων εκτάκτου ανάγκης, είναι ζωτικής σημασίας.

Οι Islam et al. (2021) παρουσιάζουν μια ανάλυση των προκλήσεων που συνέβαλαν στην εγκαθίδρυση ενός εργαστηρίου δοκιμών βιοασφάλειας για την COVID-19 στο Μπανγκλαντές. Συγκεκριμένα εξετάζουν τις πολλαπλές δυσκολίες που αντιμετώπισε η χώρα, επικεντρώνοντας την προσοχή τους στα υποδομικά εμπόδια, τα επιστημονικά και τεχνικά ελλείμματα, καθώς και στην έλλειψη κατάρτισης και πόρων. Οι συγγραφείς αναδεικνύουν τη σημασία των κατάλληλων εγκαταστάσεων δοκιμών και του κατάλληλου εξοπλισμού, τα οποία αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την αποτελεσματική ανίχνευση και αντιμετώπιση του SARS-CoV-2. Μεταξύ των κύριων προκλήσεων που τονίζονται είναι η έλλειψη ειδικευμένου προσωπικού με εμπειρία σε πολύ επικίνδυνους παθογόνους, η ανεπάρκεια υλικών αναλωσίμων και διαγνωστικών κιτ, καθώς και η ανάγκη για βελτίωση της λογιστικής υποστήριξης και της διαχείρισης δεδομένων. Παράλληλα, οι Islam et al. επισημαίνουν τον καίριο ρόλο της διεθνούς συνεργασίας και της κοινής χρήσης γνώσεων για την αντιμετώπιση των εν λόγω προκλήσεων. Η επένδυση στην κατάρτιση και την εκπαίδευση, καθώς και η διασφάλιση της διαθεσιμότητας των απαραίτητων πόρων, αναγνωρίζονται ως βασικά στοιχεία για την ενίσχυση της ικανότητας του Μπανγκλαντές να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ενός ενεργού εργαστηρίου δοκιμών βιοασφάλειας κατά τη διάρκεια της πανδημίας και πέραν αυτής (Ul Islam et al., 2021).

Κατά τη διάρκεια της πανδημίας, ποικίλες στρατηγικές αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφία για την ανταπόκριση των εργαστηρίων στην COVID-19. Συγκεκριμένα, οι Laric και συνεργάτες παρουσίασαν την εμπειρία τους από ένα πανεπιστημιακό

νοσοκομείο, όπου αποφασίστηκε κατά τη διάρκεια της πανδημίας να μεταφερθεί όλος ο όγκος δοκιμασιών ενός εργαστηρίου επείγουσας περίθαλψης στο κεντρικό εργαστήριο του νοσοκομείου (Larić *et al.*, 2020). Κατέγραψαν στατιστικά σημαντική παράταση στον χρόνο αναμονής (TAT), λόγω της αυξημένης διάρκειας από τη συλλογή του δείγματος έως την παραλαβή του.

Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη Διεθνή Ομοσπονδία Κλινικής Χημείας και Εργαστηριακής Ιατρικής σχετικά με την COVID-19, συμμετείχαν περισσότερα από 1000 νοσοκομειακά εργαστήρια, με δεδομένα από 69 εξ αυτών (5.7% του συνόλου) που αφορούσαν περιφερειακά εργαστήρια (Loh, Horvath, Wang, Koch, Adeli, *et al.*, 2020). Τα εργαστήρια που συμμετείχαν στην έρευνα ανέφεραν περισσότερο την έλλειψη προσωπικού προστατευτικού εξοπλισμού, αντιδραστηρίων και αναλυτικού εξοπλισμού ως τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετώπιζαν. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι μόλις το ένα τρίτο των εργαστηρίων ανέφερε την καθημερινή θερμομέτρηση του προσωπικού, ενώ περίπου το 50% των εργαστηρίων είχε αλλάξει τα ωράρια λειτουργίας του προσωπικού για να μειώσει τον κίνδυνο επαφής με μολυσμένους εργαζόμενους. Βέβαια μια πρόσφατη επισκόπηση υποδεικνύει ότι περίπου το 45% των ατόμων με COVID-19 είναι ασυμπτωματικοί και ενδέχεται να μην παρουσιάζουν πυρετό (Oran and Topol, 2020).

Μέσω της λεπτομερούς ανάλυσης των περιστατικών αποτυχίας, είναι δυνατόν να αναδειχθούν τα κενά στις τρέχουσες πρακτικές και συστήματα, καθώς και να διαμορφωθούν βέλτιστες πρακτικές που θα συμβάλλουν στην ενίσχυση της συνολικής βιοασφάλειας στο μέλλον.

5.3 Μελέτες περίπτωσης εργαστηρίων που ανταποκρίνονται στην Covid-19

Η πανδημία της Covid-19 ανέδειξε με έμφαση την ανάγκη για ταχεία, αποτελεσματική και ακριβή εργαστηριακή διάγνωση. Εργαστήρια σε όλο τον κόσμο προσαρμόστηκαν και κλιμακώθηκαν με αξιοσημείωτους τρόπους για να ανταποκριθούν στις προκλήσεις που παρουσίαζε ο νέος κορωνοϊός. Η εξέταση επιλεγμένων μελετών περίπτωσης επιτρέπει μια εμβάθυνση στις στρατηγικές και τις καινοτομίες που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της πρωτοφανούς δημόσιας υγειονομικής κρίσης.

Η Διεθνής Ομοσπονδία Κλινικής Χημείας και Εργαστηριακής Ιατρικής (IFCC - International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Taskforce on

COVID-19) διεξήγαγε μια παγκόσμια έρευνα από τις 16 Απριλίου έως τις 1 Μαΐου 2020, με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μεθόδων που χρησιμοποιούν τα βιοχημικά εργαστήρια για τον περιορισμό των βιοκινδύνων κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Από τις 1210 απαντήσεις που αναλύθηκαν, 1067 προήλθαν από νοσοκομειακά εργαστήρια που διαχειρίζονται μέτριους όγκους δειγμάτων καθημερινά. Κατά τη διάρκεια της έρευνας, 186 εργαστήρια περιόρισαν τις δοκιμές σε ασθενείς με κλινικά ύποπτο COVID-19 και 171 εργαστήρια περιόρισαν τις δοκιμές σε ασθενείς με επιβεβαιωμένο COVID-19. Οι συνηθέστεροι περιορισμοί αφορούσαν τις δοκιμές πλευρικού υγρού και αναπνευστικών δειγμάτων, ακολουθούμενες από κόπρανα, ούρα και άμεση μικροσκοπία. Τα εργαστήρια που αυξήσαν τη συχνότητα απολύμανσης ήταν 819, κυρίως από μία φορά την ημέρα σε τέσσερις φορές την ημέρα. Η χρήση μεταφοράς για την παράδοση δειγμάτων μειώθηκε από την έναρξη της πανδημίας COVID-19, με αύξηση των παραδόσεων με το χέρι, και χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα στρώματα πλαστικών σάκων για τη συσκευασία δειγμάτων από ασθενείς με υποψία ή επιβεβαιωμένο COVID-19. Τα εργαστήρια που αρνήθηκαν αιτήματα για πρόσθετες δοκιμές για ασθενείς με κλινικά ύποπτο COVID-19 ήταν 992, ενώ 814 εργαστήρια αρνήθηκαν αιτήματα για πρόσθετες δοκιμές για ασθενείς με επιβεβαιωμένο COVID-19. Επιπλέον, 290 εργαστήρια αποστείρωσαν δείγματα αίματος ασθενών με κλινικά ύποπτο COVID-19 και 276 εργαστήρια αποστείρωσαν δείγματα αίματος ασθενών με επιβεβαιωμένο COVID-19 (Loh, Horvath, Wang, Koch, Adeli, *et al.*, 2020; Loh, Horvath, Wang, Koch, Lippi, *et al.*, 2020).

Στο άρθρο τους, Silva *et al.* (2021) αναλύουν με εξέχουσα προσοχή τη σημασία της βιοασφάλειας για τους επαγγελματίες νοσηλευτές κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, καθώς αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο λόγω της άμεσης επαφής τους με ασθενείς. Η προστασία αυτών των ζωτικών επαγγελματιών υγείας απαιτεί την εφαρμογή και τήρηση αυστηρών διαδικασιών και πρωτοκόλλων βιοασφάλειας. Η έρευνα επισημαίνει ότι η ανεπαρκής προστασία μπορεί να οδηγήσει σε μετάδοση του ιού SARS-CoV-2 στο προσωπικό, με δυνητικά σοβαρές συνέπειες για την υγεία τους και την ικανότητά τους να παρέχουν φροντίδα στους ασθενείς. Μέσω της ανάλυσης διάφορων περιστατικών και εμπειριών, οι συγγραφείς διερευνούν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι νοσηλευτές, όπως η έλλειψη επαρκών προσωπικών προστατευτικών εξοπλισμών (PPE), η υπερφόρτωση εργασίας, ο κίνδυνος ψυχολογικής καταπόνησης και η ανάγκη για κατάλληλη εκπαίδευση στις καλύτερες πρακτικές βιοασφάλειας. Επιπλέον,

τονίζουν την ανάγκη για οργανωμένες στρατηγικές αντιμετώπισης, που περιλαμβάνουν τη διασφάλιση του εφοδιασμού σε PPE, την ενίσχυση των πρωτοκόλλων απολύμανσης, τη διασφάλιση κατάλληλων συνθηκών εργασίας, και την παροχή ψυχολογικής υποστήριξης. Αυτές οι πρακτικές, όπως αναφέρουν, είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των νοσηλευτών από την έκθεση σε βιολογικούς κινδύνους καθώς εκτελούν τα καθήκοντά τους, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν την υψηλής ποιότητας περίθαλψη των ασθενών με COVID-19 (da Silva *et al.*, 2022).

Στην έρευνα των Lu *et al.*, διαπιστώθηκε ότι περισσότερο από το 67,6% του προσωπικού σε εργαστήρια βιοασφάλειας (BSL) πληρούσε τα κριτήρια επαγγελματικής εξουθένωσης, ενώ μια σχετική μελέτη έδειξε ότι πάνω από το 40% των νοσηλευτών και πάνω από το 30% των τεχνολόγων ακτινοβολίας και των φαρμακοποιών στην Ιαπωνία υπέφεραν από επαγγελματική εξουθένωση κατά τη διάρκεια της πανδημίας της COVID-19 (Matsuo *et al.*, 2020). Επιπλέον, έρευνα 2707 ιατρικών στελεχών από 60 χώρες έδειξε ότι το 51% των ιατρικών στελεχών είχε το σύνδρομο της εξουθένωσης (Morgantini *et al.*, 2020). Αυτά τα ευρήματα καταδεικνύουν μια ανησυχητική τάση επαγγελματικής εξουθένωσης μεταξύ των επαγγελματιών υγείας, η οποία εντείνεται κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης πίεσης, όπως είναι η πανδημία του COVID-19. Αυτό υπογραμμίζει την κρισιμότητα της παροχής υποστήριξης και προστασίας για το ιατρικό προσωπικό, που εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα στρες και ψυχολογικής πίεσης. Οι εργοδότες, οι υγειονομικές αρχές και οι κυβερνητικοί φορείς πρέπει να αναγνωρίσουν και να αντιμετωπίσουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην επαγγελματική εξουθένωση, καθώς και να αναπτύξουν στρατηγικές για την προώθηση της ψυχολογικής ευεξίας και την πρόληψη της εξάντλησης των εργαζομένων στον τομέα της υγείας (Lu *et al.*, 2021).

Μία κρίσιμη περίπτωση είναι τα εργαστήρια που εστίασαν στην αυτοματοποίηση διαδικασιών για την επιτάχυνση των διαγνώσεων. Με τη χρήση ρομποτικών συστημάτων, τα οποία επέτρεπαν την αυτόματη προετοιμασία δειγμάτων και την εκτέλεση της αλυσίδας αντίδρασης πολυμεράσης (PCR), αυτά τα εργαστήρια κατάφεραν να αυξήσουν σημαντικά τον όγκο των δοκιμών που μπορούσαν να επεξεργαστούν καθημερινά, ενώ παράλληλα μείωσαν τον κίνδυνο λαθών που συνδέονται με την ανθρώπινη παρέμβαση. Επιπλέον, κάποια εργαστήρια καινοτόμησαν με την ανάπτυξη μεθοδολογιών διάγνωσης πολλαπλών παθογόνων, οι οποίες επέτρεπαν την ταυτόχρονη δοκιμή για τον SARS-CoV-2 και άλλους ιούς, όπως η γρίπη. Αυτή η προσέγγιση ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη για την

αποτελεσματική διαχείριση των υγειονομικών πόρων, ειδικά κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλής προσβολής των αναπνευστικών νόσων.

Στη δημοσίευσή τους, Du et al. (2020) αναδεικνύουν τις απαραίτητες προφυλάξεις και προτάσεις για τη διατήρηση της βιοασφάλειας στα ανδρολογικά εργαστήρια κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Μέσα σε ένα πλαίσιο όπου οι υγειονομικές υπηρεσίες αντιμετωπίζουν έντονες πιέσεις και οι επιστημονικές έρευνες υποβάλλονται σε αυστηρούς περιορισμούς, η διατήρηση της ασφάλειας στο εργαστηριακό περιβάλλον καθίσταται εξαιρετικά σημαντική. Οι συγγραφείς επικεντρώνουν την προσοχή τους στην ανάγκη για αυστηρές διαδικασίες απολύμανσης, χρήσης προστατευτικών εξοπλισμών, καθώς και στην εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης δειγμάτων. Αναφέρουν επίσης τη σημασία της κατάρτισης του προσωπικού σε θέματα βιοασφάλειας, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος διάδοσης του ιού μέσω επαφών ή διαδικασιών που συμβαίνουν εντός του εργαστηριακού χώρου. Εκτός από την προστασία του προσωπικού, τονίζεται η σημασία της διασφάλισης της ακεραιότητας των ερευνητικών δειγμάτων και των διαδικασιών που πραγματοποιούνται, αποφεύγοντας τυχόν μόλυνση ή επικίνδυνες επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από την έκθεση στον SARS-CoV-2. Αυτό καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό στο πλαίσιο των ανδρολογικών εργαστηρίων, όπου η διαχείριση βιολογικών δειγμάτων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ακρίβεια. Τέλος, οι Du et al. (2020) υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή επαγρύπνηση, αναθεώρηση των πρωτοκόλλων και προσαρμογή στις εξελίξεις, καθώς η κατανόηση του ιού και οι δημόσιες υγειονομικές συστάσεις εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου (DU et al., 2020).

Σημαντικό είναι επίσης το παράδειγμα των εργαστηρίων που ανέπτυξαν δίκτυα συνεργασίας μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών οντοτήτων. Αυτές οι συνεργασίες επέτρεψαν την ταχύτερη κοινοποίηση δεδομένων και πόρων, βοηθώντας στην παρακολούθηση των εξελίξεων του ιού σε πραγματικό χρόνο και στην προσαρμογή των διαγνωστικών στρατηγικών ανάλογα. Τέλος, κρίσιμη ήταν η απόκριση εργαστηρίων που ενδιαφέρθηκαν για τη γενομική επιδημιολογία, χρησιμοποιώντας τεχνικές υψηλής απόδοσης για την παρακολούθηση των μεταλλάξεων του ιού. Η έγκαιρη ανίχνευση νέων παραλλαγών επέτρεψε την ταχεία ανάπτυξη και προσαρμογή δημόσιων υγειονομικών πολιτικών, όπως οι τροποποιήσεις στις στρατηγικές εμβολιασμού και τα πρωτόκολλα καραντίνας.

Μέσα από αυτές τις μελέτες περίπτωσης, είναι σαφές ότι η ευελιξία, η καινοτομία και η συνεργασία ήταν καθοριστικοί παράγοντες στην επιτυχημένη ανταπόκριση των εργαστηρίων στην πανδημία της Covid-19. Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από αυτές τις εμπειρίες υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή επένδυση και ενίσχυση της εργαστηριακής ικανότητας, τόσο σε περιόδους κρίσης όσο και σε κανονικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 6: Συμπέρασμα

6.1 Περίληψη ευρημάτων

Η πανδημία της Covid-19 επιβεβαίωσε την κρισιμότητα των εργαστηριακών ερευνών και των διαγνωστικών δοκιμών στη δημόσια υγεία. Οι απαντήσεις σε αυτή την πρωτοφανή κρίση έχουν επιφέρει πλούσια διδάγματα, επιτρέποντας μια ευρεία ανασκόπηση των βέλτιστων πρακτικών, των προκλήσεων και των ευκαιριών για μελλοντικές προετοιμασίες και αποκρίσεις. Καθώς ο SARS-CoV-2 αποτελεί έναν νέο ιό, παρατηρήθηκαν πολλές ασάφειες που αρχίζουν από την παθογένειά του μέχρι τη θεραπεία. Ειδικά κατά την αρχή της πανδημίας, παρατηρήθηκε παγκόσμια ανησυχία λόγω της ταχύτητας με την οποία εξαπλώνεται η νόσος. Επί του παρόντος, οι δοκιμές και η απομόνωση αποτελούν τη μόνη πλήρως ασφαλή γνωστή μέθοδο για την πρόληψη της εξάπλωσης του SARS-CoV-2. Η έγκαιρη διάγνωση της COVID-19 είναι ζωτικής σημασίας για την μείωση της επιδημιολογικής καμπύλης, καθιστώντας απαραίτητη την ύπαρξη ισχυρών διαγνωστικών εξετάσεων που μπορούν να εντοπίζουν το SARS-CoV-2 με ακρίβεια και ταχύτητα. Οι εργαζόμενοι στον τομέα της υγείας και στα εργαστήρια βρίσκονται σε κίνδυνο, και γι' αυτό τα προστατευτικά είδη έχουν καίριο ρόλο στην πρόληψη της μόλυνσης. Η σωστή χρήση των Προσωπικών Προστατευτικών Εξοπλισμών (PPE) μπορεί να προλάβει την εξάπλωση της μόλυνσης από τον ιό SARS-CoV-2 μεταξύ των εργαζομένων στον τομέα της υγείας και στα εργαστήρια. Επιπλέον, τα μέτρα βιοασφάλειας όπως οι προσεκτικές τεχνικές δειγματοληψίας, η μεταφορά δειγμάτων σε ειδικά δοχεία, η χρήση βιοασφαλών εργαστηριακών θαλάμων, οι καλές μικροβιολογικές τεχνικές, η απολύμανση των δειγμάτων και του χώρου εργασίας, καθώς και η καταγραφή των απομονωμένων οργανισμών, είναι ουσιαστικά για την πρόληψη της μόλυνσης που σχετίζεται με το εργαστήριο από τον ιό SARS-CoV-2 (Karthik *et al.*, 2020).

Η ανάγκη για ακριβείς, γρήγορες και ευέλικτες διαγνωστικές λύσεις κατέστησε σαφή τη σημασία της επένδυσης στην υποδομή των εργαστηρίων, την κατάρτιση του

προσωπικού και την ανάπτυξη της διεθνούς και διατομεακής συνεργασίας. Η γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων, οι κοινές πρωτοβουλίες για την έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνικών, και η ενίσχυση των δικτύων επικοινωνίας μεταξύ εργαστηρίων και κυβερνητικών οργανισμών αποτέλεσαν θεμελιώδεις πυλώνες για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της πανδημίας.

Επιπλέον, η δυνατότητα προσαρμογής και κλιμάκωσης των διαγνωστικών υπηρεσιών, ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες κατά τη διάρκεια της πανδημίας, κατέδειξε την κρισιμότητα της έγκαιρης προετοιμασίας και της ικανότητας για γρήγορη αντίδραση. Τα εργαστήρια που επέδειξαν υψηλό επίπεδο ευελιξίας και ανταπόκρισης στην κρίση επιδείκνυαν επίσης μια ισχυρή κουλτούρα βιοασφάλειας, επιτρέποντας την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία τους υπό πίεση. Συνολικά, τα διδάγματα από την ανταπόκριση των εργαστηρίων στην Covid-19 υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή βελτίωση των προτύπων βιοασφάλειας, την ενίσχυση της συνεργασίας και της επικοινωνίας, και τη διαρκή επένδυση στην καινοτομία και την εκπαίδευση σε αυτό τον κρίσιμο τομέα της δημόσιας υγείας.

6.2 Συνεισφορές στο πεδίο και μελλοντικές προεκτάσεις

Οι εξελίξεις στον τομέα της βιοασφάλειας κατά τη διάρκεια και μετά την πανδημία της COVID-19 έχουν υπογραμμίσει τη σημασία της συνεχούς καινοτομίας, έρευνας και ανάπτυξης. Η πανδημία εξέθεσε τόσο τις αδυναμίες όσο και τις δυνατότητες των υπάρχουσών συστημάτων βιοασφάλειας σε εργαστηριακό περιβάλλον, οδηγώντας σε σημαντικές συνεισφορές και προοπτικές για το μέλλον.

Κάθε οργανισμός φιλοδοξεί να προστατεύει τους εργαζόμενους, την κοινότητα και το περιβάλλον από κινδύνους. Τα κλινικά εργαστήρια που διαχειρίζονται επικίνδυνους παράγοντες, όπως μολυσματικοί παράγοντες ή τοξίνες, αντιμετωπίζουν αυξημένο βιολογικό κίνδυνο εκτεθειμένων. Οι εκτιμήσεις κινδύνου είναι επαναλαμβανόμενες διαδικασίες που βοηθούν τα ιδρύματα να κατανοήσουν, να μετριάσουν και κατά συνέπεια να διαχειριστούν τους κινδύνους τους. Πολλοί βιομηχανικοί κλάδοι απαιτούν εκτιμήσεις κινδύνου, ενώ κατευθυντήριες οδηγίες του CDC και του WHO επίσης προτείνουν τη χρήση τέτοιων εκτιμήσεων. Ωστόσο, σε σύγκριση με το πιο παραδοσιακό ερευνητικό περιβάλλον ενός εργαστηρίου, η εκτίμηση των βιοασφαλειών σε ένα κλινικό εργαστήριο παρουσιάζει ξεχωριστές προκλήσεις (*Laboratory Biorisk Management*, 2015; Herstein *et al.*, 2018).

Η εκτίμηση κινδύνου, σε συνδυασμό με τον μετριάσμό του κινδύνου και την αξιολόγηση της επίδοσης, αποτελούν τμήματα ενός συστήματος διαχείρισης βιοκινδύνου. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους οργανισμούς να αναγνωρίζουν, να εκτιμούν και να προτεραιοτοποιούν τους κινδύνους, εφαρμόζοντας τα απαραίτητα μέτρα προστασίας. Η συνεχής αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος βασίζεται στα εφαρμοσμένα μέτρα, διασφαλίζοντας τη συνεχή βελτίωση. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόμενης εκτίμησης, μετριάσμού και αξιολόγησης επίδοσης επιτρέπει στα συστήματα διαχείρισης βιοκινδύνου να ανταποκρίνονται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες ανάγκες βιοασφάλειας. Ως μέσο εντοπισμού πηγών έκθεσης, πρέπει να διεξάγεται μια εκτίμηση κινδύνου για κάθε δραστηριότητα εντός της αλυσίδας διαχείρισης δειγμάτων. Παρόλο που οι περισσότερες μεθοδολογίες εκτίμησης ξεκινούν με τη φύση του μολυσματικού παράγοντα, τα κλινικά εργαστήρια συνήθως αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της αβεβαιότητας για την παρουσία ή την ταυτότητα των παραγόντων αυτών στα δείγματα. Αυτή η αβεβαιότητα δημιουργεί κενά στην εκτίμηση των κινδύνων, προκαλώντας ανησυχίες για την ασφάλεια των εργαζομένων και την προστασία της δημόσιας υγείας (Steelman *et al.*, 2016).

Πρώτον, η εφαρμογή της τεχνολογίας στη βιοασφάλεια έχει διευρύνει τους ορίζοντες και έχει ενισχύσει την ικανότητα ταχείας αντίδρασης σε βιολογικούς κινδύνους. Το digital tracking, οι τεχνολογίες big data και η τεχνητή νοημοσύνη έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην παρακολούθηση της εξάπλωσης του ιού, την εντόπιση εστιών και την πρόγνωση τάσεων. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε μελλοντικά πρωτόκολλα βιοασφάλειας μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την προετοιμασία και την ανταπόκριση σε πανδημίες. Επιπλέον, η πανδημία υπογράμμισε την ανάγκη για διεθνή συνεργασία και διαφάνεια στον τομέα της βιοασφάλειας. Η ανταλλαγή δεδομένων, οι κοινές έρευνες και η διεθνής κινητικότητα των ερευνητών βοήθησαν στην ταχεία ανάπτυξη εμβολίων και θεραπειών. Μελλοντικά, η ενίσχυση των πλατφορμών για διεθνή συνεργασία θα είναι ουσιώδης για την αντιμετώπιση παγκόσμιων κινδύνων βιοασφάλειας.

Επίσης, η εκπαίδευση και η κατάρτιση στη βιοασφάλεια αναδείχθηκαν ως κρίσιμης σημασίας. Η ενημέρωση του προσωπικού εργαστηρίου για τις καλύτερες πρακτικές, τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις και τις προηγμένες τεχνικές ασφαλείας είναι ουσιαστική για τη διασφάλιση της ολοκληρωμένης προστασίας των εργαστηρίων και των κοινοτήτων. Μελλοντικά, οι οργανισμοί θα πρέπει να επενδύσουν περισσότερο στη διαρκή εκπαίδευση και επαγγελματική ανάπτυξη των εργαστηριακών στελεχών. Τέλος, η

επέκταση της έρευνας και ανάπτυξης σε νέα πεδία, όπως η γενετική μηχανική και η συνθετική βιολογία, ανοίγει νέους ορίζοντες για την πρόληψη και την αντιμετώπιση μελλοντικών βιολογικών απειλών. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες εγείρουν επίσης νέα ηθικά, κοινωνικά και πολιτικά ερωτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η προστασία της κοινωνίας από βιολογικούς κινδύνους απαιτεί μια ολοκληρωμένη, προορατική και πολυεπίπεδη προσέγγιση, και η συνεχής έρευνα, καινοτομία και διεθνής συνεργασία θα είναι οι καίριοι παράγοντες για την επίτευξη αυτού του στόχου.

6.3 Περιορισμοί της βιβλιογραφικής έρευνας

Παρά τη συνεχή προσπάθεια για εκτενή και περιεκτική βιβλιογραφική έρευνα, είναι αναπόφευκτο να αντιμετωπιστούν περιορισμοί που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα, την ακρίβεια και την εμπέλεια των ευρημάτων. Ένας από τους κύριους περιορισμούς είναι η διαθεσιμότητα των πηγών. Ενώ το διαδίκτυο και οι ψηφιακές βάσεις δεδομένων παρέχουν πρόσβαση σε μια τεράστια ποσότητα ενημέρωσης, ορισμένες έρευνες, ειδικά παλαιότερες, ενδέχεται να μην είναι προσβάσιμες ηλεκτρονικά ή να υπόκεινται σε περιορισμούς πνευματικών δικαιωμάτων. Επιπλέον, η γλωσσική φραγή είναι ένας άλλος σημαντικός περιορισμός, καθώς ορισμένες επιστημονικές έρευνες που δημοσιεύονται σε άλλες γλώσσες εκτός της αγγλικής μπορεί να μην έχουν μεταφραστεί, περιορίζοντας την πρόσβαση σε πολύτιμες πληροφορίες. Επίσης, η ποιότητα και η αξιοπιστία των πηγών μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά. Οι πληροφορίες από αναθεωρημένα επιστημονικά περιοδικά έχουν διαφορετικό βαθμό αξιοπιστίας σε σύγκριση με άρθρα που δημοσιεύονται σε μη επαγγελματικά blogs ή ιστοσελίδες. Επιπλέον, η επιβεβαίωση των δεδομένων και η ανάλυση των πληροφοριών απαιτεί κριτική σκέψη και προσοχή στο πλαίσιο, τη μεθοδολογία, και τους περιορισμούς της αρχικής έρευνας.

Αναφορές

- Adelodun, B. *et al.* (2020) 'Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: Any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries?', *Science of the Total Environment*, 742, p. 140680. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140680>.
- Ahmed, W. *et al.* (2020) 'First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community', *Science of the Total Environment*, 728. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>.
- Amoah, I.D. *et al.* (2021) 'Detection of SARS-CoV-2 RNA on contact surfaces within shared sanitation facilities', *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 236, p. 113807. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113807>.
- Anfinrud, P. *et al.* (2020) 'Visualizing Speech-Generated Oral Fluid Droplets with Laser Light Scattering', *New England Journal of Medicine*, 382(21), pp. 2061–2063. Available at: <https://doi.org/10.1056/nejmc2007800>.
- Back, J.B. *et al.* (2022) 'Establishing a biosafety plan for a flow cytometry shared resource laboratory', *Cytometry Part A*, 101(5), pp. 380–386. Available at: <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24524>.
- Bahl, P. *et al.* (2022) 'Airborne or Droplet Precautions for Health Workers Treating Coronavirus Disease 2019?', *Journal of Infectious Diseases*. J Infect Dis, pp. 1561–1568. Available at: <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa189>.
- Bakanidze, L., Imnadze, P. and Perkins, D. (2010) 'Biosafety and biosecurity as essential pillars of international health security and cross-cutting elements of biological nonproliferation', *BMC Public Health*. BMC Public Health. Available at: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-S1-S12>.
- Barkham, T.M.S. (2004) 'Laboratory safety aspects of SARS at Biosafety Level 2', in *Annals of the Academy of Medicine Singapore*, pp. 252–256. Available at: <https://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.v33n2p252>.
- Baron, E.J. and Miller, J.M. (2008) 'Bacterial and fungal infections among diagnostic laboratory workers: evaluating the risks', *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 60(3), pp. 241–246. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2007.09.016>.
- Bhattacharya, P. *et al.* (2021) 'Prevalence of SARS-CoV-2 in Communities Through Wastewater Surveillance—a Potential Approach for Estimation of Disease Burden', *Current Pollution Reports*, 7(2), pp. 160–166. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40726-021-00178-4>.
- Borkow, G. *et al.* (2010) 'A novel anti-influenza copper oxide containing respiratory face mask', *PLoS ONE*, 5(6). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011295>.
- Briggs, C.L. (2011) 'Communicating biosecurity', *Medical Anthropology: Cross Cultural Studies in Health and Illness*, 30(1), pp. 6–29. Available at: <https://doi.org/10.1080/01459740.2010.531066>.
- Del Brutto, O.H. *et al.* (2021) 'SARS-CoV-2 RNA in swabbed samples from latrines and flushing toilets: A case-control study in a Rural Latin American Setting', *American Journal*

of *Tropical Medicine and Hygiene*, 104(3), pp. 1045–1047. Available at: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1380>.

Bryan, A. *et al.* (2016) 'Bloodborne viral pathogen contamination in the era of laboratory automation', *Clinical Chemistry*, 62(7), pp. 973–981. Available at: <https://doi.org/10.1373/clinchem.2016.255349>.

Callaway, E. (2020) 'Will the pandemic permanently alter scientific publishing?', *Nature*, 582(7811), pp. 167–168. Available at: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01520-4>.

Campbell, L.D. *et al.* (2012) 'Development of the ISBER best practices for repositories: Collection, storage, retrieval and distribution of biological materials for research', *Biopreservation and Biobanking*. Biopreserv Biobank, pp. 232–233. Available at: <https://doi.org/10.1089/bio.2012.1025>.

Caruso, B.A. and Freeman, M.C. (2020) 'Shared sanitation and the spread of COVID-19: risks and next steps', *The Lancet Planetary Health*. Lancet Planet Health, p. e173. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30086-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30086-3).

Castillo-Salgado, C. (2010) 'Trends and directions of global public health surveillance', *Epidemiologic Reviews*. Epidemiol Rev, pp. 93–109. Available at: <https://doi.org/10.1093/epirev/mxq008>.

CDC (2020) 'Interim Guidelines for Clinical Specimens for COVID-19 | CDC', *Centers for Disease Control and Prevention*, pp. 1–5. Available at: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/lab/guidelines-clinical-specimens.html?fbclid=IwAR1scZnLmHrEChOzF9kY55kMwDI5PvRja2eh2jBKQkRkIVkam-2OM993iSc> (Accessed: 23 October 2023).

Chan, P.K.S. *et al.* (2004) 'Laboratory Diagnosis of SARS', *Emerging Infectious Diseases*, 10(5), pp. 825–831. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid1005.030682>.

Chen, C.C. and Chi, C.Y. (2020) 'Biosafety in the preparation and processing of cytology specimens with potential coronavirus (COVID-19) infection: Perspectives from Taiwan', *Cancer Cytopathology*. Wiley-Blackwell, pp. 309–316. Available at: <https://doi.org/10.1002/cncy.22280>.

Chin, A.W.H. *et al.* (2020) 'Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions', *The Lancet Microbe*. Elsevier, p. e10. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3).

Choy, K.W. (2020) 'Changes in clinical laboratory operations and biosafety measures to mitigate biohazard risks during the COVID-19 pandemic', *The Lancet Microbe*. Elsevier Ltd, pp. e273–e274. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30168-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30168-3).

Chu, D.K.W. *et al.* (2020) 'Molecular Diagnosis of a Novel Coronavirus (2019-nCoV) Causing an Outbreak of Pneumonia', *Clinical Chemistry*, 66(4), pp. 549–555. Available at: <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa029>.

Cornish, N.E. *et al.* (2021) 'Clinical laboratory biosafety gaps: Lessons learned from past outbreaks reveal a path to a safer future', *Clinical Microbiology Reviews*. American Society for Microbiology (ASM). Available at: <https://doi.org/10.1128/CMR.00126-18>.

Cui, J., Li, F. and Shi, Z.L. (2019) 'Origin and evolution of pathogenic coronaviruses', *Nature Reviews Microbiology*. Nat Rev Microbiol, pp. 181–192. Available at:

<https://doi.org/10.1038/s41579-018-0118-9>.

Daughton, C.G. (2012) 'Using biomarkers in sewage to monitor community-wide human health: Isoprostanes as conceptual prototype', *Science of the Total Environment*. Sci Total Environ, pp. 16–38. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.038>.

Deng, S.Q. and Peng, H.J. (2020) 'Characteristics of and public health responses to the coronavirus disease 2019 outbreak in China', *Journal of Clinical Medicine*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available at: <https://doi.org/10.3390/jcm9020575>.

Dhama, K. *et al.* (2020) 'Coronavirus disease 2019–COVID-19', *Clinical Microbiology Reviews*, 33(4), pp. 1–48. Available at: <https://doi.org/10.1128/CMR.00028-20>.

van Doremalen, N. *et al.* (2020) 'Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1', *New England Journal of Medicine*, 382(16), pp. 1564–1567. Available at: <https://doi.org/10.1056/nejmc2004973>.

DU, Q. *et al.* (2020) 'Biosafety in andrology laboratories during the outbreak of COVID-19', *Zhonghua nan ke xue = National journal of andrology*, pp. 219–222. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33346960/> (Accessed: 23 October 2023).

ECDC (2021) 'Infection prevention and control and preparedness for COVID-19 in healthcare settings – Sixth update. 9 February 2021. ECDC: Stockholm; 2021.', *ECDC bulletin* [Preprint], (February). Available at: https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/infection-prevention-and-control-and-preparedness-covid-19-healthcare-settings?fbclid=IwAR1g_8aA0IRcudx3DbqqKseUjez16FTIgA_yRyk5H0dcKIX2ZHIVEjiE3Vc (Accessed: 24 October 2023).

Feng, S. *et al.* (2020) 'Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic', *The Lancet Respiratory Medicine*. Lancet Publishing Group, pp. 434–436. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X).

Fongaro, G. *et al.* (2022) 'SARS-CoV-2 in Human Sewage and River Water from a Remote and Vulnerable Area as a Surveillance Tool in Brazil', *Food and Environmental Virology*, 14(4), pp. 417–420. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12560-021-09487-9>.

Food and Drug Administration (2021) 'N95 Respirators, Surgical Masks, Face Masks, and Barrier Face Coverings', *Official U.S Government* [Preprint]. Available at: <https://www.fda.gov/medical-devices/personal-protective-equipment-infection-control/n95-respirators-surgical-masks-face-masks-and-barrier-face-coverings?fbclid=IwAR0HA6E083f4N8C6U5Pcfm4qnOLwRef3oJH-zWIV4aJUamsZyHKdFP4fXSo> (Accessed: 24 October 2023).

Gao, Q. *et al.* (2020) 'Development of an inactivated vaccine candidate for SARS-CoV-2', *Science*, 369(6499), pp. 77–81. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.abc1932>.

Gardezi, S.A.H. and Ikram, A. (2020) 'Application of biosafety principles in laboratory analysis of clinical samples from patients with COVID-19', *Journal of the Pakistan Medical Association*, 70(5), pp. S48–S51. Available at: <https://doi.org/10.5455/JPMA.10>.

Goff, J. *et al.* (2015) 'Surveillance of acute respiratory infections using community-submitted symptoms and specimens for molecular diagnostic testing', *PLoS Currents*, 7(OUTBREAKS). Available at:

<https://doi.org/10.1371/currents.outbreaks.0371243baa7f3810ba1279e30b96d3b6>.

Gorbalenya, A.E. *et al.* (2020) 'The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2', *Nature Microbiology*. Nature Publishing Group, pp. 536–544. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>.

Greenberg, N. *et al.* (2020) 'Managing mental health challenges faced by healthcare workers during covid-19 pandemic', *The BMJ*. BMJ. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1211>.

Guerrero-Latorre, L. *et al.* (2020) 'SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries', *Science of the Total Environment*, 743. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>.

Gupta, P. (2020) 'Why is SARS-CoV-2 testing not possible in every medical laboratory?', *Indian Journal of Pathology and Microbiology*. Indian J Pathol Microbiol, pp. 173–174. Available at: <https://doi.org/10.4103/0377-4929.282722>.

Gwenzi, W. (2022) 'Wastewater, waste, and water-based epidemiology (WWW-BE): A novel hypothesis and decision-support tool to unravel COVID-19 in low-income settings?', *Science of the Total Environment*. Elsevier, p. 150680. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150680>.

Hackney, R.W. *et al.* (2012) 'Current Trends in Institutional Biosafety Committee Practices', *Applied Biosafety*, 17(1), pp. 11–18. Available at: <https://doi.org/10.1177/153567601201700103>.

Han, Q. *et al.* (2020) 'Coronavirus 2019-nCoV: A brief perspective from the front line', *Journal of Infection*. Elsevier, pp. 373–377. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.02.010>.

Hart, O.E. and Halden, R.U. (2020) 'Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities and challenges', *Science of the Total Environment*, 730, p. 138875. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>.

Herstein, J.J. *et al.* (2018) 'U.s. high-level isolation unit clinical laboratory capabilities update', *Journal of Clinical Microbiology*, 56(2). Available at: <https://doi.org/10.1128/JCM.01608-17>.

Hong, K.H. *et al.* (2020) 'Guidelines for laboratory diagnosis of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Korea', *Annals of Laboratory Medicine*. Korean Society for Laboratory Medicine, pp. 351–360. Available at: <https://doi.org/10.3343/alm.2020.40.5.351>.

Hu, B. *et al.* (2021) 'Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19', *Nature Reviews Microbiology*. Nat Rev Microbiol, pp. 141–154. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>.

Huang, C. *et al.* (2020) 'Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China', *The Lancet*, 395(10223), pp. 497–506. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).

Huang, X. *et al.* (2020) 'Point-of-care testing of MicroRNA based on personal glucose meter and dual signal amplification to evaluate drug-induced kidney injury', *Analytica*

- Chimica Acta*, 1112, pp. 72–79. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.03.051>.
- Hui, D.S. *et al.* (2020) ‘The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health — The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China’, *International Journal of Infectious Diseases*. *Int J Infect Dis*, pp. 264–266. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.009>.
- Hussain, M., Wackerlig, J. and Lieberzeit, P.A. (2013) ‘Biomimetic strategies for sensing biological species’, *Biosensors*. *Biosensors* (Basel), pp. 89–107. Available at: <https://doi.org/10.3390/bios3010089>.
- Iwen, P.C., Stiles, K.L. and Pentella, M.A. (2021) ‘Safety considerations in the laboratory testing of specimens suspected or known to contain the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)’, *Lab Medicine*, 51(3), pp. 239–242. Available at: <https://doi.org/10.1093/LABMED/LMAA018>.
- Jenco, M. (2020) *CDC updates guidance on PPE for health care personnel; COVID-19 declared a pandemic*, *American Academy of Pediatrics News*. Available at: <https://publications.aap.org/aapnews/news/8021?autologincheck=redirected&fbclid=IwAR0e0-jgoB5KODTfJS7nyh3hn95lr9GWIikDFgaiHXER-I4AFauTJWuMq84> (Accessed: 23 October 2023).
- Jones, K.E. *et al.* (2008) ‘Global trends in emerging infectious diseases’, *Nature*, 451(7181), pp. 990–993. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature06536>.
- Karagül, M.S., Saraç, F. and Hasöksüz, M. (2021) ‘Enhanced significance of laboratory biosafety and biosecurity during COVID-19 pandemic’, *Acta Veterinaria Eurasia*. Istanbul University, pp. 108–116. Available at: <https://doi.org/10.5152/ACTAVET.2021.20078>.
- Karthik, K. *et al.* (2020) ‘Biosafety Concerns During the Collection, Transportation, and Processing of COVID-19 Samples for Diagnosis’, *Archives of Medical Research*. Elsevier, pp. 623–630. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2020.08.007>.
- Karwowski, M.P. *et al.* (2014) ‘Clinical Inquiries Regarding Ebola Virus Disease Received by CDC — United States, July 9–November 15, 2014’, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 63(49), p. 1175. Available at: [/pmc/articles/PMC4584543/](https://www.cdc.gov/mmwr/articleresources/resourcelists/2014/s49a1175.htm) (Accessed: 25 October 2023).
- Kasloff, S.B. *et al.* (2021) ‘Stability of SARS-CoV-2 on critical personal protective equipment’, *Scientific Reports*, 11(1), p. 984. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80098-3>.
- Kaufner, A.M. *et al.* (2020) ‘Laboratory biosafety measures involving SARS-CoV-2 and the classification as a Risk Group 3 biological agent’, *Pathology*, 52(7), pp. 790–795. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pathol.2020.09.006>.
- Khosrawipour, V. *et al.* (2020) ‘Failure in initial stage containment of global COVID-19 epicenters’, *Journal of Medical Virology*, 92(7), pp. 863–867. Available at: <https://doi.org/10.1002/jmv.25883>.
- Klompas, M., Morris and Shenoy, E. (2020) ‘Universal masking in hospitals in the COVID-19 era’, *Salud(i)Ciencia*, 24(2), pp. 41–43. Available at: <https://doi.org/10.1056/nejmp2006372>.
- Kolarević, S. *et al.* (2021) ‘Detection of SARS-CoV-2 RNA in the Danube River in Serbia

- associated with the discharge of untreated wastewaters', *Science of the Total Environment*, 783, p. 146967. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146967>.
- Kraemer, M.U.G. *et al.* (2020) 'The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China', *Science*, 368(6490), pp. 493–497. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>.
- Kratzel, A. *et al.* (2020) 'Efficient inactivation of SARS-CoV-2 by WHO-recommended hand rub formulations and alcohols', *bioRxiv*. Cold Spring Harbor Laboratory, p. 2020.03.10.986711. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.03.10.986711>.
- Laboratory Biorisk Management* (2015) *Laboratory Biorisk Management*. CRC Press. Available at: <https://doi.org/10.1201/b18446>.
- Lakoff, A. and Collier, S.J. (2020) 'Biosecurity Interventions: Global Health and Security in Question', *Contemporary Sociology*. Columbia University Press, pp. 334–335. Available at: <https://doi.org/10.1177/0094306120930217a>.
- Lapić, I. *et al.* (2020) 'Covid-19 pandemic once again exposes the weakest link in laboratory services: Specimen delivery', *Lab Medicine*, 51(6), pp. E83–E86. Available at: <https://doi.org/10.1093/LABMED/LMAA081>.
- Leung, C.C., Lam, T.H. and Cheng, K.K. (2020) 'Mass masking in the COVID-19 epidemic: people need guidance', *The Lancet*. Lancet Publishing Group, p. 945. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30520-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30520-1).
- Leung, N.H.L. *et al.* (2020) 'Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks', *Nature Medicine*, 26(5), pp. 676–680. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843-2>.
- Li, Y. *et al.* (2006) 'In vivo protective performance of N95 respirator and surgical facemask', *American Journal of Industrial Medicine*, 49(12), pp. 1056–1065. Available at: <https://doi.org/10.1002/ajim.20395>.
- Liapin, M.N. and Kutyrev, V. V. (2013) 'Actual problems of biosafety.', *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii, i immunobiologii*. Zh Mikrobiol Epidemiol Immunobiol, pp. 97–102. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23805662/> (Accessed: 23 October 2023).
- Lim, C.Y. *et al.* (2020) 'Staff rostering, split team arrangement, social distancing (physical distancing) and use of personal protective equipment to minimize risk of workplace transmission during the COVID-19 pandemic: A simulation study', *Clinical Biochemistry*, 86, pp. 15–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2020.09.003>.
- Lippi, G. *et al.* (2020) 'Biosafety measures for preventing infection from COVID-19 in clinical laboratories: IFCC Taskforce Recommendations', *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. Clin Chem Lab Med, pp. 1053–1062. Available at: <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0633>.
- Lipsitch, M. and Bloom, B.R. (2012) 'Rethinking biosafety in research on potential pandemic pathogens', *mBio*. American Society for Microbiology (ASM). Available at: <https://doi.org/10.1128/mBio.00360-12>.
- Liu, L. *et al.* (2021) 'Pit latrines may be a potential risk in rural China and low-income

countries when dealing with COVID-19', *Science of the Total Environment*, 761. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143283>.

Livingston, E., Desai, A. and Berkwits, M. (2020) 'Sourcing Personal Protective Equipment during the COVID-19 Pandemic', *JAMA - Journal of the American Medical Association*. JAMA, pp. 1912–1914. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.5317>.

Loh, T.P., Horvath, A.R., Wang, C. Bin, Koch, D., Lippi, G., *et al.* (2020) 'Laboratory practices to mitigate biohazard risks during the COVID-19 outbreak: An IFCC global survey', *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. Clin Chem Lab Med, pp. 1433–1440. Available at: <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0711>.

Loh, T.P., Horvath, A.R., Wang, C. Bin, Koch, D., Adeli, K., *et al.* (2020) 'Operational considerations and challenges of biochemistry laboratories during the COVID-19 outbreak: An IFCC global survey', *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58(9), pp. 1441–1449. Available at: <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0710>.

Loibner, M. *et al.* (2021) 'Biosafety Requirements for Autopsies of Patients with COVID-19: Example of a BSL-3 Autopsy Facility Designed for Highly Pathogenic Agents', *Pathobiology*. Karger Publishers, pp. 37–45. Available at: <https://doi.org/10.1159/000513438>.

Long, Y. *et al.* (2022) 'Biosafety risk assessment and risk control of clinical laboratory in designated hospitals for treating COVID-19 in Chongqing, China', *American Journal of Infection Control*, 50(9), pp. 999–1005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.05.028>.

Lu, Y. *et al.* (2021) 'Job burnout and its impact on work ability in biosafety laboratory staff during the COVID-19 epidemic in Xinjiang', *BMC Psychiatry*, 21(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12888-021-03555-x>.

Lui, G. *et al.* (2020) 'SARS-CoV-2 RNA detection on disposable wooden chopsticks, hong kong', *Emerging Infectious Diseases*, 26(9), pp. 2274–2276. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2609.202135>.

Ma, J. *et al.* (2019) 'A polymer dots fluorescent sensor for detection of alkaline phosphatase activity and inhibitor evaluation', *Journal of Materials Science*, 54(13), pp. 10055–10064. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03565-x>.

Ma, Q.X. *et al.* (2020) 'Potential utilities of mask-wearing and instant hand hygiene for fighting SARS-CoV-2', *Journal of Medical Virology*, 92(9), pp. 1567–1571. Available at: <https://doi.org/10.1002/jmv.25805>.

Madad, S. and Spencer, C. (2021) 'The USA's response to the 2014 Ebola outbreak could have informed its COVID-19 response', *The Lancet*. Elsevier, pp. 965–966. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00433-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00433-5).

Maghded, H.S. *et al.* (2020) 'A Novel AI-enabled Framework to Diagnose Coronavirus COVID-19 using Smartphone Embedded Sensors: Design Study', in *Proceedings - 2020 IEEE 21st International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science, IRI 2020*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 180–187. Available at: <https://doi.org/10.1109/IRI49571.2020.00033>.

Mahase, E. (2020a) 'Coronavirus: home testing pilot launched in London to cut hospital

- visits and ambulance use', *BMJ (Clinical research ed.)*, 368, p. m621. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m621>.
- Mahase, E. (2020b) 'Covid-19: UK could delay non-urgent care and call doctors back from leave and retirement', *BMJ (Clinical research ed.)*, 368, p. m854. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m854>.
- Mahlknecht, J. *et al.* (2021) 'The presence of SARS-CoV-2 RNA in different freshwater environments in urban settings determined by RT-qPCR: Implications for water safety', *Science of the Total Environment*, 784, p. 147183. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147183>.
- Matsuo, T. *et al.* (2020) 'Prevalence of Health Care Worker Burnout During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic in Japan', *JAMA network open*, 3(8), p. e2017271. Available at: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.17271>.
- Matthay, M.A., Aldrich, J.M. and Gotts, J.E. (2020) 'Treatment for severe acute respiratory distress syndrome from COVID-19', *The Lancet Respiratory Medicine*. *Lancet Respir Med*, pp. 433–434. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30127-2](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30127-2).
- Maxmen, A. (2021) 'Why did the world's pandemic warning system fail when COVID hit?', *Nature*. *Nature*, pp. 499–500. Available at: <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00162-4>.
- Medema, G., Been, F., *et al.* (2020) 'Implementation of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus to support public health decisions: Opportunities and challenges', *Current Opinion in Environmental Science and Health*. *Curr Opin Environ Sci Health*, pp. 49–71. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.09.006>.
- Medema, G., Heijnen, L., *et al.* (2020) 'Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in the Netherlands', *Environmental Science and Technology Letters*, 7(7), pp. 511–516. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357>.
- Mehta, P. *et al.* (2020) 'COVID-19: consider cytokine storm syndromes and immunosuppression', *The Lancet*. Elsevier, pp. 1033–1034. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30628-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30628-0).
- Meng, X. *et al.* (2020) 'Alert for SARS-CoV-2 infection caused by fecal aerosols in rural areas in China', *Infection Control and Hospital Epidemiology*. *Infect Control Hosp Epidemiol*, p. 987. Available at: <https://doi.org/10.1017/ice.2020.114>.
- Meyerson, L.A. and Reaser, J.K. (2002) 'Biosecurity: Moving toward a comprehensive approach', *BioScience*, pp. 593–600. Available at: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0593:BMTACA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0593:BMTACA]2.0.CO;2).
- Morgantini, L.A. *et al.* (2020) 'Factors contributing to healthcare professional burnout during the COVID-19 pandemic: A rapid turnaround global survey', *PLoS ONE*, 15(9 September). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238217>.
- Mukai, H. and Nakagawa, T. (1996) 'Long and accurate PCR (LA PCR)', *Nippon rinsho. Japanese journal of clinical medicine*, pp. 917–922. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8920650/> (Accessed: 23 October 2023).
- Naeem, W., Zeb, H. and Rashid, M.I. (2022) 'Laboratory biosafety measures of SARS-CoV-2 at containment level 2 with particular reference to its more infective variants', *Biosafety*

- and Health*. Elsevier, pp. 11–14. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2021.12.005>.
- Nolte, K.B. *et al.* (2021) 'Design and construction of a biosafety level 3 autopsy laboratory', *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 145(4), pp. 407–414. Available at: <https://doi.org/10.5858/arpa.2020-0644-sa>.
- Onder, G., Rezza, G. and Brusaferro, S. (2020) 'Case-Fatality Rate and Characteristics of Patients Dying in Relation to COVID-19 in Italy', *JAMA - Journal of the American Medical Association*. American Medical Association, pp. 1775–1776. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4683>.
- Oran, D.P. and Topol, E.J. (2020) 'Prevalence of asymptomatic SARS-CoV-2 infection. A narrative review', *Annals of Internal Medicine*, 173(5), pp. 362–368. Available at: <https://doi.org/10.7326/M20-3012>.
- Orelle, A. *et al.* (2022) 'A Multilingual Tool for Standardized Laboratory Biosafety and Biosecurity Assessment and Monitoring', *Health Security*, 20(6), pp. 488–496. Available at: <https://doi.org/10.1089/hs.2022.0030>.
- Pastorino, B. *et al.* (2020) 'Prolonged Infectivity of SARS-CoV-2 in Fomites', *Emerging infectious diseases*. Emerg Infect Dis. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2609.201788>.
- Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D.E., Grubaugh, N.D., Kaplan, E.H., Casanovas-Massana, A., Ko, A.I., Malik, A.A., Wang, D., Wang, M., Warren, J.L., *et al.* (2020) 'Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics', *Nature Biotechnology*, 38(10), pp. 1164–1167. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0684-z>.
- Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D.E., Grubaugh, N.D., Kaplan, E.H., Casanovas-Massana, A., Ko, A.I., Malik, A.A., Wang, D., Wang, M., Weinberger, D.M., *et al.* (2020) 'SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak dynamics', *medRxiv*, p. 2020.05.19.20105999. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.05.19.20105999>.
- Pedrosa, P.B.S. and Cardoso, T.A.O. (2011) 'Viral infections in workers in hospital and research laboratory settings: A comparative review of infection modes and respective biosafety aspects', *International Journal of Infectious Diseases*. Elsevier, p. e366. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2011.03.005>.
- Peng, H., Bilal, M. and Iqbal, H.M.N. (2018) 'Improved biosafety and biosecurity measures and/or strategies to tackle laboratory-acquired infections and related risks', *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), p. 2697. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph15122697>.
- Petts, D. *et al.* (2021) 'A short history of occupational disease: 1. laboratory-acquired infections', *Ulster Medical Journal*, 90(1), pp. 28–31.
- PHE (2020) *COVID-19: safe handling and processing for samples in laboratories*. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/wuhan-novel-coronavirus-guidance-for-clinical-diagnostic-laboratories/wuhan-novel-coronavirus-handling-and-processing-of-laboratory-specimens?fbclid=IwAR1LANYr8WNI1QeTXRkfs9cP9Fgcb1X9eOPdJCA9AfeaSyPPQhSKtQn>

olns (Accessed: 24 October 2023).

Pickering, B.S. *et al.* (2019) 'The Biosafety Level 4 Zoonotic Laboratory Network (BSL4ZNet): Report of a workshop on live animal handling', *Antiviral Research*. NIH Public Access, p. 104640. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2019.104640>.

Pike, R.M. (1979) 'Laboratory-associated infections: incidence, fatalities, causes, and prevention.', *Annual review of microbiology*. Annu Rev Microbiol, pp. 41–66. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.33.100179.000353>.

Qu, L. *et al.* (2022) 'Circular RNA vaccines against SARS-CoV-2 and emerging variants', *Cell*, 185(10), pp. 1728-1744.e16. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.03.044>.

Richmond, J.Y. *et al.* (2003) 'What's hot in animal biosafety?', *ILAR Journal*, 44(1), pp. 20–27. Available at: <https://doi.org/10.1093/ilar.44.1.20>.

Rimoldi, S.G. *et al.* (2020) 'Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers', *Science of the Total Environment*, 744. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140911>.

Rodino, K.G. *et al.* (2020) 'Evaluation of saline, phosphate-buffered saline, and minimum essential medium as potential alternatives to viral transport media for SARS-CoV-2 testing', *Journal of Clinical Microbiology*. J Clin Microbiol. Available at: <https://doi.org/10.1128/JCM.00590-20>.

Rusnak, J.M. *et al.* (2004) 'Risk of occupationally acquired illnesses from biological threat agents in unvaccinated laboratory workers.', *Biosecurity and bioterrorism : biodefense strategy, practice, and science*, 2(4), pp. 281–293. Available at: <https://doi.org/10.1089/bsp.2004.2.281>.

Rutjes, S.A. *et al.* (2023) 'Biosafety and biosecurity challenges during the COVID-19 pandemic and beyond', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1117316>.

Ryan, S.J. *et al.* (2017) 'Outbreak of zika virus infections, Dominica, 2016', *Emerging Infectious Diseases*. Centers for Disease Control and Prevention, pp. 1926–1927. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2311.171140>.

van der Sande, M., Teunis, P. and Sabel, R. (2008) 'Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population', *PLoS ONE*, 3(7), p. e2618. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002618>.

Santome-Pariona, J. *et al.* (2023) 'Factors Associated with the Level of Knowledge about Biosafety against COVID-19 in Peruvian Dental Students: A Cross-Sectional Study under a Multivariable Regression Model', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(11). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph20115938>.

Sewell, D.L. (1995) 'Laboratory-associated infections and biosafety', *Clinical Microbiology Reviews*, 8(3), pp. 389–405. Available at: <https://doi.org/10.1128/cmr.8.3.389>.

Siles-Garcia, A.A. *et al.* (2021) 'Biosafety for Dental Patients during Dentistry Care after COVID-19: A Review of the Literature', *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. Disaster Med Public Health Prep, pp. e43–e48. Available at: <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.252>.

da Silva, M.A.S. *et al.* (2022) 'Nursing professionals' biosafety in confronting COVID-19',

- Revista Brasileira de Enfermagem*, 75(suppl 1). Available at: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2020-1104>.
- Smith, T.R.F. *et al.* (2020) 'Immunogenicity of a DNA vaccine candidate for COVID-19', *Nature Communications*, 11(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16505-0>.
- Soares, R.C. *et al.* (2021) 'Quality of biosafety guidelines for dental clinical practice throughout the world in the early COVID-19 pandemic: A systematic review', *Epidemiology and Health*. Korean Society of Epidemiology. Available at: <https://doi.org/10.4178/epih.e2021089>.
- Souza, T.M.L. and Morel, C.M. (2021) 'The COVID-19 pandemics and the relevance of biosafety facilities for metagenomics surveillance, structured disease prevention and control', *Biosafety and Health*, 3(1), pp. 1–3. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2020.11.007>.
- Steelman, V.M. *et al.* (2016) 'Surgical specimen management: A descriptive study of 648 adverse events and near misses', *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 140(12), pp. 1390–1396. Available at: <https://doi.org/10.5858/arpa.2016-0021-OA>.
- Street, R. *et al.* (2020) 'Wastewater surveillance for Covid-19: An African perspective', *Science of the Total Environment*, 743, p. 140719. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140719>.
- Sui, Q. *et al.* (2018) 'Differentiable Detection of Volatile Amines with a Viologen-Derived Metal-Organic Material', *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(13), pp. 11056–11062. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsami.8b01314>.
- The First Affiliated Hospital, Z.U.S. of M. (2020) 'Handbook of COVID-19 Prevention and Treatment Compiled According to Clinical Experience', *Covid-19.Conacyt.Mx*, pp. 1–68. Available at: <https://smartnet.niua.org/content/36aa3ff4-fe8f-475a-b5a8-0347d60559e2?fbclid=IwAR0WI4C46QrnkMgBhRckX706IAbjW7HLGzo88yYihV8U24Tt9FuqVobzkF8> (Accessed: 24 October 2023).
- Thornton, J. (2020) 'Don't forget chronic lung and immune conditions during covid-19, says WHO', *BMJ (Clinical research ed.)*, 368, p. m1192. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1192>.
- Ul Islam, S.M.R. *et al.* (2021) 'Challenges in the establishment of a biosafety testing laboratory for COVID-19 in Bangladesh', *Journal of Infection in Developing Countries*, 15(12), pp. 1833–1837. Available at: <https://doi.org/10.3855/jidc.14415>.
- Ulsenheimer, B.C. *et al.* (2022) *General biosafety measures for laboratory environments, outpatient clinics, medical centers, and veterinary hospitals during the SARS-CoV-2 pandemic*, *Brazilian Journal of Microbiology*. Brazilian Society of Microbiology. Available at: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00734-0>.
- Wang, L. *et al.* (2019) 'Nanocarbon materials in water disinfection: State-of-the-art and future directions', *Nanoscale*. The Royal Society of Chemistry, pp. 9819–9839. Available at: <https://doi.org/10.1039/c9nr02007a>.
- Wang, T. *et al.* (2020) 'Comorbidities and multi-organ injuries in the treatment of COVID-19', *The Lancet*. Lancet Publishing Group, p. e52. Available at:

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30558-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30558-4).

Wang, W.K. *et al.* (2004) 'Detection of SARS-associated coronavirus in throat wash and saliva in early diagnosis', *Emerging Infectious Diseases*, 10(7), pp. 1213–1219. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid1007.031113>.

Wang, X. (2020) 'Enhancing the National Biosecurity System in China amidst COVID-19 Epidemic', *Journal of Biosafety and Biosecurity*. Elsevier, pp. 3–4. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbb.2020.03.002>.

Waris, A. *et al.* (2020) 'COVID-19 outbreak: current scenario of Pakistan', *New Microbes and New Infections*. Elsevier, p. 100681. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2020.100681>.

WHO (2011) 'Laboratory biosafety manual', in *SpringerReference*, pp. 1–178. Available at: https://doi.org/10.1007/springerreference_61629.

WHO (2020a) *Laboratory biosafety manual, 4th edition*. Available at: https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311?fbclid=IwAR06_6NIEXk5fQH-QH6gb1alOKdS6FKRugDYlt7pktlGPfq6Tg65nHGIVo (Accessed: 24 October 2023).

WHO (2020b) *Rational use of Personal Protective Equipment for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) and Considerations During Severe Shortages*, World Health Organization. Available at: [https://www.who.int/publications/i/item/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-\(covid-19\)-and-considerations-during-severe-shortages?fbclid=IwAR0OpRzh-QhrhNVc5FDAIWY-fYcMg-8AAL7wf3lfzMjl3YG4PQxtNCoHzCs](https://www.who.int/publications/i/item/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-(covid-19)-and-considerations-during-severe-shortages?fbclid=IwAR0OpRzh-QhrhNVc5FDAIWY-fYcMg-8AAL7wf3lfzMjl3YG4PQxtNCoHzCs) (Accessed: 24 October 2023).

WHO (2020c) *WHO COVID-19 Preparedness and Response Progress Report 1 February to 30 June 2020*, Who. Available at: <https://www.who.int/publications/m/item/who-covid-19-preparedness-and-response-progress-report---1-february-to-30-june-2020?fbclid=IwAR15vaqnbdsCTlkSrDcuxKcMVW0m50-4W3lk13ADMSPwd4ekm7lSnNryarQ> (Accessed: 23 October 2023).

WHO (2021) 'Laboratory biosafety guidance related to coronavirus disease (COVID-19): Interim guidance, 28 January 2021', *WHO Headquarters*, 4(1). Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-WPE-GIH-2021.1> (Accessed: 2 October 2023).

World Health Organization, W. (2020) *Timeline of WHO's response to COVID-19*. Available at: https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/interactive-timeline?fbclid=IwAR2CGO0gCRrN9OX-zTGcRyDbdA82_zSx-fLR85tuKc5xcS3DhPd_Ygzltheo (Accessed: 23 October 2023).

Wu, C. *et al.* (2020) 'Risk Factors Associated with Acute Respiratory Distress Syndrome and Death in Patients with Coronavirus Disease 2019 Pneumonia in Wuhan, China', *JAMA Internal Medicine*, 180(7), pp. 934–943. Available at: <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.0994>.

Wu, J. *et al.* (2020) 'Detection and analysis of nucleic acid in various biological samples of COVID-19 patients', *Travel Medicine and Infectious Disease*. Elsevier, p. 101673. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101673>.

Wu, J.T., Leung, K. and Leung, G.M. (2020) 'Nowcasting and forecasting the potential

- domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study', *The Lancet*, 395(10225), pp. 689–697. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30260-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9).
- Wu, Z. and McGoogan, J.M. (2020) 'Characteristics of and Important Lessons from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72314 Cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention', *JAMA - Journal of the American Medical Association*. American Medical Association, pp. 1239–1242. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648>.
- Wurtz, N. *et al.* (2016) 'Survey of laboratory-acquired infections around the world in biosafety level 3 and 4 laboratories', *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 35(8), pp. 1247–1258. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10096-016-2657-1>.
- Xia, H. *et al.* (2019) 'Biosafety level 4 laboratory user training program, China', *Emerging Infectious Diseases*, 25(5), pp. e1–e4. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2505.180220>.
- Xiaohong, Y. *et al.* (2020) 'A pathological report of three COVID-19 cases by minimal invasive autopsies', *Chinese Journal of Pathology*, 49(5), pp. 411–417. Available at: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112151-20200312-00193>.
- Ye, Q. *et al.* (2022) 'Rational development of a combined mRNA vaccine against COVID-19 and influenza', *npj Vaccines*, 7(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41541-022-00478-w>.
- Yoo, I.Y. *et al.* (2020) 'Comparison between the SFTS-QS Kit and the PowerChek SFTSV real-time PCR kit for the detection of severe fever with thrombocytopenia syndrome virus', *Annals of Laboratory Medicine*, 40(4), pp. 317–320. Available at: <https://doi.org/10.3343/alm.2020.40.4.317>.
- Yu, Y. *et al.* (2020) 'Biosafety materials: An emerging new research direction of materials science from the COVID-19 outbreak', *Materials Chemistry Frontiers*. Royal Society of Chemistry, pp. 1930–1953. Available at: <https://doi.org/10.1039/d0qm00255k>.
- Zhang, D. *et al.* (2020) 'Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of Fangcang Hospital', *Science of the Total Environment*, 741. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140445>.
- Zhang, Y. *et al.* (2022) 'A review of facilities management interventions to mitigate respiratory infections in existing buildings', *Building and Environment*, 221, p. 109347. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109347>.
- Zhou, W. *et al.* (2022) *Biosafety protection and workflow of clinical microbiology laboratory under COVID-19: A review*, *Medicine (United States)*. Wolters Kluwer Health. Available at: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000031740>.
- Zou, L. *et al.* (2020) 'SARS-CoV-2 Viral Load in Upper Respiratory Specimens of Infected Patients', *New England Journal of Medicine*, 382(12), pp. 1177–1179. Available at: <https://doi.org/10.1056/nejmc2001737>.

Πηγές Εικόνων

Εικόνα 1. Ερευνητικό πεδίο της βιοασφάλειας (Yu et al., 2020).....	6
Εικόνα 2. Σχεδιασμός ομόκεντρου δακτυλίου που απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ των ζωνών βιοασφάλειας και της ροής του προσωπικού, των δειγμάτων και των αποβλήτων (Nolte et al., 2021).....	9
Εικόνα 3. Φωτογραφίες του εκπαιδευτικού εργαστηρίου Βιοασφάλειας Επιπέδου 4 (BSL-4) για το Εθνικό Εργαστήριο Βιοασφάλειας της Κίνας (Επίπεδο 4) της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών της Wuhan (Xia et al., 2019).	10
Εικόνα 4. Χρονοδιάγραμμα των βασικών γεγονότων της COVID-19 (Hu et al., 2021).....	18
Εικόνα 5. Κλινικά χαρακτηριστικά της COVID-19 (Hu et al., 2021).....	19
Εικόνα 6. Συσκευασία τριών στρωμάτων για αποστολή μολυσματικών δειγμάτων (Karthik et al., 2020).....	25
Εικόνα 7. Η ιεραρχία των ελέγχων όπως περιγράφεται από το CDC (Cornish et al., 2021)	27
Εικόνα 8. Τρεις διαφορετικοί τύποι ΑΠΕ (Loibner et al., 2021).....	35
Εικόνα 9. Υλικά βιοασφάλειας για ΜΑΠ με αντιμικροβιακή ικανότητα (Yu et al., 2020)..	37
Εικόνα 10. Αναπαράσταση επιδημιολογίας με βάση τα λύματα (Gwenzi, 2022).....	44