



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΓΕΩΝΕΛΛΑΣ ΣΕ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ: ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΩΝ ΥΓΕΙΑΣ»

-Τίτλος στα Αγγλικά-

**«THE MANAGEMENT OF LEGIONELLA IN HOSPITAL
ENVIRONMENTS: IMPACTS ON THE HEALTH OF PATIENTS AND
HEALTH PROFESSIONALS»**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ
ΜΠΑΣΑΚΙΔΗΣ**

ΑΜ : 2219019

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ : ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ,
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ , ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλειο Διαμαντόπουλο, για την εμπιστοσύνη και την ακλόνητη στήριξη που μου προσέφερε κατά την διάρκεια τόσο της φοιτητικής μου πορείας, όσο και της εκπόνησης της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας. Πίστεψε σε μένα και στις δυνατότητές μου από την αρχή και με εφοδίασε με ακριβείς και ουσιαστικές παρατηρήσεις και συμβουλές με τις οποίες κατάφερα να ολοκληρώσω την εργασία μου.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες του Τμήματος και ιδίως τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, κα Λαχανά και κ. Τσιάμη, οι οποίοι, κατά τα χρόνια των σπουδών μου, μου προσέφεραν γνώσεις υψηλού ακαδημαϊκού επιπέδου και μου μεταλαμπάδευσαν την κριτική σκέψη και την επιστημονική δεοντολογία πάνω στην έρευνα. Η επαγγελματική καθοδήγηση όλων των καθηγητών του Τμήματός μας χάραξαν σαφή πορεία για τα επόμενα βήματά μου και τους ευχαριστώ εγκάρδια για το έργο τους.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην μητέρα μου, που με περίσσεια αγάπης μου προσέφερε όλα τα απαραίτητα εφόδια για να προχωρώ καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαιδευτικής μου πορείας. Στήριζε πάντα τις επιλογές μου με εμπιστοσύνη, διακριτική δύναμη και πολλές στερήσεις, με αυτοσκοπό να πετύχω στον επαγγελματικό μου τομέα και να είμαι ευτυχισμένος. Δεν θα βρισκόμουν εδώ χωρίς την πολύτιμη στήριξή της και της αφιερώνω το αποτέλεσμα αυτό με ευγνωμοσύνη και σεβασμό.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία προσεγγίζει σφαιρικά και τεκμηριωμένα τη διαχείριση της λεγεωνέλλας σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα, δίνοντας έμφαση τόσο στο θεωρητικό και μικροβιολογικό υπόβαθρο όσο και σε πρακτικές διαστάσεις πρόληψης και ελέγχου. Αρχικά αναλύονται η επιδημιολογία και η παθογένεια της *Legionella pneumophila*, με αναφορά στους μηχανισμούς μετάδοσης και στους παράγοντες κινδύνου που καθιστούν ευάλωτους πληθυσμούς όπως οι ηλικιωμένοι, οι καπνιστές και οι ανοσοκατεσταλμένοι ασθενείς. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στις συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη του μικροοργανισμού στα υδραυλικά δίκτυα των νοσοκομείων, όπως τα θερμοκρασιακά εύρη, η παρουσία βιοϋμένων και η ανεπάρκεια απολυμαντικού υπολείμματος.

Παρουσιάζονται διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες και πρότυπα (WHO, CDC, ECDC, ASHRAE 188, ISO 11731 και ISO/TS 12869), τα οποία θέτουν τις βάσεις για τον έλεγχο και την πρόληψη της νόσου, σε συνδυασμό με τα Προγράμματα Διαχείρισης Νερού (WSP/WMP) που εισάγουν ένα ολιστικό πλαίσιο εκτίμησης κινδύνου. Επιπλέον, αναλύονται οι μέθοδοι εργαστηριακής ανίχνευσης, από την καλλιέργεια και τις μοριακές τεχνικές (PCR, qPCR), έως τις ταχείες δοκιμασίες ανίχνευσης αντιγόνου, οι οποίες ενισχύουν την ακρίβεια και την ταχύτητα στη διάγνωση.

Παράλληλα, εξετάζονται οι θεραπευτικές επιλογές, με έμφαση στη χρήση μακρολιδών και φθοροκινολονών, φαρμάκων που διαθέτουν αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα στην ενδοκυττάρια δράση έναντι της λεγεωνέλλας, ενώ αναλύονται και οι στρατηγικές πρόληψης και απολύμανσης που εφαρμόζονται σε επίπεδο νοσοκομειακών δομών. Μέσα από τη σύνθεση των επιστημονικών δεδομένων και των διεθνών προτύπων, η εργασία αναδεικνύει την αναγκαιότητα μίας διεπιστημονικής, τεκμηριωμένης και αυστηρά οργανωμένης στρατηγικής διαχείρισης.

Συνολικά, καταδεικνύεται ότι η πρόληψη και ο έλεγχος της λεγεωνέλλας δεν αποτελούν απλώς τεχνική διαδικασία, αλλά κρίσιμο ζήτημα δημόσιας υγείας, το οποίο απαιτεί συνεχή επιτήρηση, συνεργασία πολλών ειδικοτήτων και εναρμόνιση με τις διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια των ασθενών και του προσωπικού στα σύγχρονα νοσοκομεία.

Λέξεις Κλειδιά: Λεγεωνέλλα, Νοσοκομειακά υδραυλικά δίκτυα, Προγράμματα διαχείρισης νερού, Θερμοκρασιακός έλεγχος & απολύμανση, Καλλιέργεια ISO 11731 / qPCR, Κλινική διάγνωση & θεραπεία, Πρόληψη νοσοκομειακών λοιμώξεων

Abstract

This thesis provides a comprehensive and evidence-based approach to the management of *Legionella* in hospital environments, highlighting both the theoretical and microbiological background as well as the practical dimensions of prevention and control. Initially, the epidemiology and pathogenesis of *Legionella pneumophila* are analyzed, with particular focus on transmission mechanisms and risk factors that render vulnerable populations such as the elderly, smokers, and immunocompromised patients more susceptible to infection. Special emphasis is placed on the environmental conditions that favor the proliferation of the microorganism within hospital water distribution systems, including temperature ranges, the presence of biofilms, and insufficient levels of residual disinfectant.

International guidelines and standards (WHO, CDC, ECDC, ASHRAE 188, ISO 11731, and ISO/TS 12869) are presented as the foundation for disease prevention and control, in combination with Water Safety Plans (WSPs) and Water Management Programs (WMPs), which introduce a holistic framework for risk assessment. Furthermore, the study discusses diagnostic methods, ranging from culture-based techniques and molecular approaches (PCR, qPCR) to rapid antigen detection tests, which collectively enhance both the accuracy and timeliness of clinical diagnosis.

Therapeutic options are also explored, with emphasis on macrolides and fluoroquinolones—antibiotics with proven efficacy against intracellular *Legionella*—while strategies for prevention and disinfection within healthcare facilities are reviewed in depth. By synthesizing scientific evidence with international best practices, this thesis underscores the necessity of an interdisciplinary, well-structured, and rigorously implemented management strategy.

Overall, the findings highlight that the prevention and control of *Legionella* are not merely technical procedures, but critical issues of public health that demand continuous surveillance, collaboration among multiple disciplines, and strict alignment with international guidelines, in order to safeguard both patients and healthcare professionals in modern hospital settings.

Key Words : *Legionella*, Hospital water / plumbing networks, Hospital Safety Plans / Water Management Programms (WSP/WMP), Temperature control & disinfection ISO 11731 culture / qPCR, Clinical diagnosis & treatment Prevention of healthcare-associated infections

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη & λέξεις κλειδιά	3
Abstract & keywords.....	4
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1: Μικροβιολογικό και Παθοφυσιολογικό Υπόβαθρο	7
1.1 Μικροβιολογία & Παθογένεση της <i>Legionella pneumophila</i>	7
1.2 Μηχανισμοί Μετάδοσης & Παράγοντες Κινδύνου.....	9
1.3 Συνθήκες Ανάπτυξης & Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....	11
Κεφάλαιο 2: Υποδομές και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι	12
2.1 Νοσοκομειακά Υδραυλικά Δίκτυα – Σημεία Κινδύνου.....	12
2.2 Δειγματοληψία & Επιτόπιοι Έλεγχοι.....	14
Κεφάλαιο 3: Διεθνή Πρότυπα και Εργαστηριακές Μέθοδοι.....	16
3.1 Διεθνή Πρότυπα & Κατευθυντήριες Οδηγίες για τη Διαχείριση της Λεγεωνέλλας.....	16
3.2 Εργαστηριακές Μέθοδοι – ISO 11731	17
3.3 Εργαστηριακές Μέθοδοι – ISO/TS 12869	19
3.4 Κλινική Διάγνωση & Διαγνωστικές Δοκιμές.....	20
Κεφάλαιο 4: Κλινική Διαχείριση & Θεραπευτικές Προσεγγίσεις.....	21
4.1 Θεραπευτικές Στρατηγικές.....	21
4.2 Μέτρα Ελέγχου & Απολύμανσης σε Νοσοκομεία.....	22
4.3 Στρατηγικές WSP / WMP για τον Έλεγχο της Λεγεωνέλλας	23
Συμπεράσματα.....	25
Βιβλιογραφία.....	26

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεγεωνέλλωση συγκαταλέγεται μεταξύ των πιο διεξοδικά μελετημένων υδατογενών λοιμώξεων και κατέχει ιδιαίτερη βαρύτητα σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα, όπου νοσηλεύονται ομάδες ασθενών με αυξημένη ευαλωτότητα. Το παθογόνο αίτιο, η *Legionella pneumophila*, είναι ένα Gram-αρνητικό βακτήριο που ταυτοποιήθηκε το 1976, έπειτα από την επιδημική έξαρση σε συνέδριο βετεράνων της Αμερικανικής Λεγεώνας στη Φιλαδέλφεια, γεγονός που σηματοδότησε την πρώτη περιγραφή της «Νόσου των Λεγεωναρίων». Έκτοτε, η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει αφιερώσει εκτεταμένη έρευνα για τη μελέτη της βιολογίας, της παθογένειας αλλά και της υγειονομικής σημασίας του μικροοργανισμού.

Κλινικά, η νόσος μπορεί να εμφανιστεί ως σοβαρή μορφή πνευμονίας, με υψηλά ποσοστά νοσηρότητας και θνητότητας, ή ως πιο ήπιο εμπύρετο σύνδρομο, γνωστό ως πυρετός Pontiac. Η μετάδοση πραγματοποιείται κυρίως μέσω της εισπνοής αερολυμάτων που προέρχονται από μολυσμένα δίκτυα νερού, όπως ντους, βρύσες, πύργοι ψύξης και ιατρικές συσκευές, ενώ δεν έχει τεκμηριωθεί έως σήμερα διαπροσωπική μετάδοση. Ο κίνδυνος μόλυνσης αυξάνει σε άτομα με συγκεκριμένους παράγοντες κινδύνου, όπως η ηλικία άνω των 50 ετών, το κάπνισμα, μία χρόνια πνευμονοπάθεια, νεφρική ή ηπατική νόσος, καθώς και η ανοσοκαταστολή. Ως εκ τούτου, οι νοσοκομειακοί χώροι αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμα περιβάλλοντα για την εμφάνιση της νόσου. Η ανάπτυξη του βακτηρίου ευνοείται από συνθήκες όπως θερμοκρασιακά εύρη 20–45°C, παρουσία στάσιμων τμημάτων σε υδραυλικά δίκτυα και χαμηλά ή ασταθή επίπεδα απολυμαντικού υπολείμματος. Για την αντιμετώπιση αυτών των παραγόντων έχουν θεσπιστεί διεθνή πρότυπα και οδηγίες, τα οποία θέτουν σαφείς παραμέτρους ελέγχου μέσω των Προγραμμάτων Διαχείρισης Νερού (WSP/WMP). Στα μέτρα που εφαρμόζονται περιλαμβάνονται η θερμική και χημική απολύμανση, η βελτίωση του σχεδιασμού των δικτύων, καθώς και η συνεχής εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του νοσοκομειακού προσωπικού.

Η εργαστηριακή διάγνωση βασίζεται κυρίως στην καλλιέργεια, όπως ορίζεται από το πρότυπο ISO 11731, αλλά και σε μοριακές μεθόδους όπως η PCR και η qPCR, που εξασφαλίζουν ταχεία και ευαίσθητη ανίχνευση. Συμπληρωματικά, η κλινική διερεύνηση υποστηρίζεται από τη δοκιμασία ανίχνευσης αντιγόνου στα ούρα (UAT). Η θεραπευτική αντιμετώπιση στηρίζεται στη χορήγηση μακρολιδών ή φθοριοκινολονών, με την επιλογή να διαφοροποιείται ανάλογα με τη βαρύτητα του περιστατικού και τη συνολική κατάσταση του ασθενούς.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τη διαχείριση της λεγεωνέλλας σε νοσοκομειακά δίκτυα μέσα από μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, που αναδεικνύει τόσο τις μικροβιολογικές και κλινικές πτυχές όσο και τις στρατηγικές πρόληψης και ελέγχου βάσει διεθνών προτύπων. Επιπλέον, ενσωματώνει δεδομένα από επιτόπιες δειγματοληψίες και αξιολογεί την εφαρμογή μέτρων ασφαλείας στα ελληνικά νοσοκομεία. Στόχος είναι να αναδειχθεί η αξία μιας διεπιστημονικής και τεκμηριωμένης στρατηγικής, που διασφαλίζει την προστασία τόσο των ασθενών όσο και του προσωπικού.

Κεφάλαιο 1: Μικροβιολογικό και Παθοφυσιολογικό Υπόβαθρο

1.1 Μικροβιολογία & Παθογένεση της *Legionella pneumophila*

Η *Legionella pneumophila* αποτελεί Gram-αρνητικό, αερόβιο βακτήριο με αξιοσημείωτες προσαρμοστικές ικανότητες, το οποίο κατατάσσεται στην οικογένεια Legionellaceae και περιλαμβάνει περισσότερα από 60 αναγνωρισμένα είδη και περίπου 70 οροομάδες. Μεταξύ αυτών, η οροομάδα 1 συνδέεται με την πλειονότητα των λοιμώξεων στον άνθρωπο, γεγονός που της αποδίδει ιδιαίτερη κλινική βαρύτητα (Fields et al., 2002). Στο φυσικό περιβάλλον ανιχνεύεται κυρίως σε λίμνες, ποτάμια και εδάφη, ωστόσο η επιδημιολογική της σημασία αναδεικνύεται όταν αποικίζει τεχνητά υδροδοτικά συστήματα, όπως τα δίκτυα ύδρευσης μεγάλων κτιρίων και ιδιαίτερα των νοσοκομείων. Σε αυτά τα συστήματα, η παρουσία βιοϋμένων, οργανικής ύλης και ανεπαρκών παραμέτρων απολύμανσης δημιουργεί συνθήκες που ευνοούν τον πολλαπλασιασμό του βακτηρίου, ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 45 °C (WHO, 2007).

Μορφολογικά, το βακτήριο εμφανίζεται ως λεπτό ραβδί με κινητικότητα που οφείλεται στην παρουσία μαστιγίου, ενώ το περίπλοκο κυτταρικό του τοίχωμα το καθιστά ανθεκτικό σε διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις και σε συνθήκες περιορισμένων θρεπτικών παραγόντων (Atlas, 1999). Το παθογόνο έχει αναπτύξει ιδιαίτερους μηχανισμούς επιβίωσης, οι οποίοι του προσδίδουν σημαντικό πλεονέκτημα τόσο στο περιβάλλον όσο και στον ξενιστή. Κρίσιμος είναι ο μηχανισμός ενδοκυττάριας παραμονής: μετά την εισπνοή μολυσμένων αερολυμάτων και την εγκατάσταση στους πνεύμονες, το βακτήριο φαγοκυτταρώνεται από μονοκύτταρα και μακροφάγα. Αντί να καταστραφεί, χρησιμοποιεί το εξειδικευμένο σύστημα έκκρισης τύπου IV (Dot/Icm T4SS) προκειμένου να παρεμποδίσει τη φυσιολογική σύντηξη φαγοσωμάτων και λυσοσωμάτων (Isberg, O'Connor, & Heidtman, 2009).

Έτσι δημιουργείται ένα ιδιαίτερο ενδοκυττάριο διαμέρισμα, γνωστό ως *Legionella-containing vacuole* (LCV), το οποίο τροποποιείται ώστε να μιμείται κυστίδια του ενδοπλασματικού δικτύου του ξενιστή. Στο προστατευμένο αυτό περιβάλλον, η *L. pneumophila* πολλαπλασιάζεται εντατικά, αξιοποιώντας τα θρεπτικά συστατικά του κυττάρου μέχρι να προκαλέσει τη λύση του και την απελευθέρωση νέων βακτηρίων (Isberg et al., 2009). Παράλληλα, η παθογένεια ενισχύεται από ποικιλία λοιμογόνων παραγόντων, όπως οι θερμοανθεκτικές πρωτεΐνες shock (Hsp60, Hsp70), οι λιποπολυσακχαρίτες του εξωτερικού τοιχώματος που διεγείρουν έντονη

φλεγμονώδη αντίδραση, καθώς και ένζυμα που διαταράσσουν τη σταθερότητα των κυτταρικών μεμβρανών (Whiley & Taylor, 2016).

Η αλληλεπίδραση της *Legionella* με περιβαλλοντικές αμοιβάδες λειτουργεί ως «εκπαιδευτικό υπόβαθρο» για την ενδοκυττάρια ανάπτυξή της, ενισχύοντας την προσαρμοστικότητα και την παθογένεια έναντι των ανθρώπινων μακροφάγων (Atlas, 1999). Οι μηχανισμοί αυτοί εξηγούν γιατί η εξάλειψη του βακτηρίου από τεχνητά υδατικά δίκτυα είναι δυσχερής, παρά την εφαρμογή απολυμαντικών πρακτικών, καθώς προστατεύεται εντός βιοϋμένων και αμοιβάδων.



Εικόνα 2

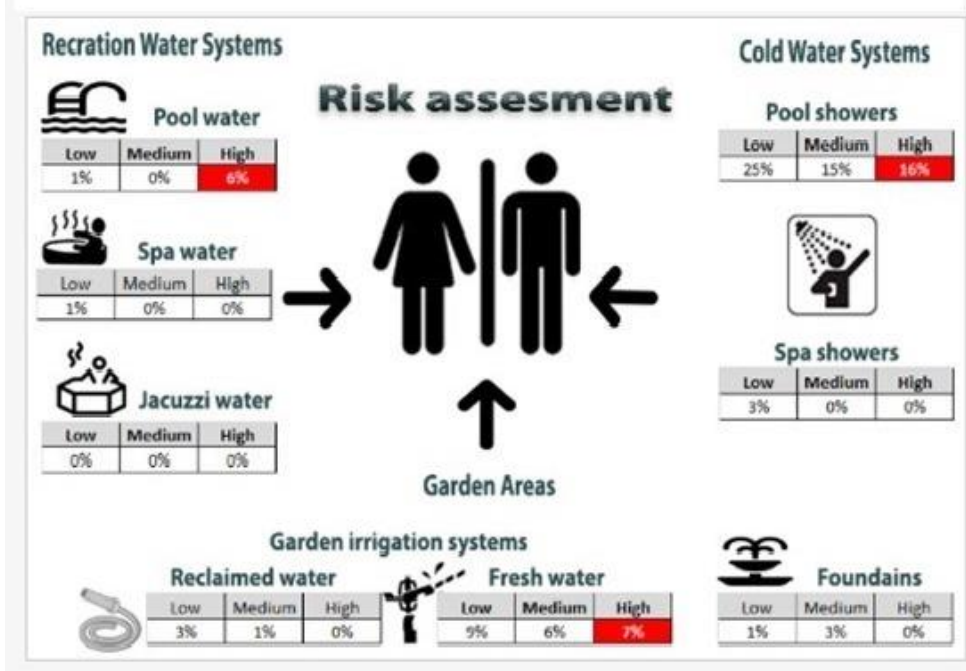
Οι συνέπειες αυτής της βιολογικής στρατηγικής εκδηλώνονται κλινικά κυρίως ως σοβαρή πνευμονία, γνωστή ως «Νόσος των Λεγεωναρίων», που χαρακτηρίζεται από υψηλό πυρετό, βήχα, δύσπνοια και συχνά εξωπνευμονικές εκδηλώσεις όπως γαστρεντερικές ή νευρολογικές διαταραχές (Cunha, Burillo, & Bouza, 2016). Παράλληλα, υπάρχουν και ηπιότερες μορφές, όπως ο πυρετός Pontiac. Η κατανόηση των μηχανισμών μικροβιολογίας και παθογένεσης της *L. pneumophila* είναι θεμελιώδους σημασίας όχι μόνο για την ακριβή κλινική διάγνωση και θεραπεία, αλλά και για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και ελέγχου σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα όπου φιλοξενούνται ασθενείς υψηλού κινδύνου (WHO, 2007; CDC, 2021). (Fields et al., 2002; WHO, 2007; Atlas, 1999; Isberg et al., 2009; Whiley & Taylor, 2016; Cunha et al., 2016; CDC, 2021)

1.2 Μηχανισμοί Μετάδοσης & Παράγοντες Κινδύνου

Η λεγεωνέλλωση αποτελεί μια τυπική υδατογενή λοίμωξη που προκαλείται κυρίως από το βακτήριο *Legionella pneumophila*, το οποίο έχει την ικανότητα να εγκαθίσταται και να πολλαπλασιάζεται σε τεχνητά συστήματα νερού. Ο βασικός μηχανισμός μετάδοσης είναι η εισπνοή αερολυμάτων που παράγονται από συνηθισμένες εγκαταστάσεις, όπως ντους, βρύσες, υγραντήρες, συστήματα ψύξης και ιατρικούς νεφελοποιητές. Η μόλυνση μέσω εισρόφησης μολυσμένου νερού έχει επίσης καταγραφεί, αλλά θεωρείται πολύ λιγότερο συχνή. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των περιπτώσεων είναι η προέλευση από το περιβάλλον, καθώς μέχρι σήμερα δεν έχει τεκμηριωθεί μετάδοση από άνθρωπο σε άνθρωπο (WHO, 2007; CDC, 2021).

Οι ευπαθείς ομάδες περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο ηλικιωμένα άτομα, καπνιστές και ασθενείς με Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια, στους οποίους οι βλάβες του αναπνευστικού βλεννογόνου και η μειωμένη αναπνευστική εφεδρεία διευκολύνουν την εγκατάσταση της λοίμωξης. Εξίσου σημαντικό κίνδυνο διατρέχουν οι ανοσοκατεσταλμένοι ασθενείς, είτε λόγω φαρμακευτικών αγωγών (π.χ. κορτικοστεροειδή, χημειοθεραπείες, βιολογικοί παράγοντες) είτε λόγω υποκείμενων νοσημάτων, όπως αιματολογικές κακοήθειες ή HIV λοίμωξη, τα οποία περιορίζουν τη φυσιολογική άμυνα έναντι ενδοκυττάρων παθογόνων. Επιπλέον, η παρουσία χρόνιων νεφρικών παθήσεων και ηπατικών δυσλειτουργιών έχει αναγνωριστεί ως παράγοντας που αυξάνει την ευπάθεια, καθώς συνοδεύεται από συστηματική ανοσοκαταστολή και μειωμένη κάθαρση τοξικών ουσιών (Cunha et al., 2016).

Legionella spp. Εκτίμηση κινδύνων σε χώρους ψυχαγωγίας και κήπου ξενοδοχείων <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/4/598/htm>



Εικόνα 3

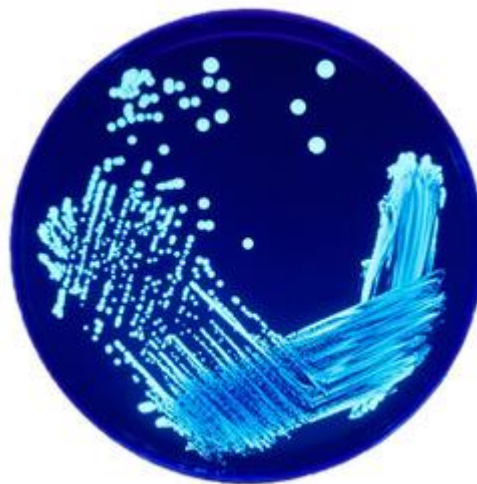
Πέρα από τα χαρακτηριστικά των ασθενών, καθοριστικό ρόλο έχουν οι παράμετροι του ίδιου του συστήματος ύδρευσης. Οι λεγόμενες «νεκρές καταλήξεις» ή τα τμήματα σωληνώσεων με μειωμένη ή ανύπαρκτη ροή νερού αποτελούν σημεία υψηλού κινδύνου, καθώς προάγουν τη δημιουργία βιοϋμένων και την ταχεία απώλεια του απολυμαντικού, δημιουργώντας μικρο-οικοσυστήματα ιδανικά για τον πολλαπλασιασμό της *Legionella* (Whiley & Taylor, 2016). Η διατήρηση του νερού σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 45 °C θεωρείται το πλέον ευνοϊκό θερμοκρασιακό εύρος, με το μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης γύρω στους 35 °C. Αντιθέτως, θερμοκρασίες άνω των 60 °C οδηγούν σταδιακά στην αδρανοποίηση του βακτηρίου, ενώ κάτω από 20 °C η ανάπτυξη του περιορίζεται σημαντικά (WHO, 2007; ECDC, 2017). Η έλλειψη σταθερών και επαρκών συγκεντρώσεων υπολειμματικού χλωρίου ή μονοχλωραμίνης, είτε λόγω κακής τεχνικής διαχείρισης είτε λόγω ακατάλληλου υδραυλικού σχεδιασμού, ενισχύει περαιτέρω την ικανότητα αποικισμού.

Η κατανόηση αυτών των αλληλεπιδρώντων παραγόντων, τόσο των ατομικών χαρακτηριστικών των ασθενών όσο και των περιβαλλοντικών συνθηκών των συστημάτων ύδρευσης, είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη και εφαρμογή στρατηγικών

πρόληψης. Η εφαρμογή συστηματικών ελέγχων, η σωστή συντήρηση των εγκαταστάσεων, η παρακολούθηση θερμοκρασιών και απολυμαντικών παραμέτρων, καθώς και η εκπαίδευση του υγειονομικού προσωπικού αποτελούν τα θεμέλια για την αποτελεσματική προστασία ευπαθών πληθυσμών και τον περιορισμό της νοσοκομειακής λεγεωνέλλωσης (CDC, 2021; ECDC, 2017). (WHO, 2007; CDC, 2021; ECDC, 2017; Fields et al., 2002; Cunha et al., 2016; Whiley & Taylor, 2016)

1.3 Συνθήκες Ανάπτυξης & Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Η ανάπτυξη και ο έλεγχος της *Legionella pneumophila* στα συστήματα ύδρευσης των νοσοκομείων και άλλων μεγάλων εγκαταστάσεων αποτελούν πολυσύνθετη διαδικασία, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τρεις καθοριστικούς άξονες: τη θερμοκρασία, την παρουσία επαρκούς υπολειμματικού απολυμαντικού και τον ορθολογικό υδραυλικό σχεδιασμό. Η μικροβιολογική συμπεριφορά του βακτηρίου έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένων μελετών, οι οποίες έχουν αποδείξει ότι ο μικροοργανισμός ευδοκιμεί σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδίως όταν συνδυάζεται η ύπαρξη βιοϋμένων με τμήματα του δικτύου όπου η ροή του νερού είναι μειωμένη ή ανύπαρκτη. Εφόσον οι παράμετροι αυτοί δεν τεθούν υπό έλεγχο, τα νοσοκομειακά δίκτυα μπορούν να λειτουργήσουν ως σημαντικές δεξαμενές κινδύνου, αυξάνοντας τον κίνδυνο επιδημικών εξάρσεων μεταξύ των ευάλωτων ασθενών.



Εικόνα 4

Η θερμοκρασία θεωρείται ο σημαντικότερος φυσικός παράγοντας για τον πολλαπλασιασμό ή την αναστολή του βακτηρίου. Η *L. pneumophila* αναπτύσσεται ταχύτερα μεταξύ 20 και 45 °C, με ιδανικό εύρος γύρω στους 35 °C. Σε θερμοκρασίες κάτω από 20 °C η ανάπτυξή της περιορίζεται, ενώ η παραμονή του νερού σε

θερμοκρασίες άνω των 60 °C οδηγεί σε ταχεία αδρανοποίηση του μικροοργανισμού. Για τον λόγο αυτόν, διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες, όπως εκείνες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και του CDC, προτείνουν συγκεκριμένα όρια: αποθήκευση ζεστού νερού σε δεξαμενές ≥ 60 °C, διανομή του στους χρήστες σε ≥ 50 –55 °C, ενώ το ψυχρό νερό πρέπει να διατηρείται κάτω από 20 °C, ώστε να αποτρέπεται η ανάπτυξη του βακτηρίου (WHO, 2011; CDC, 2021).

Παράλληλα, καθοριστική σημασία έχει η διατήρηση επαρκούς υπολειμματικού απολυμαντικού στο σύστημα ύδρευσης. Η παρουσία ελεύθερου χλωρίου σε συγκεντρώσεις 0,2–0,5 mg/L ή εναλλακτικά μονοχλωραμίνης, σύμφωνα με τις εθνικές και διεθνείς προδιαγραφές, δρα ανασταλτικά στον σχηματισμό βιοϋμένων και μειώνει την ικανότητα του βακτηρίου να αποικίζει τους σωλήνες. Η σταθερότητα των συγκεντρώσεων αυτών, η συνεχής παρακολούθησή τους και η προσαρμογή στις ιδιαιτερότητες κάθε συστήματος αποτελούν βασικό στοιχείο κάθε ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης νερού (ECDC, 2017; ASHRAE, 2018).

Τέλος, ο σωστός υδραυλικός σχεδιασμός διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση ισορροπίας σε όλο το δίκτυο. Σημεία με χαμηλή ροή, τυφλά άκρα («νεκρές καταλήξεις») και τμήματα με ανεπαρκή θερμομόνωση οδηγούν σε διακυμάνσεις θερμοκρασίας που τοποθετούν το νερό εντός του εύρους ανάπτυξης της *Legionella* και ταυτόχρονα ευνοούν την αποδόμηση του απολυμαντικού. Η πρόληψη αυτών των φαινομένων βασίζεται σε πρακτικές όπως η εξασφάλιση ισορροπίας στα κυκλώματα, η σωστή θερμομόνωση και η τακτική εκκένωση σημείων με σπάνια χρήση (Rhoads et al., 2015; Whiley & Taylor, 2016).

Συνεπώς, η αποτελεσματική πρόληψη της λεγεωνέλλας προϋποθέτει την αυστηρή εφαρμογή ενός τριπλού πλαισίου: διατήρηση ασφαλών θερμοκρασιών, σταθερή παρουσία υπολειμματικού απολυμαντικού και ολοκληρωμένο υδραυλικό σχεδιασμό. Οι τρεις αυτοί πυλώνες συνιστούν τον θεμέλιο λίθο των διεθνών προτύπων και κατευθυντήριων οδηγιών και αποτελούν απαραίτητη συνθήκη για τη διασφάλιση της ασφάλειας των νοσοκομειακών υδάτων (WHO, 2011; CDC, 2021; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018). (WHO, 2007; WHO, 2011; CDC, 2021; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018; Rhoads et al., 2015; Whiley & Taylor, 2016)

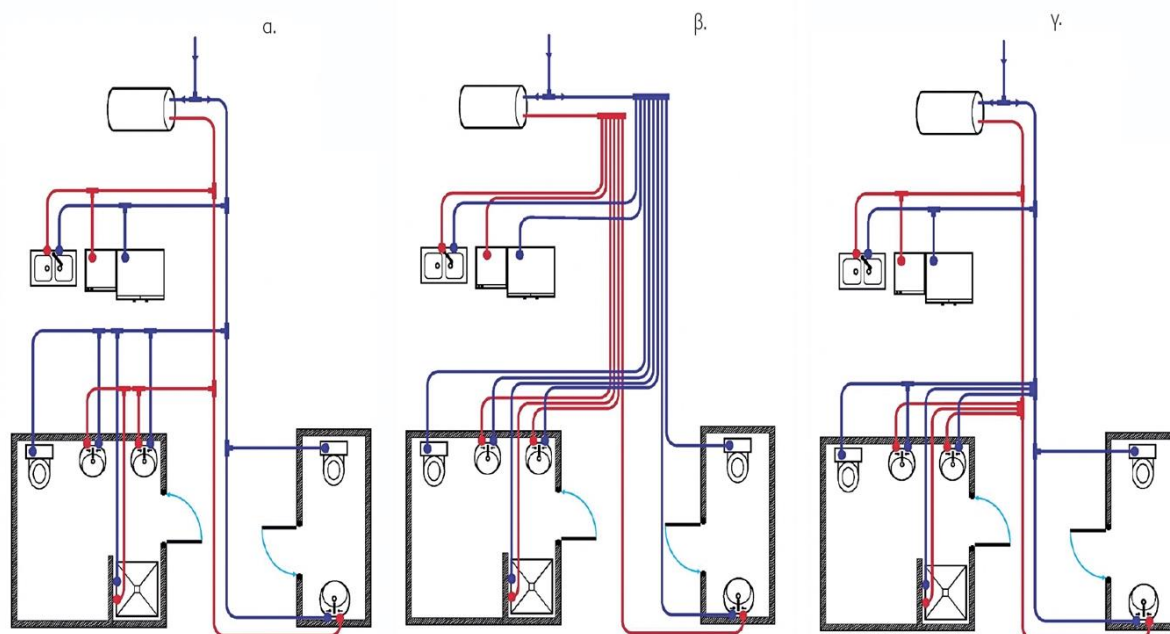
Κεφάλαιο 2: Υποδομές και Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι

2.1 Νοσοκομειακά Υδραυλικά Δίκτυα - Σημεία Κινδύνου.

Η διαχείριση της λεγεωνέλλας στα νοσοκομειακά δίκτυα ύδρευσης είναι ιδιαίτερα απαιτητική λόγω της πολυπλοκότητας, της εκτεταμένης διασύνδεσης και της συνεχούς χρήσης τους από πληθυσμούς υψηλού κινδύνου. Η φύση αυτών των συστημάτων δημιουργεί μικρο-οικοσυστήματα που συχνά διευκολύνουν τον μικροβιακό πολλαπλασιασμό. Μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης και εκτεταμένα δίκτυα σωληνώσεων επιτρέπουν στο νερό να παραμένει για μεγάλα χρονικά διαστήματα εντός της θερμοκρασιακής ζώνης ανάπτυξης της *L. pneumophila* (20–45 °C). Ακόμη και μικρές αποκλίσεις θερμοκρασίας μπορούν να διαταράξουν την ισορροπία μεταξύ αποτελεσματικού ελέγχου και επιμόλυνσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών κατάλληλων για τον πολλαπλασιασμό του βακτηρίου, ιδίως σε επιφάνειες που φιλοξενούν βιοϋμένες ή σε τμήματα με μειωμένη ροή (WHO, 2007; ECDC, 2017).

Η παρουσία και η σταθερότητα του υπολειμματικού απολυμαντικού αποτελεί εξίσου κρίσιμη παράμετρο. Σε στάσιμα τμήματα, το χλώριο καταναλώνεται ταχύτερα λόγω αλληλεπίδρασης με οργανική ύλη, μέταλλα και βιοϋμένες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωσή του και να δημιουργούνται «νησίδες» όπου η απολύμανση δεν είναι επαρκής. Οι βιοϋμένες λειτουργούν ως προστατευτικός φραγμός για το βακτήριο, περιορίζοντας τη δράση των απολυμαντικών και επιτρέποντας τη μακροχρόνια επιβίωσή του σε δύσκολες συνθήκες (Whiley & Taylor, 2016). Το πρόβλημα εντείνεται όταν το απολυμαντικό δεν αναπληρώνεται επαρκώς, γεγονός που παρατηρείται συχνά σε δεξαμενές και σε απομακρυσμένα σημεία του δικτύου (CDC, 2021).

Ο υδραυλικός σχεδιασμός είναι ο τρίτος θεμελιώδης παράγοντας. Συστήματα με τυφλές καταλήξεις, κακή θερμομόνωση ή έλλειψη ισορροπίας στην κατανομή της ροής συμβάλλουν στην ανάπτυξη μικροβιακών εστιών. Σημεία που χρησιμοποιούνται σπάνια –όπως απομονωμένες βρύσες, ντους σε κλειστές πτέρυγες ή σπάνια ενεργοποιούμενες παροχές– λειτουργούν ως δεξαμενές αποικισμού. Όταν τεθούν ξανά σε χρήση, μπορούν να απελευθερώσουν μεγάλες συγκεντρώσεις βακτηρίων υπό μορφή αερολυμάτων, αυξάνοντας τον κίνδυνο μόλυνσης. Επιπλέον, οι πύργοι ψύξης, τα κεντρικά κλιματιστικά συστήματα και οι δεξαμενές αποθήκευσης αποτελούν σύνθετα περιβάλλοντα, όπου η συνύπαρξη ευνοϊκών θερμοκρασιών, αερισμού και περιοδικής στασιμότητας επιτείνει τον κίνδυνο (Rhoads et al., 2015).



Εικόνα 5

Για τον λόγο αυτόν, η διασφάλιση της υγιεινής των υδραυλικών συστημάτων σε νοσοκομεία δεν μπορεί να περιοριστεί σε μεμονωμένα μέτρα, αλλά απαιτεί συνδυασμό στρατηγικών: συστηματικό θερμοκρασιακό έλεγχο, συνεχή παρακολούθηση και διατήρηση απολυμαντικών σε κατάλληλα επίπεδα, καθώς και προσεκτικό υδραυλικό σχεδιασμό που αποτρέπει σημεία στασιμότητας και προάγει την ομοιόμορφη κυκλοφορία του νερού. Η χαρτογράφηση των σημείων κινδύνου και η τακτική τους αξιολόγηση αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο των διεθνών προγραμμάτων διαχείρισης νερού (WHO, 2017; CDC, 2021; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018), τα οποία αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας επιμόλυνσης και στην προστασία τόσο των ασθενών όσο και του υγειονομικού προσωπικού. (WHO, 2007; WHO, 2017; CDC, 2021; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018; Whiley & Taylor, 2016; Rhoads et al., 2015)

2.2 Δειγματοληψία & Επιτόπιοι έλεγχοι

Η διαδικασία δειγματοληψίας νερού για την ανίχνευση της *Legionella* spp. αποτελεί καθοριστικό στάδιο στη διαχείριση του κινδύνου και απαιτεί αυστηρή τήρηση διεθνών υγειονομικών πρωτοκόλλων, ώστε να διασφαλίζεται τόσο η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων όσο και η ασφάλεια του προσωπικού. Τα σημεία δειγματοληψίας περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις που σχετίζονται με τη δημιουργία αερολυμάτων, όπως ντους, βρύσες ζεστού και πόσιμο νερού, ψύκτες, δεξαμενές αποθήκευσης και πύργους ψύξης. Αυτά τα τμήματα των δικτύων αποτελούν εστίες υψηλού κινδύνου, δεδομένου ότι συνδυάζουν παράγοντες όπως θερμοκρασιακή διακύμανση, περιορισμένη ροή και πιθανή συσσώρευση βιοϋμένων (WHO, 2017; CDC, 2021).

Πριν από κάθε δειγματοληψία, εφαρμόζονται μέτρα ατομικής προστασίας, μεταξύ των οποίων γάντια μιας χρήσης, μάσκα προστασίας και απολύμανση με αλκοολούχο διάλυμα, ώστε να αποτραπεί η επιμόλυνση του δείγματος αλλά και η πιθανή έκθεση του δειγματολήπτη. Η συλλογή γίνεται σε αποστειρωμένα δοχεία 250 mL, στα οποία συχνά προστίθεται θειοθειικό νάτριο με σκοπό την εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου και

τη διατήρηση της βιωσιμότητας του μικροοργανισμού έως την ανάλυση (ISO 11731:2017; Bartram et al., WHO 2007). Κατά την πλήρωση των δοχείων, η δημιουργία φυσαλίδων αποτελεί ένδειξη που μπορεί, σε εργαστηριακό στάδιο, να συνδεθεί με βακτηριακή δραστηριότητα και ανάπτυξη εντός του δείγματος.



Εικόνα 6

Η θερμοκρασία του νερού μετράται επιτόπου με θερμόμετρο ακριβείας, καθώς αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την ανάπτυξη του βακτηρίου. Η *Legionella* αναπτύσσεται στο εύρος 20–45 °C, με βέλτιστη δραστηριότητα γύρω στους 35 °C, ενώ αδρανοποιείται σε θερμοκρασίες >60 °C και περιορίζεται κάτω από τους 20 °C (WHO, 2011). Η άμεση μέτρηση πριν από τη συλλογή διασφαλίζει την καταγραφή της πραγματικής θερμικής κατάστασης του δικτύου, είτε πρόκειται για κρύο είτε για ζεστό νερό. Στη συνέχεια, μετράται η συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου με τη χρήση φορητού φωτομέτρου και αντιδραστηρίων, καθώς τα επίπεδα του απολυμαντικού αποτελούν βασικό δείκτη μικροβιολογικής ασφάλειας. Οι διεθνείς οδηγίες θεωρούν ως ενδεδειγμένο εύρος τα 0,2–0,5 mg/L, καθώς υψηλότερες συγκεντρώσεις ενδέχεται να προκαλέσουν διάβρωση στα δίκτυα και ανεπιθύμητες επιπτώσεις στους χρήστες, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις ή πλήρης απουσία απολυμαντικού δημιουργούν συνθήκες ιδανικές για τον πολλαπλασιασμό του βακτηρίου (CDC, 2021; ECDC, 2017).

Η δειγματοληψία ολοκληρώνεται με την ασφαλή επισήμανση, καταγραφή και ψυχρή μεταφορά των δειγμάτων (2–8 °C) στα εργαστήρια, ώστε να εξασφαλιστεί η μικροβιολογική τους ακεραιότητα μέχρι την καλλιέργεια σύμφωνα με το πρότυπο ISO 11731 ή την εφαρμογή μοριακών τεχνικών όπως η qPCR (ISO/TS 12869:2012). Η συμμόρφωση με αυτές τις διαδικασίες όχι μόνο εγγυάται αξιόπιστα δεδομένα για την εκτίμηση κινδύνου και την αξιολόγηση προγραμμάτων πρόληψης, αλλά ενισχύει και την προστασία της δημόσιας υγείας, ιδιαίτερα στα ευαίσθητα περιβάλλοντα των νοσοκομείων (ASHRAE, 2018; WHO, 2017). (WHO, 2007; WHO, 2011; WHO, 2017; Bartram et al., 2007; CDC, 2021; ECDC, 2017; ISO 11731:2017; ISO/TS 12869:2012; Whiley & Taylor, 2016; ASHRAE, 2018)

Κεφάλαιο 3: Διεθνή Πρότυπα και Εργαστηριακές Μέθοδοι

3.1 Διεθνή Πρότυπα & Κατευθυντήριες Οδηγίες για τη Διαχείριση της Λεγεωνέλλας

Η διαχείριση της λεγεωνέλλας σε μεγάλες εγκαταστάσεις, και ιδίως σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα, έχει διαμορφωθεί μέσα από τη συστηματική δράση διεθνών οργανισμών και την εφαρμογή επιστημονικά τεκμηριωμένων προτύπων. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) με το πλαίσιο Water Safety Planning (WSP) εισήγαγε ένα ολιστικό μοντέλο που βασίζεται στην προληπτική εκτίμηση κινδύνου και στη συνεχή παρακολούθηση κρίσιμων σημείων των συστημάτων ύδρευσης. Στόχος του είναι όχι μόνο η πρόληψη εξάρσεων, αλλά και η ενίσχυση της ανθεκτικότητας των εγκαταστάσεων, με έμφαση στην προστασία των ευάλωτων πληθυσμών, όπως οι ασθενείς σε νοσοκομεία, που εμφανίζουν μειωμένη ανοσολογική άμυνα (WHO, 2007; WHO, 2017).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το CDC καθιέρωσε τα Water Management Programs (WMPs), που περιλαμβάνουν πρακτικούς οδηγούς, εκπαιδευτικό υλικό και εργαλεία αξιολόγησης, προσφέροντας σαφή βήματα για την πρόληψη της λεγεωνέλλας σε νοσοκομειακά και δημόσια κτίρια. Τα WMPs εστιάζουν στη δημιουργία ομάδων υπευθύνων εντός κάθε δομής, στη χαρτογράφηση των συστημάτων ύδρευσης, στον καθορισμό κρίσιμων ορίων (θερμοκρασίες, επίπεδα απολυμαντικού), καθώς και στην τεκμηριωμένη καταγραφή διορθωτικών μέτρων σε περίπτωση απόκλισης (CDC, 2021). Η μεθοδολογία αυτή συνέβαλε στη μείωση επιδημιών στις ΗΠΑ και αποτέλεσε πρότυπο για πολλές χώρες.

Στην Ευρώπη, το ECDC εξέδωσε το 2017 τις Ευρωπαϊκές Τεχνικές Οδηγίες, που θέτουν ως κεντρικούς άξονες την τήρηση θερμοκρασιών ασφαλείας (κρύο νερό $<20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ζεστό $\geq 50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$), την τακτική συντήρηση και απολύμανση δικτύων, καθώς και τη συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού. Η σύσταση για εναρμόνιση των πρακτικών σε όλα τα κράτη-μέλη της ΕΕ στοχεύει στη δημιουργία ενός ενιαίου πλαισίου αντιμετώπισης, που ενισχύει τη συγκρισιμότητα των δεδομένων και την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων (ECDC, 2017).

Ιδιαίτερα σημαντική υπήρξε και η θέσπιση του ASHRAE Standard 188, το οποίο αποτέλεσε το πρώτο διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο που όρισε με σαφήνεια τις ελάχιστες απαιτήσεις για την πρόληψη και τον έλεγχο της λεγεωνέλλας σε συστήματα

νερού κτιρίων. Το ASHRAE 188 καθιστά υποχρεωτική τη θεσμοθέτηση προγραμμάτων διαχείρισης νερού, με καταγεγραμμένες διαδικασίες και καθορισμένους υπεύθυνους, τονίζοντας ότι η πρόληψη δεν μπορεί να είναι αποσπασματική αλλά πρέπει να αποτελεί πάγια πρακτική (ASHRAE, 2018).

Παράλληλα, τα διεθνή εργαστηριακά πρότυπα ISO 11731:2017 και ISO/TS 12869:2012 καθόρισαν αξιόπιστες και επιστημονικά τεκμηριωμένες μεθοδολογίες για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση της λεγεωνέλλας. Το ISO 11731 επικεντρώνεται στην καλλιέργεια για την απομόνωση ζωντανών μικροοργανισμών, ενώ το ISO/TS 12869 προτείνει τη χρήση qPCR, προσφέροντας ταχεία και ευαίσθητη ανίχνευση, ιδίως σε περιβάλλοντα με χαμηλά βακτηριακά φορτία. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων ενισχύει την ακρίβεια και τη διαφάνεια των αποτελεσμάτων, ενώ υποστηρίζει την εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών σε πραγματικό χρόνο (ISO, 2017; ISO, 2012).

Η υιοθέτηση και εφαρμογή αυτών των κατευθυντήριων οδηγιών και προτύπων οδήγησε σε σημαντική μείωση των επιδημικών εξάρσεων, σε βελτίωση της ασφάλειας των νοσοκομειακών εγκαταστάσεων και σε ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας. Πλέον, η λεγεωνέλλωση δεν αντιμετωπίζεται μόνο ως μεμονωμένο μικροβιολογικό πρόβλημα, αλλά ως σύνθετο ζήτημα δημόσιας υγείας που απαιτεί διεπιστημονική, τεκμηριωμένη και πολυπαραγοντική προσέγγιση. (WHO, 2007; WHO, 2017; Bartram et al., 2009; CDC, 2021; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018; ISO 11731:2017; ISO/TS 12869:2012; Whiley & Taylor, 2016)

3.2 Εργαστηριακές Μέθοδοι – ISO 11731 (Καλλιέργεια)

Το ISO 11731:2017 αποτελεί το διεθνώς αποδεκτό και πλέον καθιερωμένο πρότυπο για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση της *Legionella* spp. σε δείγματα νερού, μέσω της μεθόδου της καλλιέργειας. Αναγνωρίζεται διεθνώς ως η βασική μέθοδος αναφοράς (gold standard), καθώς προσφέρει τη δυνατότητα ταυτόχρονης ποσοτικοποίησης του μικροβιακού φορτίου και απομόνωσης ζωντανών στελεχών, στοιχείο που είναι απαραίτητο για την αξιολόγηση του κινδύνου και τη διερεύνηση εξάρσεων (ISO 11731:2017; Whiley & Taylor, 2016).



Εικόνα 7

Η διαδικασία ξεκινά με τη συλλογή δειγμάτων σε αποστειρωμένα δοχεία, στα οποία προστίθεται θειοθειικό νάτριο (συνηθέστερα σε συγκέντρωση 0,01 M) για την εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου ή άλλων απολυμαντικών. Το βήμα αυτό είναι κρίσιμο, καθώς η παρουσία απολυμαντικών μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της βιωσιμότητας ή ακόμα και στην πλήρη εξάλειψη των μικροοργανισμών κατά τη μεταφορά (WHO, 2007). Τα δείγματα πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασία 2–8 °C και να αναλύονται εντός 24 ωρών, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες στη μικροβιακή ανάκτηση (ECDC, 2017).

Ακολουθεί το στάδιο της προεπεξεργασίας, με στόχο την καταστολή της συνοδού μικροχλωρίδας που ενδέχεται να αναπτύσσεται ταχύτερα και να καλύπτει τις αποικίες της Legionella. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται τρεις εναλλακτικές προσεγγίσεις:

- Θερμική μέθοδος: επώαση του δείγματος στους 50 °C για 30 λεπτά, που μειώνει την παρουσία άλλων βακτηρίων.
- Όξινη μέθοδος: επεξεργασία με διάλυμα HCl-KCl (pH 2,2) για 5 λεπτά, που περιορίζει τα Gram-αρνητικά και μυκητιακά κύτταρα.
- Διήθηση: συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού μέσω μεμβράνης 0,2 μm και ενοφθαλμισμός του υπολείμματος σε θρεπτικό υπόστρωμα (ISO 11731:2017).

Η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε εκλεκτικά θρεπτικά υποστρώματα, με κυριότερο το BCYE (Buffered Charcoal Yeast Extract) agar, εμπλουτισμένο με L-cysteine, άλατα σιδήρου και ενεργό άνθρακα, καθώς και με εκλεκτικά αντιβιοτικά (π.χ. γλυκυλκυκλίνη, βανκομυκίνη, πολυμυξίνη B), που αναστέλλουν την ανάπτυξη συνοδών μικροοργανισμών. Η ανάπτυξη των αποικιών απαιτεί συνθήκες 35±2 °C, μερική πίεση CO₂ (2,5–5%) και αυξημένη υγρασία, για χρονικό διάστημα έως 10 ημέρες, καθώς η Legionella εμφανίζει βραδεία ανάπτυξη σε σχέση με άλλα βακτήρια (Fields et al., 2002).

Η αναγνώριση των αποικιών βασίζεται σε μορφολογικά χαρακτηριστικά (γυαλιστερές, γκριζόλευκες αποικίες με ελαφρώς ανώμαλη περίμετρο), αλλά η επιβεβαίωση γίνεται μέσω επανακαλλιέργειας σε θρεπτικά υποστρώματα με και χωρίς L-cysteine· η αδυναμία ανάπτυξης χωρίς L-cysteine αποτελεί διαγνωστικό δείκτη για τη Legionella (ISO 11731:2017). Σε εξειδικευμένα εργαστήρια μπορεί να ακολουθήσει περαιτέρω ταυτοποίηση

με μοριακές μεθόδους (PCR, SBT, WGS), προκειμένου να επιτευχθεί επιδημιολογική τυποποίηση.

Η μέθοδος της καλλιέργειας, αν και χρονοβόρα (7–10 ημέρες) και απαιτητική σε συνθήκες υγιεινής και δεξιοτήτα προσωπικού, παραμένει αναντικατάστατη, καθώς παρέχει:

- Ποσοτικοποίηση σε cfu/L, που αποτελεί βασικό δείκτη αξιολόγησης κινδύνου.
- Απομόνωση ζωντανών στελεχών, απαραίτητη για τη μελέτη λοιμογόνου δράσης.
- Δυνατότητα τυποποίησης για την ανίχνευση πηγών επιδημιών και την αντιστοίχιση κλινικών και περιβαλλοντικών δειγμάτων.

Παρά τις προκλήσεις της, η μέθοδος θεωρείται απαραίτητη σε κάθε πρόγραμμα διαχείρισης νερού νοσοκομείων, καθώς καμία άλλη τεχνική δεν εξασφαλίζει τον συνδυασμό ποσοτικής εκτίμησης, βιωσιμότητας και δυνατότητας περαιτέρω επιδημιολογικής διερεύνησης (Leoni et al., 2018; Whiley & Taylor, 2016). (WHO, 2007; ISO 11731:2017; Fields et al., 2002; ECDC, 2017; Whiley & Taylor, 2016; Leoni et al., 2018)

3.3 Εργαστηριακές Μέθοδοι – ISO/TS 12869 (qPCR)

Το ISO/TS 12869:2012 εισήγαγε ένα τυποποιημένο πλαίσιο για την εφαρμογή της ποσοτικής PCR σε πραγματικό χρόνο (qPCR) στην ανίχνευση και ποσοτικοποίηση της *Legionella* spp. σε δείγματα νερού, αποτελώντας συμπληρωματικό εργαλείο απέναντι στην καλλιέργεια. Η μέθοδος βασίζεται στην ενίσχυση ειδικών γονιδιακών περιοχών, όπως το 16S rRNA, το *mip* (macrophage infectivity potentiator) και άλλα γονίδια-δείκτες, τα οποία αποτελούν μοριακά «δακτυλικά αποτυπώματα» του μικροοργανισμού. Η ανίχνευση του παραγόμενου DNA πραγματοποιείται με τη χρήση φθορίζουσών χρωστικών ουσιών ή ανιχνευτών υβριδισμού, παρέχοντας γρήγορα, ευαίσθητα και επαναλήψιμα αποτελέσματα μέσα σε λίγες ώρες (Collins et al., 2017; ISO/TS 12869:2012).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της qPCR είναι η ικανότητά της να ανιχνεύει χαμηλές συγκεντρώσεις *Legionella* σε πολύπλοκα δείγματα, κάτι που καθιστά τη μέθοδο ιδανική για την ταχεία εκτίμηση της ποιότητας του νερού σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα, όπου απαιτείται γρήγορη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, η τεχνική αυτή δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη συνοδό μικροχλωρίδα, η οποία μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της λεγεωνέλλας στα εκλεκτικά μέσα καλλιέργειας (Whiley & Taylor, 2016).

Ωστόσο, ένας ουσιώδης περιορισμός είναι ότι η qPCR ανιχνεύει DNA τόσο από ζωντανά όσο και από νεκρά κύτταρα, με αποτέλεσμα συχνά να παρατηρείται υπερεκτίμηση του πραγματικού μικροβιακού κινδύνου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, προτάθηκαν συνδυαστικές προσεγγίσεις, όπως η χρήση PMAs (propidium monoazide), οι οποίες επιτρέπουν τον διαχωρισμό ζωντανών από νεκρά κύτταρα, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια της μεθόδου (Lee et al., 2011). Παρά τα όρια αυτά, η qPCR έχει αναγνωριστεί διεθνώς ως εργαλείο πρώτης γραμμής για την ταχεία προειδοποίηση, ενώ ταυτόχρονα οι καλλιέργειες διατηρούνται ως η τελική μέθοδος αναφοράς (ISO, 2012; ECDC, 2017).

Η καθιέρωση του ISO/TS 12869 συνέβαλε καθοριστικά στην εναρμόνιση των μοριακών

τεχνικών σε διεθνές επίπεδο, διασφαλίζοντας τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων και χωρών. Αυτό ενίσχυσε σημαντικά την επιδημιολογική επιτήρηση της λεγεωνέλλας, επιτρέποντας την ταχύτερη ανίχνευση εξάρσεων και την αποτελεσματικότερη εφαρμογή μέτρων πρόληψης και ελέγχου. Σήμερα, η qPCR θεωρείται αναπόσπαστο τμήμα των ολοκληρωμένων στρατηγικών διαχείρισης νερού, προσφέροντας μια γέφυρα ανάμεσα στην ταχεία διάγνωση και τη λεπτομερή επιβεβαίωση μέσω καλλιέργειας. (ISO/TS 12869:2012; Whiley & Taylor, 2016; Collins et al., 2017; Lee et al., 2011; ECDC, 2017)

3.4 Κλινική Διάγνωση & Δοκιμές

Η κλινική διάγνωση της λεγεωνέλλωσης αποτελεί κρίσιμη διαδικασία στη διαχείριση της νόσου, δεδομένου ότι η πορεία της μπορεί να είναι ταχεία και να συνοδεύεται από υψηλά ποσοστά θνητότητας, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους, ανοσοκατεσταλμένους και ασθενείς με συνυπάρχοντα νοσήματα (Cunha et al., 2016). Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι τα κλινικά συμπτώματα – πυρετός, βήχας, δύσπνοια, μυαλγίες και γαστρεντερικές εκδηλώσεις – δεν διαφοροποιούνται εύκολα από άλλες αιτίες πνευμονίας, καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση εξειδικευμένων εργαστηριακών μεθόδων για την επιβεβαίωση της διάγνωσης (Fields et al., 2002).

Στη σύγχρονη ιατρική πράξη, η διάγνωση στηρίζεται σε έναν συνδυασμό ταχέων, καλλιεργητικών και μοριακών τεχνικών, οι οποίες αλληλοσυμπληρώνονται. Η δοκιμασία ανίχνευσης αντιγόνου στα ούρα (Urinary Antigen Test, UAT) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος λόγω της ταχύτητας και της ευκολίας εφαρμογής της. Η UAT ανιχνεύει ειδικά το αντιγόνο της *L. pneumophila* οροομάδας 1, υπεύθυνης για την πλειονότητα των λοιμώξεων παγκοσμίως (Yu et al., 2002). Παρά την αξία της στην έγκαιρη καθοδήγηση της θεραπείας, η μέθοδος αυτή εμφανίζει περιορισμούς, καθώς δεν ανιχνεύει λοιμώξεις από άλλες οροομάδες ή είδη του γένους *Legionella* (Diederer, 2008).

Η καλλιέργεια εξακολουθεί να αποτελεί το gold standard για την εργαστηριακή επιβεβαίωση. Προσφέρει τη μοναδική δυνατότητα απομόνωσης ζωντανών βακτηρίων, επιτρέποντας περαιτέρω τυποποίηση, μοριακή χαρακτηρισμό και συγκριτική ανάλυση στελεχών σε περιπτώσεις επιδημιών (ISO 11731:2017). Ωστόσο, η καλλιέργεια είναι χρονοβόρα, απαιτεί επώαση 7–10 ημερών, ειδικά μέσα όπως BCYE και εξειδικευμένο προσωπικό, γεγονός που περιορίζει τη χρησιμότητά της στην άμεση κλινική λήψη αποφάσεων (Whiley & Taylor, 2016).

Οι μοριακές μέθοδοι, όπως η PCR και η qPCR, έχουν αναδειχθεί ως ιδιαίτερα πολύτιμα εργαλεία, παρέχοντας υψηλή ευαισθησία και ταχύτητα. Επιτρέπουν την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση του DNA του παθογόνου, ακόμη και σε δείγματα με χαμηλό μικροβιακό φορτίο ή παρουσία συνοδών μικροοργανισμών (Collins et al., 2017). Εντούτοις, το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να διαφοροποιήσουν το DNA ζώντων από νεκρά κύτταρα, με αποτέλεσμα πιθανή υπερεκτίμηση του κινδύνου. Νεότερες προσεγγίσεις με διασταυρούμενη χρήση μοριακών δεικτών και καλλιέργειας προτείνονται από διεθνείς οδηγίες (WHO, 2017; ECDC, 2017), ώστε να διασφαλίζεται τόσο η ταχεία διάγνωση όσο και η αξιολόγηση της λοιμογόνου ικανότητας.

Στην κλινική πράξη, η UAT χρησιμοποιείται ως πρώτη γραμμή για την έγκαιρη διάγνωση και

καθοδήγηση της θεραπείας, ενώ η καλλιέργεια και οι μοριακές τεχνικές υποστηρίζουν την επιδημιολογική διερεύνηση, τον έλεγχο εξάρσεων και την αξιολόγηση προγραμμάτων πρόληψης. Ο συνδυασμός αυτών των μεθόδων εξασφαλίζει την ακριβή και ολοκληρωμένη διάγνωση, αναδεικνύοντας τη σημασία της λεγεωνέλλωσης όχι μόνο ως κλινικό αλλά και ως ζήτημα δημόσιας υγείας, που απαιτεί συνεχή επαγρύπνηση και πολυπαραγοντική προσέγγιση. (Fields et al., 2002; Yu et al., 2002; Diederer, 2008; ISO 11731:2017; Whitley & Taylor, 2016; Collins et al., 2017; WHO, 2017; ECDC, 2017; Cunha et al., 2016)

Κεφάλαιο 4: Κλινική Διαχείριση & Θεραπευτικές Προσεγγίσεις:

4.1 Θεραπευτικές Στρατηγικές

Η θεραπευτική προσέγγιση της λεγεωνέλλωσης παραμένει μία από τις πιο απαιτητικές πτυχές της κλινικής διαχείρισης των νοσοκομειακών λοιμώξεων, καθώς η νόσος των Λεγεωναρίων χαρακτηρίζεται από σημαντική θνητότητα, ιδιαίτερα σε ανοσοκατεσταλμένους ασθενείς ή σε άτομα με υποκείμενα νοσήματα του αναπνευστικού. Η έγκαιρη έναρξη της κατάλληλης αντιμικροβιακής αγωγής συνδέεται άμεσα με την πρόγνωση, ενώ καθυστερημένη θεραπεία έχει συσχετιστεί με αυξημένο ποσοστό θανάτων. Δεδομένου ότι η *Legionella pneumophila* αναπτύσσεται ενδοκυττάρια σε μακροφάγα και άλλους κυτταρικούς τύπους, η επιλογή αντιβιοτικών με επαρκή ενδοκυττάρια διείσδυση και υψηλή συγκέντρωση στους πνευμονικούς ιστούς αποτελεί θεμελιώδη κριτήριο (Fields et al., 2002; Phin et al., 2014).

Οι διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες (WHO, CDC, ESCMID, IDSA) συγκλίνουν στην προτίμηση δύο κύριων κατηγοριών: τις μακρολίδες και τις φθοριοκινολόνες. Η αζιθρομυκίνη, χάρη στο ευνοϊκό προφίλ φαρμακοκινητικής και την ισχυρή ενδοκυττάρια δράση, θεωρείται πρώτη επιλογή σε πολλές περιπτώσεις, ενώ η λεβοφλοξασίνη και η μοξιφλοξασίνη προσφέρουν ταχεία βακτηριοκτόνο δράση και βραχύτερη διάρκεια νοσηλείας (ESCMID, 2017; Cunha et al., 2016). Σε σοβαρές λοιμώξεις ή σε ασθενείς που νοσηλεύονται σε μονάδες εντατικής θεραπείας, οι φθοριοκινολόνες προτιμώνται συχνά λόγω της σταθερής δράσης τους έναντι ενδοκυττάρων παθογόνων.

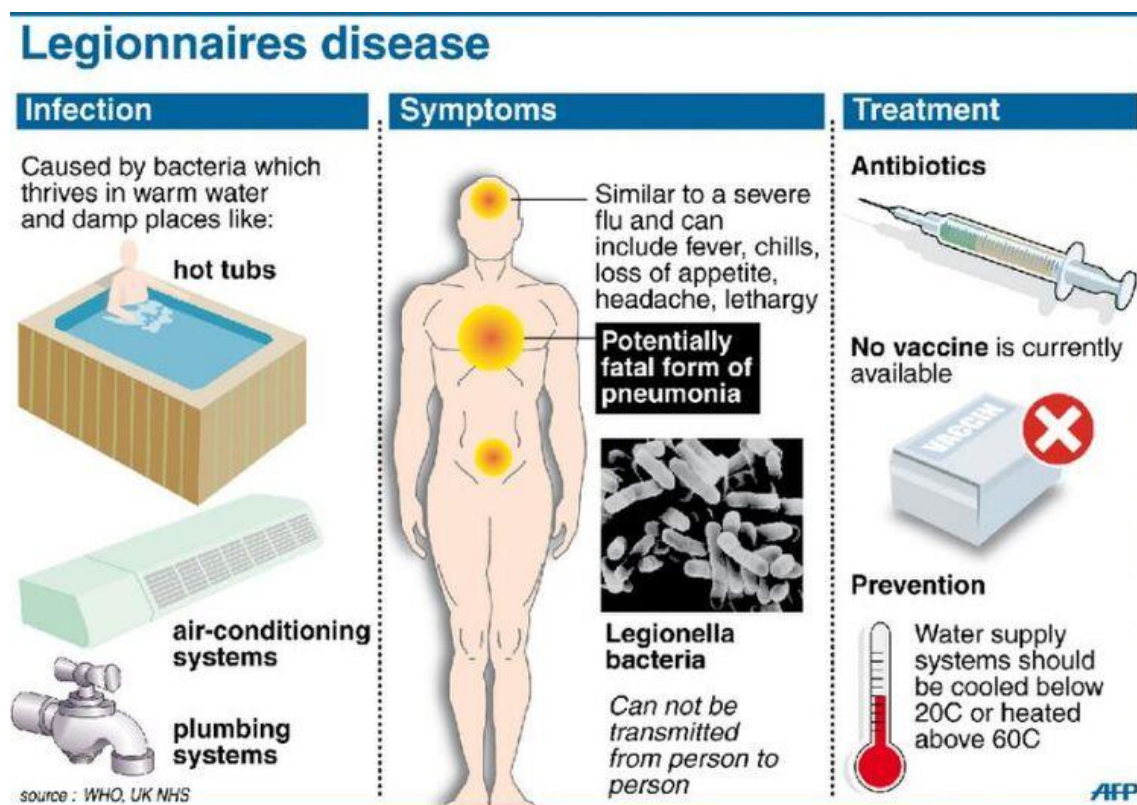
Η διάρκεια της θεραπείας κυμαίνεται από 7 έως 14 ημέρες για ανοσοεπαρκείς ασθενείς με ήπια έως μέτρια νόσο, αλλά μπορεί να παραταθεί σε 21 ημέρες ή περισσότερο σε ανοσοκατεσταλμένους ασθενείς ή σε περιπτώσεις σοβαρής πνευμονίας (WHO, 2017; CDC, 2020). Ενώ η μονοθεραπεία επαρκεί για το μεγαλύτερο ποσοστό των περιστατικών, σε βαριά νόσο έχει προταθεί η χορήγηση συνδυαστικής αγωγής, π.χ. φθοριοκινολόνης με ριφαμπικίνη. Ωστόσο, η βιβλιογραφία παραμένει αμφιλεγόμενη αναφορικά με την ανωτερότητα αυτής της πρακτικής (Varner et al., 2016).

Η στενή παρακολούθηση της κλινικής ανταπόκρισης έχει καθοριστική σημασία. Η εμμένουσα εμπύρετη κατάσταση ή η επιδείνωση των αναπνευστικών συμπτωμάτων μπορεί να υποδηλώνει είτε αντοχή του μικροοργανισμού είτε ανεπαρκή ενδοκυττάρια δράση του φαρμάκου. Η διαχείριση πολυφαρμακίας, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους ή σε ασθενείς με χρόνια νοσήματα, απαιτεί αυστηρή αξιολόγηση πιθανών αλληλεπιδράσεων, ενώ οι οδηγίες επιβάλλουν εξατομικευμένη προσαρμογή της δοσολογίας βάσει της νεφρικής και ηπατικής λειτουργίας (IDSA, 2019).

Εκτός από την αντιμικροβιακή αγωγή, η θεραπευτική στρατηγική περιλαμβάνει

υποστηρικτικά μέτρα, όπως διατήρηση επαρκούς οξυγόνωσης, παρακολούθηση ηλεκτρολυτών και υγρών, και, σε σοβαρές περιπτώσεις, μηχανική υποστήριξη της αναπνοής. Η έγκαιρη παρέμβαση έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τη θνητότητα: χωρίς θεραπεία μπορεί να υπερβεί το 20–30%, ενώ με σωστή αγωγή υποχωρεί σε ποσοστά μικρότερα του 10% (WHO, 2017; Phin et al., 2014).

Συνολικά, η θεραπεία της λεγεωνέλλωσης προϋποθέτει μια πολυπαραγοντική προσέγγιση, όπου η στοχευμένη επιλογή αντιβιοτικών, η προσαρμογή στη βαρύτητα της νόσου και η υποστηρικτική φροντίδα συνδυάζονται για να εξασφαλίσουν τη βέλτιστη κλινική έκβαση. Η καθιέρωση διεθνών κατευθυντήριων οδηγιών έχει επιφέρει σημαντική βελτίωση στην επιβίωση και έχει συμβάλει στη δημιουργία ενιαίας, τεκμηριωμένης θεραπευτικής στρατηγικής παγκοσμίως. (CDC, 2020; Cunha, Burillo, & Bouza, 2016; ESCMID, 2017; Fields, Benson, & Besser, 2002; IDSA, 2019; Phin et al., 2014; Varner, Williams, Hicks, & Brown, 2016; WHO, 2017)



Εικόνα 8

4.2 Μέτρα Ελέγχου & Απολύμανσης στα νοσοκομεία

Η διαχείριση της λεγεωνέλλας στα υδραυλικά δίκτυα νοσοκομείων και κτιρίων υγειονομικού ενδιαφέροντος συνιστά μια πολύπλευρη και συστηματική διαδικασία, η οποία απαιτεί τον συνδυασμό προληπτικών, ελεγκτικών και διορθωτικών μέτρων, με στόχο τη διατήρηση της μικροβιολογικής ασφάλειας του νερού. Η αποτελεσματική στρατηγική δεν περιορίζεται σε

μεμονωμένες παρεμβάσεις, αλλά εστιάζει σε ένα συνολικό πλαίσιο που εξασφαλίζει την πρόληψη του μικροβιακού πολλαπλασιασμού και την ποιότητα του παρεχόμενου νερού στους χρήστες. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας και η διατήρηση επαρκών συγκεντρώσεων απολυμαντικών ουσιών αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο κάθε προγράμματος πρόληψης, ενώ η εφαρμογή θερμικών ή χημικών απολυμάνσεων σε περιπτώσεις μόλυνσης λειτουργεί ως κρίσιμη διορθωτική παρέμβαση.

Η θερμική μέθοδος παραμένει θεμελιώδης πρακτική στη διαχείριση των δικτύων, καθώς η αποθήκευση ζεστού νερού σε θερμοκρασίες άνω των 60 °C και η διανομή σε θερμοκρασίες ≥ 50 –55 °C αποτρέπει την ανάπτυξη της *Legionella*, ενώ η περιοδική εφαρμογή θερμικής απολύμανσης με ανύψωση της θερμοκρασίας πάνω από 70 °C και εκκένωση όλων των σημείων ενδείκνυται σε περιπτώσεις θετικών δειγμάτων. Εντούτοις, η μακροχρόνια αποτελεσματικότητα τέτοιων παρεμβάσεων μπορεί να είναι περιορισμένη, ιδίως όταν δεν αντιμετωπίζονται οι βασικές αιτίες πολλαπλασιασμού του βακτηρίου, όπως η ύπαρξη νεκρών καταλήξεων ή η στασιμότητα του νερού. Στον τομέα των χημικών μεθόδων, η υπερχλωρίωση χρησιμοποιείται συχνά σε καταστάσεις επείγουσας ανάγκης, με εφαρμογή υψηλών συγκεντρώσεων χλωρίου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, πριν από την ασφαλή απομάκρυνσή του μέσω έκπλυσης. Παράλληλα, χημικές επιλογές όπως το διοξείδιο του χλωρίου, η μονοχλωραμίνη, ο συνδυασμός υπεροξειδίου του υδρογόνου με ιόντα αργύρου και οι τεχνικές ιονισμού χαλκού–αργύρου έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές, ιδιαίτερα σε συστήματα μεγάλης κλίμακας όπου η σταθερότητα και η διείσδυση σε βιοϋμένες είναι απαραίτητες.

Εξίσου καθοριστικής σημασίας είναι οι παρεμβάσεις που αφορούν τον υδραυλικό σχεδιασμό και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων. Η απομάκρυνση στάσιμων τμημάτων και νεκρών καταλήξεων, η σωστή θερμομόνωση των σωληνώσεων, η εξισορρόπηση της ροής, καθώς και η τακτική συντήρηση δεξαμενών, πύργων ψύξης και συσκευών που παράγουν αερολύματα, αποτελούν κρίσιμες πρακτικές που μειώνουν την πιθανότητα αποικισμού της *Legionella*. Η συστηματική παρακολούθηση των παραμέτρων αυτών, σε συνδυασμό με τη λεπτομερή καταγραφή και αξιολόγηση των μέτρων που εφαρμόζονται, συμβάλλουν όχι μόνο στην έγκαιρη αναγνώριση προβλημάτων, αλλά και στη δημιουργία ενός σταθερού μηχανισμού επανατροφοδότησης και βελτίωσης των στρατηγικών ελέγχου.

Η ολιστική εφαρμογή των παραπάνω μέτρων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο επιμολύνσεων και εξάρσεων, ενισχύοντας την ασφάλεια τόσο των ασθενών όσο και του προσωπικού. Η διαχείριση της λεγεωνέλλας, συνεπώς, δεν μπορεί να νοηθεί ως αποσπασματική διαδικασία, αλλά ως αναπόσπαστο μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος πρόληψης και ελέγχου, το οποίο βασίζεται στη συνεργασία τεχνικών, κλινικών και διοικητικών φορέων, καθώς και στην αυστηρή συμμόρφωση με τις διεθνείς κατευθυντήριες οδηγίες και τα ισχύοντα πρότυπα. (WHO, 2017; CDC, 2020; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018; Bartram et al., 2007; Lin et al., 2011)

4.3 Στρατηγικές WSP / WMP για τον Έλεγχο της Λεγεωνέλλας

Η εφαρμογή Προγραμμάτων Διαχείρισης Νερού (Water Safety Plans – WSP, Water Management Programs – WMP) έχει αναγνωριστεί διεθνώς ως η πλέον ολοκληρωμένη και αποτελεσματική στρατηγική για την πρόληψη και τον έλεγχο της λεγεωνέλλας, ιδιαίτερα σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα όπου φιλοξενούνται ευάλωτοι ασθενείς. Η φιλοσοφία αυτών

των προγραμμάτων, που εισήχθησαν από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και το CDC, βασίζεται στην προληπτική προσέγγιση της διαχείρισης κινδύνων, με στόχο όχι μόνο την αντιμετώπιση υφιστάμενων προβλημάτων, αλλά την αποτροπή της εμφάνισής τους.

Κεντρικό στοιχείο των WSP/WMP είναι η αναλυτική χαρτογράφηση όλων των συστημάτων ύδρευσης και ψύξης, με καταγραφή κρίσιμων σημείων όπου μπορεί να εγκατασταθεί και να αναπτυχθεί η λεγεωνέλλα, όπως δεξαμενές, πύργοι ψύξης, συστήματα κλιματισμού, ντους και σπάνια χρησιμοποιούμενες βρύσες. Ακολουθεί η εκτίμηση κινδύνου, με βάση παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η παρουσία βιοϋμένων, η ποιότητα του απολυμαντικού και η συχνότητα χρήσης κάθε σημείου. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τον καθορισμό κρίσιμων ορίων (π.χ. $\geq 60^{\circ}\text{C}$ στο ζεστό νερό, $< 20^{\circ}\text{C}$ στο κρύο, 0,2–0,5 mg/L ελεύθερο χλώριο), τα οποία αποτελούν δείκτες συμμόρφωσης με τα διεθνή πρότυπα.

Τα WSP/WMP δεν περιορίζονται μόνο σε τεχνικά μέτρα, αλλά ενσωματώνουν και διαδικασίες εκπαίδευσης και τεκμηρίωσης. Η διαρκής κατάρτιση του προσωπικού, η ύπαρξη σαφώς καθορισμένων αρμοδιοτήτων και η τήρηση λεπτομερών καταγραφών για κάθε ενέργεια ή παρέμβαση αποτελούν αναπόσπαστα μέρη της διαδικασίας. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει την ιχνηλασιμότητα, διευκολύνει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων και υποστηρίζει τη συνεχή βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης.

Διορθωτικές ενέργειες, όπως η θερμική απολύμανση (flushing με $> 70^{\circ}\text{C}$), η υπερχλωρίωση, η απομάκρυνση στάσιμων τμημάτων σωληνώσεων ή η ανακατασκευή παλαιών εγκαταστάσεων, εφαρμόζονται σε περιπτώσεις αποκλίσεων. Τα διεθνή πρότυπα ASHRAE 188 και ISO 11731/12869 καθορίζουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις για τέτοιες παρεμβάσεις, ενώ οι κατευθυντήριες οδηγίες του ECDC επιβάλλουν τη συστηματική επιτήρηση και τη σύγκριση αποτελεσμάτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των WSP/WMP είναι η δυναμική φύση τους: πρόκειται για έγγραφα «ζωντανά», που αναθεωρούνται και προσαρμόζονται τακτικά με βάση τα νέα δεδομένα, τα αποτελέσματα των ελέγχων και την εξέλιξη της τεχνογνωσίας. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η εφαρμογή τους συνδέεται με μείωση των επιδημικών εξάρσεων, μείωση των νοσοκομειακών λοιμώξεων και με σημαντική εξοικονόμηση κόστους, καθώς προλαμβάνουν δαπανηρές παρεμβάσεις αποκατάστασης μετά από θετικά περιστατικά.

Επιπλέον, τα WSP/WMP προάγουν τη διεπιστημονική συνεργασία. Για την ανάπτυξη και εφαρμογή τους απαιτείται συμμετοχή μηχανικών, μικροβιολόγων, επαγγελματιών υγείας και διοικητικού προσωπικού, γεγονός που εξασφαλίζει σφαιρική αντιμετώπιση του κινδύνου. Αυτή η διεπιστημονική διάσταση θεωρείται σήμερα καθοριστική για την ασφάλεια των ασθενών, αλλά και για την ενίσχυση της νοσοκομειακής κουλτούρας πρόληψης.

Συνολικά, η εφαρμογή των WSP/WMP μετατόπισε το επίκεντρο της διαχείρισης της λεγεωνέλλας από αποσπασματικές ενέργειες σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πρόληψης, που προσφέρει ανθεκτικότητα, διαφάνεια και ασφάλεια. Η συνεισφορά τους θεωρείται πλέον κομβική στη διεθνή στρατηγική για την προστασία της δημόσιας υγείας.

(WHO, 2017; CDC, 2020; ECDC, 2017; ASHRAE, 2018; ISO, 2017; Bartram et al., 2007; Lin et al., 2011; Rhoads et al., 2021)

Συμπεράσματα

Η λεγεωνέλλωση αποτελεί ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα υδατογενούς νοσήματος, όπου η σύζευξη μικροβιολογικών, περιβαλλοντικών και κλινικών παραγόντων καθιστά τη διαχείρισή της εξαιρετικά απαιτητική. Η ανακάλυψη της *Legionella pneumophila* το 1976 σηματοδότησε την απαρχή μιας πολυετούς επιστημονικής έρευνας, η οποία κατέδειξε ότι πρόκειται για έναν παθογόνο μικροοργανισμό με αξιοσημείωτη ανθεκτικότητα και ικανότητα προσαρμογής σε τεχνητά υδρευτικά συστήματα. Από τότε έως σήμερα, η κατανόηση της βιολογίας και της παθογένειας του βακτηρίου έχει αναβαθμίσει τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται οι νοσοκομειακές λοιμώξεις και οι στρατηγικές πρόληψης.

Η ανάπτυξη της λεγεωνέλλας εξαρτάται από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, με κυριότερες τη θερμοκρασιακή ζώνη 20–45°C, την ύπαρξη βιοϋμένων και τη μείωση ή απουσία υπολειμματικού απολυμαντικού. Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων είναι θεμελιώδης, καθώς ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ταχεία αύξηση του μικροβιακού φορτίου και συνακόλουθα σε κίνδυνο για την υγεία των ασθενών. Η ανάγκη για σταθερή παρακολούθηση και εφαρμογή διεθνών προτύπων είναι, συνεπώς, αδιαπραγμάτευτη.

Ιδιαίτερη βαρύτητα αποκτά η εφαρμογή τυποποιημένων εργαστηριακών μεθόδων, όπως το ISO 11731 για καλλιέργεια και το ISO/TS 12869 για qPCR, που εξασφαλίζουν αξιόπιστα και συγκρίσιμα αποτελέσματα. Η εργαστηριακή επιτήρηση αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο όχι μόνο για την έγκαιρη διάγνωση, αλλά και για την επιδημιολογική διερεύνηση, στοιχείο που καθιστά εφικτή την ιχνηλάτηση και την πρόληψη εξάρσεων.

Η συμβολή διεθνών οργανισμών, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), το Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης και Ελέγχου Νοσημάτων (ECDC) και η ASHRAE, υπήρξε καθοριστική. Μέσα από την εισαγωγή των Water Safety Plans και Water Management Programs, καθώς και την καθιέρωση του προτύπου ASHRAE 188, διαμορφώθηκε ένα ολιστικό πλαίσιο πρόληψης και ελέγχου που έχει υιοθετηθεί διεθνώς. Η μετάβαση από αποσπασματικά μέτρα σε ολοκληρωμένα προγράμματα διαχείρισης σηματοδότησε μια ουσιαστική αλλαγή στην προστασία της δημόσιας υγείας.

Σε κλινικό επίπεδο, η συνδυαστική χρήση της ταχείας δοκιμασίας αντιγόνου ούρων, της καλλιέργειας και των μοριακών τεχνικών (PCR, qPCR) προσφέρει έγκαιρη και αξιόπιστη διάγνωση. Η θεραπευτική στρατηγική βασίζεται σε αντιβιοτικά με ισχυρή ενδοκυττάρια δράση, όπως οι μακρολίδες και οι φθοριοκινολόνες, τα οποία έχουν αποδείξει σημαντική αποτελεσματικότητα στη μείωση της θνητότητας, ιδίως όταν η αγωγή χορηγείται εγκαίρως. Παράλληλα, η εξατομίκευση της θεραπείας και η παροχή υποστηρικτικών μέτρων ενισχύουν την επιτυχή αντιμετώπιση της λοίμωξης.

Συνολικά, η παρούσα εργασία ανέδειξε ότι η λεγεωνέλλωση δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί μεμονωμένα, αλλά απαιτεί μια ολοκληρωμένη, πολυπαραγοντική και διεπιστημονική στρατηγική. Η εφαρμογή διεθνών προτύπων, η συνεχής εργαστηριακή επιτήρηση, η σωστή τεχνική διαχείριση των υδραυλικών δικτύων και η έγκαιρη κλινική παρέμβαση συγκροτούν τα θεμέλια μιας αποτελεσματικής πολιτικής πρόληψης και ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό, η λεγεωνέλλωση αναγνωρίζεται ως κρίσιμο ζήτημα δημόσιας υγείας, το οποίο απαιτεί διαρκή επαγρύπνηση, τεκμηριωμένη δράση και συλλογική δέσμευση.

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία Εικόνων

1. Εικόνα 1 (εξωφύλλου): Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα https://tsakalidislabs.gr/oi_5_pio_sihnes_erotiseis_apantiseis_gia_tin_legeonella-n-38.html
2. Εικόνα 2: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://iatriki.org/%CE%BD%CE%BF%CF%83%CE%BF%CF%82-%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%BD%CE%B1%CF%81%CE%AF%CF%89%CE%BD/>
3. Εικόνα 3: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://www.greenandcleanhotels.gr/%CE%BC%CE%AC%CF%87%CE%B7-%CE%BC%CE%B5-%CF%84%CE%B7%CE%BD-legionella-%CE%AE-%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%BD%CE%AD%CE%B%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%83%CE%B5-%CF%86%CF%85%CF%83/>
4. Εικόνα 4: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://www.legionella.gr/index.php/plirofories/symptomata>
5. Εικόνα 5: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://www.ktirio.gr/el/%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CF%82/%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%87%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CF%8E%CE%BD-%CF%85%CE%B3%CE%B9%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CF%8C%CF%81%CF%86%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BF%CF%85-%CF%8D%CE%B4%CF%81%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7%CF%82>
6. Εικόνα 6: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://www.ergastiria.gr/analyseis/analysisi-nerou/legionella/>
7. Εικόνα 7: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://arclab.it/prodotto/legionella-iso-11731-passaggio-da-metodo-unichim-1037-online/>
8. Εικόνα 8: Από την διαδικτυακή ιστοσελίδα <https://www.mpeskos.com/%CE%BD%CE%BF%CF%83%CE%BF%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%BD%CE%B1%CF%81%CE%B9%CF%89%CE%BD>

Βιβλιογραφία Κειμένου

1. ANSI/ASHRAE. (2021). Addendum e to Standard 188-2021. ashrae.org

2. ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE Standard 188-2021: Legionellosis—Risk Management for Building Water Systems. (ASHRAE standard page). [ashrae.org](https://www.ashrae.org)
3. ASHRAE. (2021). Read-only version: Standard 188-2021—Legionellosis: Risk Management for Building Water Systems. [ashrae.org](https://www.ashrae.org)
4. ASHRAE. (2023). Guideline 12-2023: Managing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems. (Overview/press resources).
5. Bartram, J., Chartier, Y., Lee, J., Pond, K., & Surman-Lee, S. (Eds.). (2007). Legionella and the prevention of legionellosis. WHO Press.
6. Bellew, S. et al. (2018). Pneumococcal and Legionella urinary antigen tests in pneumonia: For whom should we test? Open Forum Infectious Diseases, 5(Suppl_1), S123–S124. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofy210.3528>
7. CDC. (2021, updated 2024). Toolkit: Developing a Legionella Water Management Program. (PDF/toolkit).
8. CDC. (2024). Overview of Water Management Programs (WMPs).
9. CDC. (2024–2025). Controlling Legionella in common sources of exposure—Toolkit.
10. CDC. (2024–2025). Methods for Legionella testing & specimen collection—Public health strategy. [Web guidance;].
11. CDC. (2025). Laboratory testing for Legionella—method performance (culture, UAT, PCR). [Web guidance;].
12. Cleveland Clinic Journal of Medicine. (2023). Should urine antigen testing for *L. pneumophila* be used routinely? CCJM, 90(6), 345–347. <https://doi.org/10.3949/ccjm.90a.22088>
13. Cunha, B. A., Burillo, A., & Bouza, E. (2016). Legionnaires' disease. The Lancet, 387(10016), 376–385. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60078-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60078-2)
14. De Giglio, O., et al. (2020). Legionella detection in water networks as per ISO 11731:2017—Filter comparison. Pathogens, 9(4), 286. <https://doi.org/10.3390/pathogens9040286>
15. Diederer, B. M. W. (2008). Legionella spp. and Legionnaires' disease. Clinical Microbiology and Infection, 14(Suppl. 4), 2–12. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02099.x>
16. ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control). (2017). European technical guidelines for the prevention, control and investigation of infections caused by Legionella species. (Official ECDC page/PDF).

17. ESCMID/ERS/ESICM/ALAT. (2017). International guidelines for the management of hospital-acquired, ventilator-associated and healthcare-associated pneumonia. *European Respiratory Journal*, 50(3), 1700582. <https://doi.org/10.1183/13993003.00582-2017>
18. Fields, B. S., Benson, R. F., & Besser, R. E. (2002). Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical Microbiology Reviews*, 15(3), 506–526. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.3.506-526.2002>
19. Greub, G., & Raoult, D. (2004). Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clinical Microbiology Reviews*, 17(2), 413–433. <https://doi.org/10.1128/CMR.17.2.413-433.2004>
20. IDSA & ATS. (2019). Diagnosis and Treatment of Adults with Community-acquired Pneumonia. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 200(7), e45–e67. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1581ST>
21. IDSA. (2019). Community-Acquired Pneumonia in Adults—Guideline & Clinical Pathway (Exec. Summary). [Guideline landing / executive summary PDF]. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1581ST> (exec. summary page). idsociety.org
22. Isberg, R. R., O'Connor, T. J., & Heidtman, M. (2009). The Legionella pneumophila replication vacuole: Making a cozy niche. *Nature Reviews Microbiology*, 7(1), 13–24. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1967>
23. ISO (OBP). (2017). ISO 11731 online browsing platform entry.
24. ISO (OBP). (2019). ISO/TS 12869 online browsing platform entry.
25. ISO. (2017). ISO 11731:2017—Water quality: Enumeration of Legionella. [Standard;]. (ISO catalogue / official PDF preview).
26. ISO. (2019). ISO/TS 12869:2019—Water quality: Detection and quantification of Legionella spp. and/or L. pneumophila by qPCR. [Technical Specification;]. (ISO catalogue / official PDF preview).
27. *Journal of Clinical Microbiology*. (2016). Utility of PCR, culture, and antigen detection methods for diagnosis of Legionella pneumonia. *JCM*, 54(5), 1356–1362. <https://doi.org/10.1128/JCM.01808-15>
28. Lee, S. (2018). An overview of the European Technical Guidelines for Legionella. *Perspectives in Public Health*, 138(5), 245–246. <https://doi.org/10.1177/1757913918790922>
29. Lin, Y. E., Stout, J. E., & Yu, V. L. (2011). Prevention of hospital-acquired Legionellosis. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 24(4), 350–356. <https://doi.org/10.1097/QCO.0b013e3283486c6e>

30. Martin-Loeches, I., et al. (2023). ERS/ESICM/ESCMID/ALAT guidelines for management of severe pneumonia (updates/related context). *European Respiratory Journal*, 61(1), 2202215. <https://doi.org/10.1183/13993003.02215-2017>
31. Metlay, J. P., et al. (2019). Diagnosis and treatment of adults with CAP (ATS/IDSA). *Am J Respir Crit Care Med*, 200(7), e45–e67. <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1581ST>
32. Peci, A., Winter, A.-L., Gubbay, J. B., & Park, B. J. (2016). Evaluation and comparison of multiple test methods for Legionnaires' disease. *Frontiers in Public Health*, 4, 175. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00175>
33. Phin, N., Parry-Ford, F., Harrison, T., Stagg, H. R., Zhang, N., Kumar, K., Lortholary, O., Zumla, A., & Abubakar, I. (2014). Epidemiology and clinical management of Legionnaires' disease. *The Lancet Infectious Diseases*, 14(10), 1011–1021. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70713-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70713-3)
34. Varner, T., Williams, M. M., Hicks, L., & Brown, E. W. (2016). Antibiotic treatment strategies for Legionella infections. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 71(10), 2753–2759. <https://doi.org/10.1093/jac/dkw210>
35. Whiley, H., & Taylor, M. (2016). Legionella detection by qPCR: A public health review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6), 660. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060660>
36. WHO (World Health Organization). (2007). Legionella and the prevention of legionellosis. (Official WHO publication page).
37. WHO. (2011). Guidelines for Drinking-water Quality—Water safety in buildings. (Referenced by WHO/health authority portals).
38. Wickenberg, L. P., et al. (2022). Inaccuracies of the ISO 11731 method for environmental Legionella detection. *Microorganisms*, 10(12), 2462. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122462>
39. Wong, A. Y. W., et al. (2021). Evaluation of four lateral flow assays for detection of Legionella urinary antigen. *Journal of Clinical Microbiology*, 59(3), e02569-20. <https://doi.org/10.1128/JCM.02569-20>
40. Yu, V. L., Stout, J. E., & Muraca, P. (2000). Controlling Legionella in hospital water systems. *American Journal of Infection Control*, 28(5), 354–359. <https://doi.org/10.1067/mic.2000.108000>