



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

***Η χρήση των τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στην:
Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση της νόσου του
Parkinson.***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
ΔΟΜΠΡΟΓΙΑΝΝΗ Δ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα : Ουρανία Πετροπούλου
ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π.

Αθήνα , Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

***Η χρήση των τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στην:
Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση της νόσου του
Parkinson.***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΔΟΜΠΡΟΓΙΑΝΝΗ Δ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα : Ουρανία Πετροπούλου
ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 6^η Φεβρουαρίου 2025.

.....
(Υπογραφή)

Γ. Ματσόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
(Υπογραφή)

Α. Παναγόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
(Υπογραφή)

Π. Τσανάκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

.....
(Υπογραφή)

Δομπρογιάννης Δ. Χριστόφορος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δομπρογιάννης Δ. Χριστόφορος, 2025.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί μία από τις πιο συχνές νευροεκφυλιστικές διαταραχές, επηρεάζοντας εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως. Η προοδευτική φύση της νόσου, σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των συμπτωμάτων της, τόσο κινητικών όσο και μη κινητικών, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τη διάγνωση, τη διαχείριση και την πρόγνωση της. Παρά τις σημαντικές επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις, πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα, ενώ η αναζήτηση πιο αποδοτικών, έγκαιρων και εξατομικευμένων προσεγγίσεων συνεχίζεται.

Στο επίκεντρο αυτής της προσπάθειας βρίσκεται η τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ), η οποία έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίζει τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουμε τη ΝΠ. Η ΤΝ, με τη χρήση τεχνικών όπως η μηχανική μάθηση, η βαθιά μάθηση και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, παρέχει νέες δυνατότητες στη διάγνωση, παρακολούθηση και θεραπεία της νόσου. Μέσω των εφαρμογών της, προσφέρει τη δυνατότητα ανίχνευσης πρόωρων συμπτωμάτων, προσαρμογής θεραπειών με βάση τις εξατομικευμένες ανάγκες των ασθενών, αλλά και ανάπτυξης προγνωστικών μοντέλων που μπορούν να καθοδηγήσουν τους κλινικούς ιατρούς.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να αναδείξει τον ρόλο της ΤΝ στη διαχείριση της ΝΠ, εξετάζοντας τη συνεισφορά της στη διάγνωση, τη διαχείριση των συμπτωμάτων και την πρόγνωση της νόσου. Παράλληλα, επιδιώκει να συζητήσει τις ηθικές και κανονιστικές προκλήσεις που εγείρει η χρήση της τεχνολογίας αυτής, καθώς και τις μελλοντικές προοπτικές που διανοίγονται στον τομέα της υγείας.

Με την ολοκλήρωση αυτής της μελέτης, ελπίζουμε να συμβάλουμε στη συζήτηση γύρω από τη χρήση της ΤΝ στη ΝΠ, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των τρεχουσών εξελίξεων και προκλήσεων. Ευχόμαστε το περιεχόμενο αυτής της εργασίας να αποτελέσει εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη λύσεων που θα βελτιώσουν τη ζωή των ασθενών και των οικογενειών τους, ενώ παράλληλα θα ενισχύσουν την ιατρική φροντίδα μέσα από την τεχνολογία και την καινοτομία.

Λεξείς κλειδιά : Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, Βαθιά Μάθηση, Διάγνωση, Διαχείριση, Πρόγνωση

Abstract

Parkinson's Disease (PD) is one of the most prevalent neurodegenerative disorders, affecting millions of people worldwide. The progressive nature of the disease, combined with the complexity of its symptoms—both motor and non-motor—presents significant challenges for its diagnosis, management, and prognosis. Despite notable scientific and technological advancements, many questions remain unanswered, and the pursuit of more efficient, timely, and personalized approaches continues.

At the heart of this endeavor lies artificial intelligence (AI), which has the potential to transform the way we approach PD. AI, through techniques such as machine learning, deep learning, and big data analysis, offers new capabilities in the diagnosis, monitoring, and treatment of the disease. Its applications enable the early detection of symptoms, the customization of treatments based on the individualized needs of patients, and the development of predictive models that can guide clinical decision-making.

This study aims to highlight the role of AI in the management of PD, exploring its contributions to diagnosis, symptom management, and disease prognosis. Additionally, it seeks to address the ethical and regulatory challenges posed by the use of this technology, as well as the future prospects it unlocks in the field of healthcare.

By completing this study, we hope to contribute to the ongoing discussion about the use of AI in PD, providing a comprehensive overview of current advancements and challenges. We aspire for the content of this work to serve as a springboard for further research and the development of solutions that improve the lives of patients and their families while simultaneously advancing medical care through technology and innovation.

Key words: Parkinson's Disease, Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Diagnosis, Management, Prognosis

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Ματσόπουλο, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Ιδιαίτερα πολλές ευχαριστίες οφείλω στη Δρ. Ουρανία Πετροπούλου Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π., για την καθοδήγηση και σημαντική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εκπονήσεως της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τον κ. Γεώργιο Μπότη υποψήφιο διδάκτορα της ΣΗΜΜΥ, για την καθοδήγησή του αντιστοίχως. Ένα ακόμα ευχαριστώ οφείλω στους καθηγητές κ. Αθανάσιο Παναγόπουλο και κ. Παναγιώτη Τσανάκα, μέλη της εξεταστικής επιτροπής, για την συμβολή τους στην αξιολόγηση της προσπάθειας μου.

Τέλος ένα τεράστιο ευχαριστώ οφείλω στην Οικογένειά μου, καθώς και σε όλους τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν κυρίως στις δύσκολες στιγμές κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Δομπρογιάννης Χριστόφορος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας Εικόνων	12
1. Εισαγωγή	13
1.1 Ιστορικό της Νόσου του Parkinson	13
1.2 Σημασία της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Νευρολογικών Διαταραχών ...	17
1.3 Στόχοι, Σκοπός και Δομή της Εργασίας	23
2. Μεθοδολογία	25
3. Θεμελιώδεις Έννοιες	30
3.1 Παθοφυσιολογία και Συμπτώματα της Νόσου του Parkinson	30
3.2 Τρέχουσες Προσεγγίσεις στη Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση	32
3.3 Προκλήσεις στην Παρακολούθηση και Διαχείριση της Νόσου	34
4. Η Τεχνητή Νοημοσύνη στη Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση Νόσων	37
4.1 Βασικές Έννοιες της Τεχνητής Νοημοσύνης	37
4.2 Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης σε Χρόνιες Παθήσεις	42
4.3 Ηθικές και Κανονιστικές Προεκτάσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Υγεία	43
5. Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στη Νόσο του Parkinson	47
5.1 Διάγνωση μέσω Τεχνητής Νοημοσύνης	47
5.2 Διαχείριση Συμπτωμάτων και Θεραπεία με τη Βοήθεια Αλγορίθμων	50
5.3 Πρόγνωση της Πορείας της Νόσου με Μηχανική Μάθηση	53
6. Ανάλυση Βιβλιογραφίας	55
6.1 Μελέτες στην Διάγνωση	55
6.2 Μελέτες στη Διαχείριση	63
6.3 Μελέτες στην Πρόγνωση	75
7. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις	86
7.1 Σύνοψη Κύριων Ευρημάτων	86
7.2 Μελλοντικές Προοπτικές για τη Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στη Νόσο του Parkinson	88
7.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	90
Βιβλιογραφία	92

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ιστορική Ανασκόπηση της Νόσου του Parkinson (https://link.springer.com/article/10.1007/s00702-022-02505-5)	15
Εικόνα 2: Overall Flow of the Machine Learning Process (https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-022-09710-1)	19
Εικόνα 3: PD Diagnosis Using Machine Learning and Deep Learning Techniques (https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-022-09710-1)	21
Εικόνα 4: Διαδικασία Συστηματικής Ανασκόπησης (https://www.prisma-statement.org/)	25
Εικόνα 5: διάφορες επιπτώσεις της Νόσου του Parkinson (https://www.mdpi.com/2075-4418/12/1/166)	39
Εικόνα 6: στρατηγική διαδικασία ανάπτυξης και ενσωμάτωσης συσκευών και αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στον τομέα της υγείας (https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.788427/full) ...	44
Εικόνα 7: Αναπαράσταση δικτύου προγνωστικού μοντέλου (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9065876/)	48
Εικόνα 8: Ροή εργασιών όλης της διαδικασίας (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10739044/)	51
Εικόνα 9: Αλληλεπίδραση μεταξύ του κύριου μοριακού μηχανισμού που εμπλέκεται στην παθογένεση της νόσου του Πάρκινσον (PD) (https://www.mdpi.com/2218-273X/9/7/271) ..	73

1. Εισαγωγή

Η εισαγωγή αποτελεί το θεμέλιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, παρέχοντας το απαραίτητο υπόβαθρο για την κατανόηση του θέματος που πραγματεύεται. Εστιάζοντας στην αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (TN) στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της Νόσου του Parkinson, το κεφάλαιο αυτό αναδεικνύει την πολυπλοκότητα της νόσου, τη σημασία των σύγχρονων τεχνολογιών στην υγειονομική περίθαλψη και την αναγκαιότητα για στοχευμένη επιστημονική έρευνα στον τομέα αυτό.

1.1 Ιστορικό της Νόσου του Parkinson

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1817 από τον Βρετανό γιατρό James Parkinson στο έργο του *"An Essay on the Shaking Palsy"*. Σε αυτό, ο Parkinson παρουσίασε τις πρώτες κλινικές περιγραφές της νόσου, καταγράφοντας χαρακτηριστικά όπως ο τρόμος, η δυσκολία στην κίνηση και η μειωμένη σταθερότητα στάσης. Παρά τις πρώιμες παρατηρήσεις του, η κατανόηση της παθοφυσιολογίας της νόσου άρχισε να διαμορφώνεται αρκετές δεκαετίες αργότερα, καθώς οι επιστήμονες ανέπτυξαν τεχνολογίες που τους επέτρεψαν να μελετήσουν τις βαθύτερες διεργασίες στον εγκέφαλο.

Η ΝΠ αποτελεί τη δεύτερη πιο κοινή νευροεκφυλιστική νόσο μετά τη νόσο του Alzheimer. Είναι μια χρόνια, προοδευτική διαταραχή που επηρεάζει κυρίως τους ντοπαμινεργικούς νευρώνες στη μέλαινα ουσία του εγκεφάλου, οδηγώντας σε ανισορροπία της ντοπαμίνης, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη ρύθμιση της κινητικότητας [1]. Η απώλεια των ντοπαμινεργικών νευρώνων στην περιοχή αυτή προκαλεί τα χαρακτηριστικά κινητικά συμπτώματα της νόσου, όπως η βραδυκίνησία, οι τρόμοι ηρεμίας, η δυσκαμψία και η αστάθεια στάσης.

Ωστόσο, η ΝΠ δεν περιορίζεται μόνο στα κινητικά συμπτώματα. Σημαντικά μη κινητικά χαρακτηριστικά, όπως η κατάθλιψη, οι διαταραχές ύπνου, η δυσκοιλιότητα, η κόπωση και οι γνωστικές δυσλειτουργίες, επηρεάζουν την καθημερινή ζωή των ασθενών. Αυτά τα συμπτώματα συχνά προηγούνται των κινητικών, γεγονός που καθιστά τη διάγνωση της ΝΠ στα πρώιμα στάδια εξαιρετικά δύσκολη.

Παθοφυσιολογία και Εξέλιξη της Νόσου

Η κύρια παθολογική διεργασία της ΝΠ είναι η εκφύλιση των ντοπαμινεργικών νευρώνων στη μέλαινα ουσία και η μείωση των επιπέδων ντοπαμίνης στο ραβδωτό σώμα. Ωστόσο, η παθολογία της νόσου δεν περιορίζεται εκεί. Εμφανίζεται εκφύλιση και άλλων νευρωνικών

συστημάτων, όπως τα σεροτονινεργικά και τα κατεχολαμινεργικά, ενώ χαρακτηριστικά ευρήματα, όπως τα σωμάτια Lewy, παρατηρούνται στους νευρώνες των ασθενών. Τα σωμάτια Lewy, τα οποία περιέχουν εναποθέσεις πρωτεΐνης α-συνουκλεΐνης, θεωρούνται σημαντικός παθολογικός δείκτης της νόσου [1].

Η νόσος εξελίσσεται αργά, και τα κλινικά συμπτώματα γίνονται εμφανή μόνο όταν έχει ήδη σημειωθεί σημαντική απώλεια νευρώνων – έως και 60% στη μέλαινα ουσία και 80% της ντοπαμίνης στο ραβδωτό σώμα. Η πρόοδος της ΝΠ είναι ετερογενής, με τους ασθενείς να εμφανίζουν διαφορετικά μοτίβα συμπτωμάτων και ρυθμούς εξέλιξης.

Συνεισφορά της Σιδηροπάθειας στην Παθογένεια της Νόσου

Η έλλειψη ισορροπίας στα επίπεδα του σιδήρου στον εγκέφαλο φαίνεται να παίζει ρόλο στην παθογένεια της ΝΠ. Ο σίδηρος, αν και απαραίτητος για πολλές βιοχημικές διεργασίες στον εγκέφαλο, όταν υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία κυτταροτοξικών ριζών υδροξυλίου μέσω της αντίδρασης Fenton. Αυτές οι ρίζες προκαλούν οξειδωτικό στρες και βλάβες στους νευρώνες [2]. Στη ΝΠ, παρατηρούνται ανισορροπίες στη μεταφορά και αποθήκευση του σιδήρου, με την "δεξαμενή ελεύθερου σιδήρου" (labile iron pool) να αυξάνεται και να συμβάλλει στη νευρωνική δυσλειτουργία.

Η ομοιόσταση του σιδήρου στον εγκέφαλο διατηρείται μέσω πολύπλοκων μηχανισμών, όπως η δράση πρωτεϊνών μεταφοράς και αποθήκευσης (π.χ. φερριτίνη), οι οποίες ελέγχουν την πρόσβαση και την αποθήκευση του σιδήρου. Στη ΝΠ, αυτές οι διεργασίες διαταράσσονται, γεγονός που επιδεινώνει την ήδη υφιστάμενη νευρωνική βλάβη.

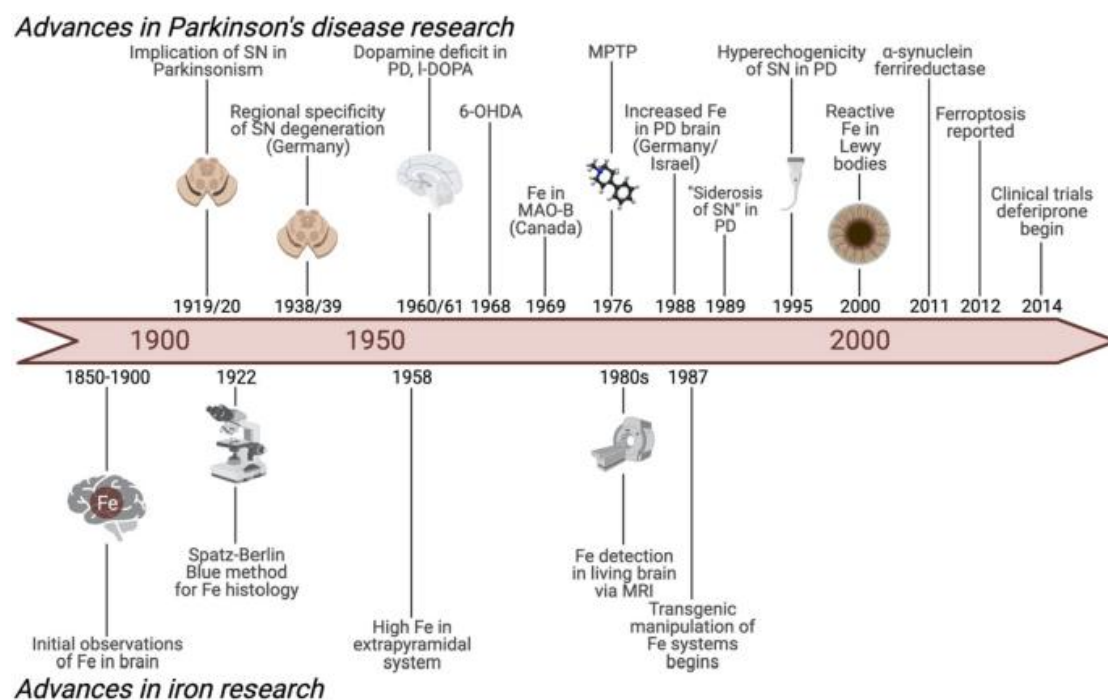
Διαγνωστικές και Θεραπευτικές Προκλήσεις

Η διάγνωση της ΝΠ βασίζεται κυρίως σε κλινικά κριτήρια, καθώς δεν υπάρχουν βιολογικοί δείκτες που να επιτρέπουν την απόλυτη επιβεβαίωση της νόσου. Παρά την πρόοδο στις τεχνικές απεικόνισης, όπως η σπινθηρογραφία με DaTSCAN, η διάγνωση συχνά καθυστερεί, ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδια. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για την ανάπτυξη νέων, πιο αξιόπιστων διαγνωστικών εργαλείων.

Στο πεδίο της θεραπείας, αν και υπάρχουν φάρμακα που διαχειρίζονται τα συμπτώματα, όπως η λεβοντόπα και οι αγωνιστές ντοπαμίνης, δεν έχει βρεθεί ακόμα θεραπεία που να ανακόπτει ή να επιβραδύνει την εξέλιξη της νόσου [2]. Καινοτόμες στρατηγικές, όπως η χρήση των αναστολέων υποδοχέα αδενosίνης A2A, η γονιδιακή θεραπεία, η νανοτεχνολογία και η βαθιά εγκεφαλική διέγερση, παρουσιάζουν υποσχόμενα αποτελέσματα σε κλινικές δοκιμές.

Ιστορική Ανασκόπηση της Νόσου του Parkinson και του Ρόλου του Σιδήρου

Η ιστορία της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) είναι πλούσια σε ερευνητικές καινοτομίες και προόδους που συνέβαλαν στην κατανόηση της παθοφυσιολογίας της και των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξή της, όπως ο ρόλος του σιδήρου. Η εξέλιξη της έρευνας αναδεικνύεται μέσα από δύο άξονες: την προοδευτική κατανόηση της νόσου και τη διερεύνηση της σημασίας του σιδήρου στον εγκέφαλο.



Εικόνα 1: Ιστορική Ανασκόπηση της Νόσου του Parkinson (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00702-022-02505-5>)

Πρώιμες Παρατηρήσεις για τη Νόσο του Parkinson (1850–1900)

Οι πρώτες παρατηρήσεις σχετικά με το ρόλο του σιδήρου στον εγκέφαλο ξεκινούν μεταξύ του 1850 και 1900, όταν οι επιστήμονες διαπίστωσαν την παρουσία του μετάλλου σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου. Κατά την ίδια περίοδο, η ΝΠ είχε ήδη περιγραφεί από τον James Parkinson, αλλά η σχέση μεταξύ του σιδήρου και της νόσου δεν είχε ακόμα διερευνηθεί.

Η χρήση της μεθόδου Spatz-Berlin Blue το 1922 για την ιστολογική ανάλυση του εγκεφάλου αποτέλεσε ένα κρίσιμο βήμα. Αυτή η τεχνική επέτρεψε την αναγνώριση και τη χαρτογράφηση της κατανομής του σιδήρου, θέτοντας τα θεμέλια για τη μετέπειτα έρευνα σχετικά με τον ρόλο του στην υγεία του εγκεφάλου και τις νευροεκφυλιστικές παθήσεις.

Μεσοπολεμική Περίοδος και Ανακαλύψεις στη Νευρολογία (1919–1939)

Κατά την περίοδο 1919–1920, η έρευνα επικεντρώθηκε στη σημασία της μέλαινας ουσίας (substantia nigra, SN) στη ΝΠ. Οι πρώτες υποθέσεις για την εμπλοκή της SN στη νόσο οδήγησαν σε περαιτέρω έρευνες που επιβεβαίωσαν την κρίσιμη σημασία της περιοχής αυτής

στη ρύθμιση της κινητικότητας. Το 1938–1939, οι επιστήμονες στη Γερμανία διατύπωσαν τη θεωρία της τοπικής εκφύλισης στη μέλαινα ουσία, γεγονός που άνοιξε το δρόμο για τη μελέτη των εγκεφαλικών κυκλωμάτων που εμπλέκονται στη ΝΠ.

Η Εποχή της Χημικής Ανακάλυψης (1958–1968)

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, σημειώθηκε σημαντική πρόοδος με την ανακάλυψη του ρόλου του σιδήρου στο εξωπυραμιδικό σύστημα. Το 1958, οι επιστήμονες παρατήρησαν αυξημένα επίπεδα σιδήρου σε αυτές τις περιοχές, ενώ το 1960–1961 καταγράφηκαν τα πρώτα ευρήματα για τη συσχέτιση της ανεπάρκειας ντοπαμίνης με τη ΝΠ. Η εισαγωγή της L-ντόπα (L-DOPA) ως θεραπεία αποτέλεσε ένα ιστορικό ορόσημο, αλλά και αφετηρία για νέες έρευνες που διερεύνησαν περαιτέρω τους νευροχημικούς μηχανισμούς της νόσου.

Το 1968, η χρήση της 6-υδροξυ-ντοπαμίνης (6-OHDA) ως ερευνητικού εργαλείου επέτρεψε την αναπαραγωγή πειραματικών μοντέλων της ΝΠ σε ζώα, ενισχύοντας την κατανόηση της νευρωνικής εκφύλισης.

Αυξημένη Εστίαση στον Σίδηρο και Νέες Θεωρίες (1976–1989)

Κατά τη δεκαετία του 1970 και του 1980, η έρευνα στράφηκε στο ρόλο του σιδήρου στη ΝΠ. Το 1976 καταγράφηκαν αυξημένα επίπεδα σιδήρου στο ένζυμο MAO-B στον εγκέφαλο, ενώ το 1987 έγινε δυνατή η ανίχνευση του σιδήρου στον εγκέφαλο μέσω της μαγνητικής τομογραφίας (MRI). Αυτή η τεχνολογική καινοτομία παρείχε μια μη επεμβατική μέθοδο για τη μελέτη των αλλαγών στα επίπεδα σιδήρου και την κατανόηση της συσχέτισής τους με τη ΝΠ.

Το 1988, στη Γερμανία και το Ισραήλ, εντοπίστηκαν υψηλά επίπεδα σιδήρου στον εγκέφαλο ασθενών με ΝΠ, ενώ εισήχθη ο όρος "σιδήρωση της μέλαινας ουσίας" (siderosis of substantia nigra). Αυτή η ανακάλυψη τόνισε την πιθανή τοξικότητα του υπερβολικού σιδήρου και τη συμβολή του στην παραγωγή ελεύθερων ριζών μέσω της αντίδρασης Fenton, που προκαλεί οξειδωτικό στρες και νευρωνική βλάβη.

Νεότερες Εξελίξεις και Τεχνολογίες (1995–2014)

Η δεκαετία του 1990 χαρακτηρίστηκε από την παρατήρηση της υπερηχογενετικότητας στη μέλαινα ουσία σε ασθενείς με ΝΠ. Αυτή η μέθοδος παρείχε έναν πολλά υποσχόμενο βιοδείκτη για την πρόιμη διάγνωση της νόσου. Το 2000, αναγνωρίστηκε η ύπαρξη αντιδραστικού σιδήρου στα σωματίδια Lewy, ενισχύοντας τη θεωρία ότι ο σίδηρος συνεισφέρει στη νευρωνική βλάβη.

Η επόμενη δεκαετία είδε την έναρξη κλινικών δοκιμών για θεραπείες που στόχευαν στη ρύθμιση των επιπέδων του σιδήρου. Η εισαγωγή της δεφεροξαμίνης και άλλων χηλικών

παραγόντων αποτέλεσε μια καινοτόμο προσέγγιση για τη μείωση της τοξικότητας του σιδήρου.

Συμπεράσματα και Σύγχρονες Κατευθύνσεις

Η εξέλιξη της έρευνας για τη ΝΠ και τον ρόλο του σιδήρου αναδεικνύει την πολυπλοκότητα της νόσου και τη σημασία των πολυεπιστημονικών προσεγγίσεων. Από τις πρώιμες παρατηρήσεις έως τις σύγχρονες τεχνολογίες, η κατανόηση της ΝΠ έχει προχωρήσει σημαντικά. Παρόλα αυτά, πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Οι μελλοντικές κατευθύνσεις περιλαμβάνουν την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών βιοδεικτών, την περαιτέρω διερεύνηση του ρόλου του σιδήρου και την ενσωμάτωση καινοτόμων θεραπειών που στοχεύουν στη νευροπροστασία και τη ρύθμιση της ομοιόστασης του σιδήρου στον εγκέφαλο.

Η κατανόηση της ΝΠ έχει προχωρήσει σημαντικά από την πρώτη περιγραφή της, αλλά παραμένουν πολλές άγνωστες πτυχές. Η νόσος είναι πολυπαραγοντική, και οι προσπάθειες κατανόησης της παθογένειάς της συνεχίζονται, ενώ η ανακάλυψη νέων θεραπευτικών στρατηγικών είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της ζωής των ασθενών. Η ανάπτυξη πιο στοχευμένων διαγνωστικών εργαλείων και θεραπειών αποτελεί βασική πρόκληση και προτεραιότητα για την επιστημονική κοινότητα.

1.2 Σημασία της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Νευρολογικών Διαταραχών

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN) αποτελεί μια από τις πιο καινοτόμες τεχνολογίες της εποχής μας, προσφέροντας τεράστιες δυνατότητες στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Στη διάγνωση και διαχείριση νευρολογικών διαταραχών, όπως η Νόσος του Parkinson (ΝΠ), η TN έχει εισάγει μεθόδους που ξεπερνούν τα όρια της παραδοσιακής ιατρικής πρακτικής. Μέσω της αξιοποίησης δεδομένων και της ανάπτυξης αλγορίθμων μηχανικής και βαθιάς μάθησης, η TN παρέχει νέα εργαλεία για την ανίχνευση, τη θεραπεία και την παρακολούθηση ασθενών, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη και εξατομικευμένη προσέγγιση.

Η TN ως Εργαλείο Διάγνωσης

Η εφαρμογή της TN στη διάγνωση της ΝΠ βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητά της να αναλύει και να εξάγει πληροφορίες από μεγάλα και σύνθετα σύνολα δεδομένων.

Παραδοσιακά, η διάγνωση της ΝΠ βασιζόταν σε κλινικά κριτήρια και την παρατήρηση κινητικών συμπτωμάτων, όπως η βραδυκινησία και οι τρόμοι. Ωστόσο, οι συμβατικές διαγνωστικές προσεγγίσεις συχνά αποτυγχάνουν να ανιχνεύσουν τη νόσο στα πρώιμα στάδια, όταν τα συμπτώματα είναι ακόμα υποκλινικά ή μοιάζουν με άλλες νευρολογικές διαταραχές.

Οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης (machine learning) επιτρέπουν την ανάπτυξη αλγορίθμων που μπορούν να εντοπίζουν κρυφά μοτίβα και ανωμαλίες σε δεδομένα απεικόνισης εγκεφάλου, βιολογικούς δείκτες και κινητικές μετρήσεις. Για παράδειγμα, τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning) χρησιμοποιούνται για την ανάλυση εικόνων μαγνητικής τομογραφίας (MRI) και σπινθηρογραφίας με DaTSCAN [3], προσφέροντας διαγνωστική ακρίβεια που ξεπερνά εκείνη της παραδοσιακής προσέγγισης. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι σε θέση να διακρίνουν ασθενείς με ΝΠ από υγιή άτομα, ακόμα και όταν οι διαφορές στις εγκεφαλικές δομές είναι ελάχιστες.

Η μηχανική μάθηση προσφέρει επίσης δυνατότητες στην ανάλυση μη παραδοσιακών δεδομένων, όπως φωνητικά δείγματα και δεδομένα από φορητές συσκευές. Η ανάλυση φωνής, για παράδειγμα, μπορεί να ανιχνεύσει αλλαγές στην άρθρωση και τον τόνο που συχνά προηγούνται των κινητικών συμπτωμάτων. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη παρέμβαση και την καλύτερη διαχείριση της νόσου.

Εξατομικευμένη Διαχείριση μέσω TN

Η TN δεν περιορίζεται μόνο στη διάγνωση αλλά διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση των συμπτωμάτων της ΝΠ. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών στρατηγικών που βασίζονται στα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε ασθενούς. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων από αισθητήρες κίνησης, έξυπνα ρολόγια και άλλες φορητές συσκευές, οι κλινικοί ιατροί μπορούν να προσαρμόζουν τις δόσεις των φαρμάκων ή τις φυσικοθεραπευτικές παρεμβάσεις, βελτιστοποιώντας την απόκριση του ασθενούς στη θεραπεία.

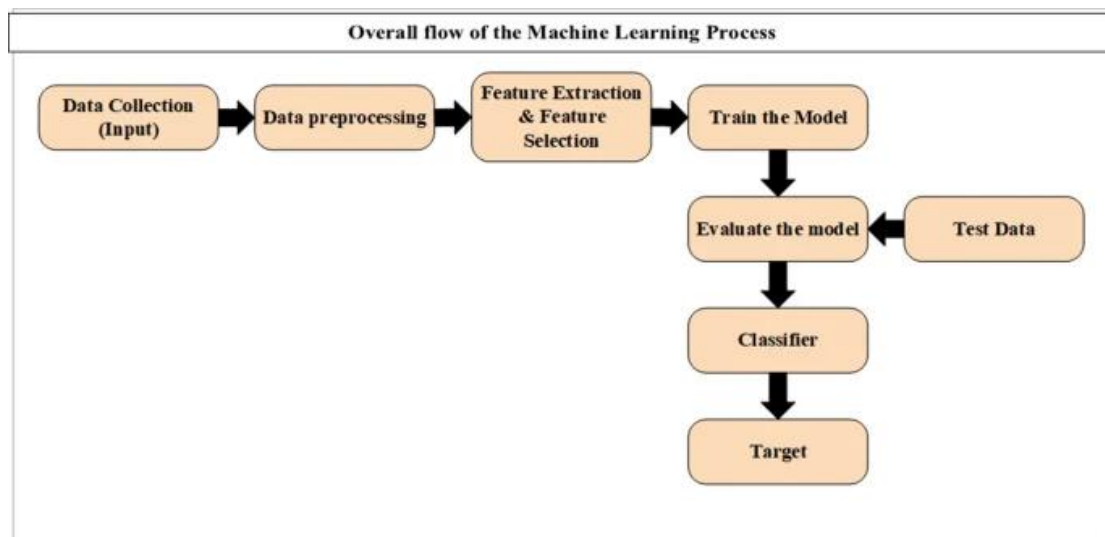
Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μέσω φορητών συσκευών επιτρέπει τη συνεχή αξιολόγηση της κινητικής και μη κινητικής κατάστασης του ασθενούς. Αυτές οι συσκευές συλλέγουν δεδομένα, όπως αριθμός βημάτων, ανάλυση βηματισμού, και καρδιακός ρυθμός, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται από αλγόριθμους TN για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών [4]. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε κλινικές και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών.

Προκλήσεις και Περιορισμοί

Παρά τις σημαντικές προόδους, η εφαρμογή της TN στη ΝΠ συνοδεύεται από προκλήσεις. Ένας από τους κύριους περιορισμούς είναι η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των αλγορίθμων. Τα δεδομένα που συλλέγονται πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και υψηλής ποιότητας, καθώς οποιαδήποτε προκατάληψη ή σφάλμα μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των προβλέψεων.

Επιπλέον, η διαφάνεια των αλγορίθμων αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα. Πολλές τεχνικές TN, ειδικά τα μοντέλα βαθιάς μάθησης, χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο του "μαύρου κουτιού", όπου ο τρόπος λήψης των αποφάσεων δεν είναι εύκολα κατανοητός. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αμφιβολίες σχετικά με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και να περιορίσει την αποδοχή τους από τους κλινικούς ιατρούς.

Τέλος, η ηθική διάσταση της χρήσης TN στην υγεία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Η προστασία των προσωπικών δεδομένων των ασθενών, η διασφάλιση της δικαιοσύνης στην πρόσβαση σε αυτές τις τεχνολογίες και η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια, όπως ο GDPR, είναι ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη της TN στην υγειονομική περίθαλψη.



Εικόνα 2: Overall Flow of the Machine Learning Process (<https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-022-09710-1>)

Πρώτη Εικόνα: "Overall Flow of the Machine Learning Process"

Η πρώτη εικόνα απεικονίζει τη συνολική ροή της διαδικασίας μηχανικής μάθησης (Machine Learning), περιγράφοντας τα βασικά στάδια που ακολουθούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης ή ταξινόμησης. Αυτή η διαδικασία αποτελεί το θεμέλιο για την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων της υγειονομικής περίθαλψης και της διάγνωσης ασθενειών όπως η Νόσος του Parkinson (ΝΠ).

1. Συλλογή Δεδομένων (Data Collection):

Το πρώτο και πιο κρίσιμο βήμα είναι η συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα που

συλλέγονται μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως απεικονιστικές εξετάσεις (MRI, PET), φυσιολογικά σήματα (EEG, EMG) ή συμπεριφορικά δεδομένα (χειρόγραφες σημειώσεις, ανάλυση βάρδισης). Η ποιότητα και η ακρίβεια των δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του μοντέλου.

2. Προεπεξεργασία Δεδομένων (Data Preprocessing):

Τα συλλεγόμενα δεδομένα σπάνια είναι άμεσα έτοιμα για ανάλυση. Το στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει τη διόρθωση σφαλμάτων, την κανονικοποίηση των δεδομένων, την αφαίρεση θορύβου και την αντιμετώπιση ελλিপών τιμών. Η προεπεξεργασία διασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι κατάλληλα για χρήση στο επόμενο στάδιο.

3. Εξαγωγή και Επιλογή Χαρακτηριστικών (Feature Extraction & Feature Selection):

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών αφορά την απομόνωση των πιο σχετικών στοιχείων από το σύνολο των δεδομένων, ενώ η επιλογή χαρακτηριστικών περιλαμβάνει την αναγνώριση των πιο σημαντικών μεταβλητών που επηρεάζουν την απόδοση του μοντέλου. Αυτή η διαδικασία μειώνει την πολυπλοκότητα των δεδομένων και βελτιώνει τη γενική απόδοση.

4. Εκπαίδευση του Μοντέλου (Train the Model):

Στο στάδιο αυτό, τα προεπεξεργασμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του μοντέλου μηχανικής μάθησης. Διαφορετικοί αλγόριθμοι, όπως οι μέθοδοι επιβλεπόμενης μάθησης (supervised learning), μη επιβλεπόμενης μάθησης (unsupervised learning) ή ενισχυμένης μάθησης (reinforcement learning), εφαρμόζονται ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.

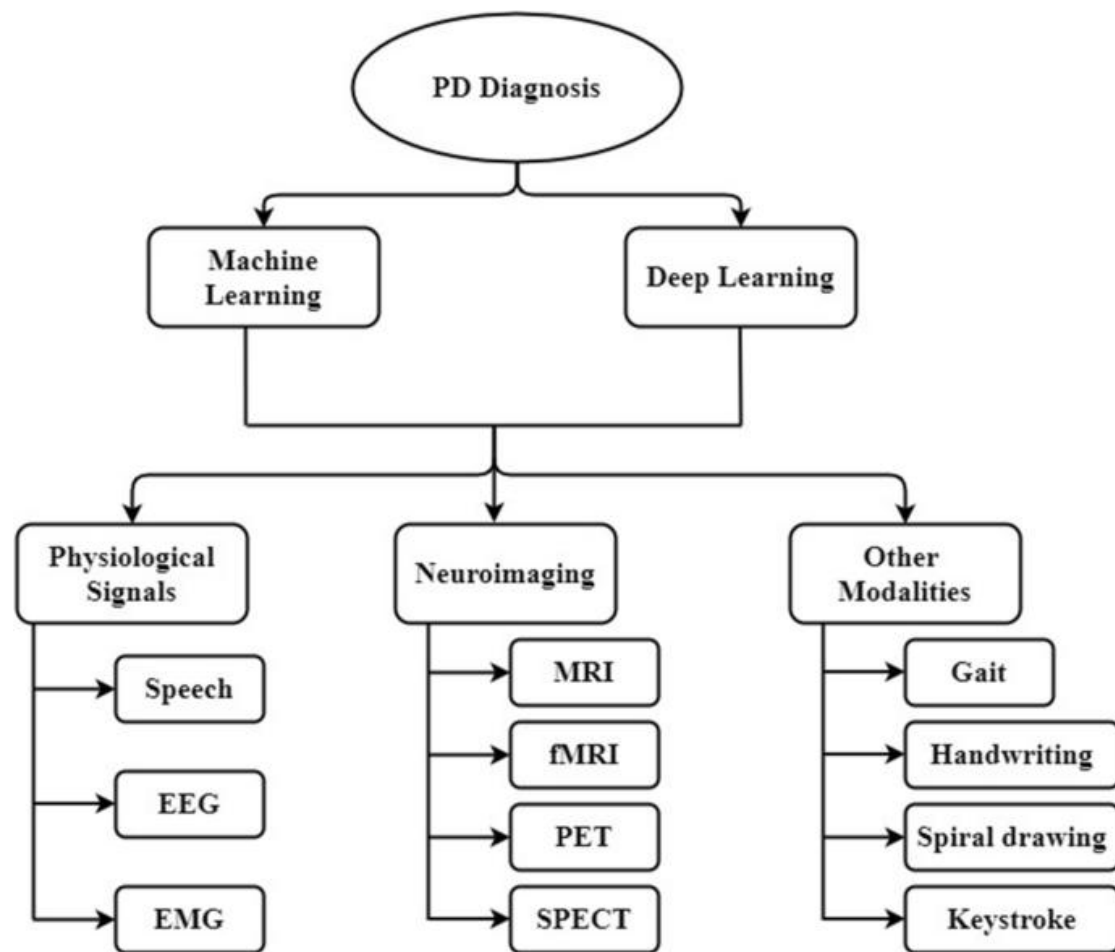
5. Αξιολόγηση του Μοντέλου (Evaluate the Model):

Το εκπαιδευμένο μοντέλο αξιολογείται χρησιμοποιώντας δεδομένα δοκιμών (test data) που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την εκπαίδευση. Αυτό επιτρέπει την εκτίμηση της ακρίβειας, της ευαισθησίας και της εξειδίκευσης του μοντέλου, διασφαλίζοντας ότι είναι κατάλληλο για πραγματική εφαρμογή.

6. Ταξινόμητής (Classifier) και Στόχος (Target):

Ο ταξινόμητής χρησιμοποιεί τα εκπαιδευμένα δεδομένα για να προβλέψει την έξοδο (target). Στην περίπτωση της ΝΠ, για παράδειγμα, μπορεί να προβλέπει εάν ένας ασθενής έχει υψηλή πιθανότητα εμφάνισης της νόσου βάσει των χαρακτηριστικών του.

Αυτή η διαδικασία αντικατοπτρίζει τη δομημένη προσέγγιση που απαιτείται για τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού και αξιόπιστου μοντέλου μηχανικής μάθησης.



Εικόνα 3: PD Diagnosis Using Machine Learning and Deep Learning Techniques
(<https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-022-09710-1>)

Δεύτερη Εικόνα: "PD Diagnosis Using Machine Learning and Deep Learning Techniques"

Η δεύτερη εικόνα παρουσιάζει τις διαφορετικές μεθοδολογίες που εφαρμόζονται στη διάγνωση της ΝΠ, χρησιμοποιώντας μηχανική μάθηση και βαθιά μάθηση. Απεικονίζει τη διαφοροποίηση μεταξύ των φυσιολογικών σημάτων, των απεικονιστικών μεθόδων και άλλων μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων.

1. Μηχανική Μάθηση και Βαθιά Μάθηση:

- **Μηχανική Μάθηση:** Περιλαμβάνει αλγορίθμους που βασίζονται στη στατιστική και τη μοντελοποίηση δεδομένων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση δεδομένων που είναι δομημένα ή ημιδομημένα.

- **Βαθιά Μάθηση:** Εστιάζει σε πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα που έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν πρότυπα και σχέσεις σε εξαιρετικά μεγάλα και περίπλοκα δεδομένα.

2. Φυσιολογικά Σήματα (Physiological Signals):

- **Ομιλία (Speech):** Ανάλυση αλλαγών στην ένταση, τον ρυθμό και τη χροιά της φωνής, που μπορεί να υποδεικνύουν πρόωρα συμπτώματα της ΝΠ.
- **EEG (Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα):** Καταγραφή εγκεφαλικών κυμάτων για τον εντοπισμό ανωμαλιών στις νευρωνικές δραστηριότητες.
- **EMG (Ηλεκτρομυογράφημα):** Ανάλυση των ηλεκτρικών σημάτων των μυών για την ανίχνευση κινητικών διαταραχών.

3. Νευροαπεικόνιση (Neuroimaging):

- **MRI (Μαγνητική Τομογραφία):** Ανίχνευση δομικών αλλαγών στον εγκέφαλο.
- **fMRI (Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία):** Παρακολούθηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων κινήσεων.
- **PET και SPECT:** Χαρτογράφηση των νευροδιαβιβαστών, όπως η ντοπαμίνη, που είναι κρίσιμοι για την κατανόηση της ΝΠ.

4. Άλλες Μεθοδολογίες (Other Modalities):

- **Ανάλυση Βάδισης (Gait):** Παρακολούθηση της σταθερότητας και των μοτίβων κίνησης.
- **Χειρόγραφες Σημειώσεις (Handwriting):** Ανάλυση αλλαγών στη γραφή που συνδέονται με τη βραδυκίνηση.
- **Σπειροειδής Σχεδίαση (Spiral Drawing):** Χρήση ασκήσεων σχεδίασης για την εκτίμηση της κινητικής λειτουργίας.
- **Πληκτρολόγηση (Keystroke):** Μελέτη των μοτίβων πληκτρολόγησης για την ανίχνευση κινητικών καθυστερήσεων.

Συμπέρασμα

Οι δύο εικόνες προσφέρουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της διαδικασίας εφαρμογής της ΤΝ στη διάγνωση της ΝΠ. Η πρώτη περιγράφει τη δομή και τα στάδια της μηχανικής μάθησης, ενώ η δεύτερη αναδεικνύει τις διαφορετικές τεχνικές και μεθοδολογίες που εφαρμόζονται στη

διάγνωση. Αυτές οι διαδικασίες, συνδυάζοντας δεδομένα από ποικίλες πηγές, έχουν τη δυνατότητα να μεταμορφώσουν την ιατρική πρακτική, παρέχοντας νέες δυνατότητες για την έγκαιρη διάγνωση και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Η TN έχει αναδειχθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο στη διαχείριση νευρολογικών διαταραχών, προσφέροντας πρωτοφανείς δυνατότητες στη διάγνωση, τη διαχείριση και την παρακολούθηση της ΝΠ. Παρά τις προκλήσεις, η συνεχής εξέλιξη των αλγορίθμων, η βελτίωση των δεδομένων και η ενσωμάτωση ηθικών και κανονιστικών πλαισίων αποτελούν τα θεμέλια για μια πιο ολοκληρωμένη και αποτελεσματική χρήση της TN στην υγεία. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η TN αναμένεται να διαδραματίσει ακόμα πιο σημαντικό ρόλο στην εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη, μεταμορφώνοντας την εμπειρία τόσο των ασθενών όσο και των ιατρών.

1.3 Στόχοι, Σκοπός και Δομή της Εργασίας

Ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του ρόλου της TN στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της ΝΠ, με έμφαση στις πιο πρόσφατες και καινοτόμες εφαρμογές. Επιπλέον, η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τις προκλήσεις και τις προοπτικές που συνδέονται με την εφαρμογή της TN στη διαχείριση νευρολογικών διαταραχών.

Ο σκοπός είναι διττός: αφενός, η συστηματική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων, και αφετέρου, η παρουσίαση στοχευμένων προτάσεων για τη μελλοντική ανάπτυξη και αξιοποίηση της TN στον τομέα αυτό.

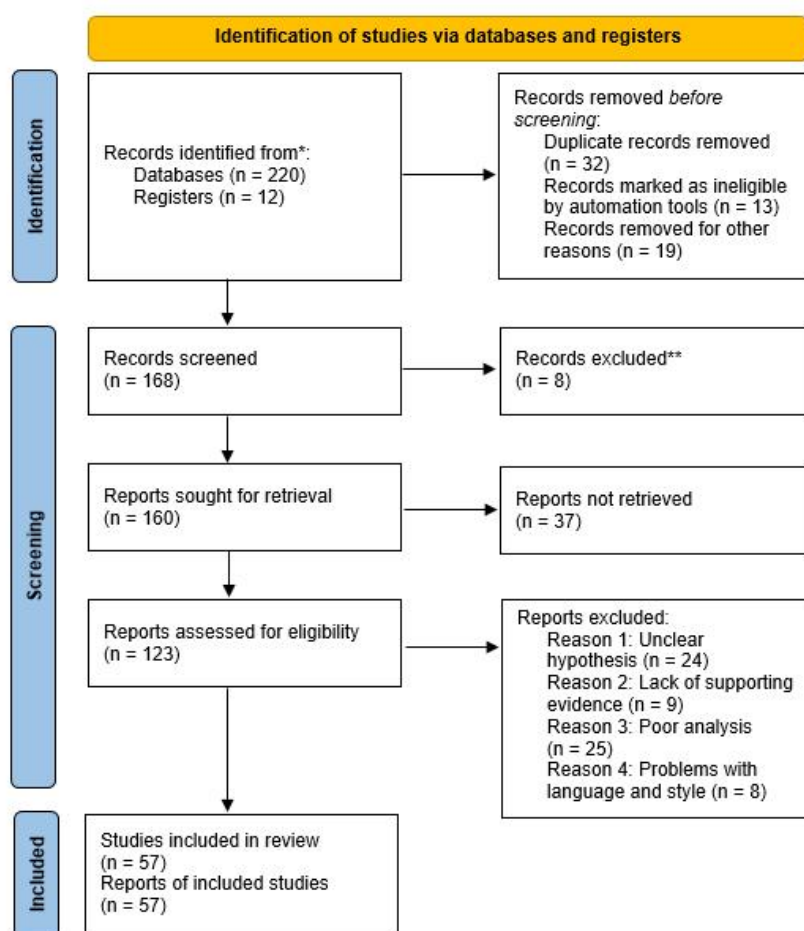
Η δομή της εργασίας περιλαμβάνει τα εξής:

- **Εισαγωγή:** Παρουσίαση του ιστορικού της ΝΠ και της σημασίας της TN.
- **Μεθοδολογία:** Περιγραφή της συστηματικής ανασκόπησης με τη μέθοδο PRISMA.
- **Γενικές Γνώσεις:** Παθοφυσιολογία και τρέχουσες προσεγγίσεις για τη ΝΠ.
- **Η Τεχνητή Νοημοσύνη στις Νευρολογικές Παθήσεις:** Εφαρμογές και ηθικές διαστάσεις.
- **Εφαρμογές στη ΝΠ:** Διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση μέσω TN.
- **Ανάλυση Βιβλιογραφίας:** Συστηματική καταγραφή των ερευνητικών ευρημάτων.
- **Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις:** Σύνοψη και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Η ολοκληρωμένη αυτή προσέγγιση προσφέρει μια σφαιρική εικόνα για το θέμα, αναδεικνύοντας τη σημασία της τεχνολογίας και της καινοτομίας στη σύγχρονη ιατρική πρακτική.

2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας βασίζεται στη συστηματική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, με στόχο την ανάδειξη των πιο κρίσιμων ερευνητικών δεδομένων που σχετίζονται με τη Νόσο του Parkinson (ΝΠ) και την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) για τη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της νόσου. Ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [5], το οποίο διασφαλίζει τη διαφάνεια και την αυστηρότητα στη διαδικασία επιλογής, ανάλυσης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων.



*Consider, if feasible to do so, reporting the number of records identified from each database or register searched (rather than the total number across all databases/registers).

**If automation tools were used, indicate how many records were excluded by a human and how many were excluded by automation tools.

Εικόνα 4: Διαδικασία Συστηματικής Ανασκόπησης (<https://www.prisma-statement.org/>)

Διαδικασία Συστηματικής Ανασκόπησης

Η διαδικασία περιελάμβανε τέσσερα βασικά στάδια: την αναγνώριση (Identification), τον έλεγχο (Screening), την αξιολόγηση καταλληλότητας (Eligibility) και την τελική ένταξη (Included), όπως αποτυπώνεται στη ροή εργασίας της εικόνας.

1. Αναγνώριση (Identification)

- | | | |
|-----------|---------|------------|
| • Συλλογή | Αρχικών | Δεδομένων: |
|-----------|---------|------------|

Στην πρώτη φάση της μεθοδολογίας, πραγματοποιήθηκε ενδελεχής αναζήτηση στις πιο έγκυρες και αξιόπιστες επιστημονικές βάσεις δεδομένων, προκειμένου να εντοπιστούν σχετικές μελέτες και άρθρα που αφορούν τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ). Συγκεκριμένα, η αναζήτηση περιλάμβανε τις εξής πλατφόρμες:

- **Google Scholar:** Χρησιμοποιήθηκε για την αρχική αναγνώριση ενός μεγάλου εύρους δημοσιεύσεων, περιλαμβάνοντας τόσο άρθρα περιοδικών όσο και πρακτικά συνεδρίων.
- **IEEE Xplore:** Εστιάστηκε σε άρθρα που σχετίζονται με τεχνολογίες TN και μηχανικής μάθησης, παρέχοντας πρόσβαση σε εξειδικευμένες μελέτες από τον τομέα της πληροφορικής και της μηχανικής.
- **ScienceDirect:** Παρείχε πρόσβαση σε άρθρα που εστιάζουν σε βιοϊατρικές εφαρμογές και τεχνικές TN για την υγεία.
- **Elsevier:** Χρησιμοποιήθηκε για την αναζήτηση άρθρων σε περιοδικά υψηλού κύρους που καλύπτουν ευρύ φάσμα θεμάτων, από τη νευρολογία έως την τεχνολογία.
- **PubMed:** Εστίασε σε βιοϊατρικές και κλινικές μελέτες, παρέχοντας πρόσβαση σε αρχεία που σχετίζονται με τη ΝΠ και τη χρήση βιοδεικτών.
- **ACM Digital Library:** Ανέδειξε δημοσιεύσεις σχετικές με την εφαρμογή της TN και την ανάπτυξη αλγορίθμων.
- **SpringerLink:** Παρείχε πληροφορίες από άρθρα και βιβλία σχετικά με τη νευροεπιστήμη και τις τεχνολογίες υγείας.
- **Wiley Online Library:** Συμπλήρωσε την έρευνα με άρθρα που εστιάζουν σε διεπιστημονικές προσεγγίσεις για τη ΝΠ.

Συνολικά, από τις παραπάνω πλατφόρμες εντοπίστηκαν **220 αρχεία** από τις βάσεις δεδομένων και **12 αρχεία** από μητρώα ερευνών, όπως το **ClinicalTrials.gov**, φτάνοντας σε ένα σύνολο **232 μελετών**. Αυτές οι μελέτες αποτέλεσαν τη βάση για την ανάλυση που

ακολούθησε, με στόχο τη διερεύνηση των εφαρμογών της ΤΝ στη ΝΠ και την ανάδειξη των πιο σημαντικών ευρημάτων και προσεγγίσεων. Η αναζήτηση βασίστηκε σε συγκεκριμένα **keywords**, όπως:

- "Parkinson's Disease"
- "Artificial Intelligence"
- "Machine Learning"
- "Deep Learning"
- "Diagnosis"
- "Management"
- "Prognosis"

Αυτά τα keywords συνδυάστηκαν με συνδέσμους Boolean (AND, OR) για να διασφαλιστεί ότι η αναζήτηση θα συμπεριλάβει τις πιο σχετικές πηγές.

- **Απομάκρυνση Διπλών Εγγραφών:**
Από τα 232 συνολικά αρχεία, **32 αφαιρέθηκαν** λόγω επαναλήψεων. Επιπλέον, **13 αρχεία** απορρίφθηκαν αυτόματα ως ακατάλληλα από εργαλεία αυτοματοποίησης, ενώ **19 αρχεία** απορρίφθηκαν για άλλους λόγους, όπως ακατάλληλη μορφή ή έλλειψη σχετικότητας. Το τελικό σύνολο των αρχείων που προχώρησαν στην επόμενη φάση ανήλθε σε **168 εγγραφές**.

2. Έλεγχος (Screening)

- **Αρχικός Έλεγχος:**
Από τις **168 εγγραφές**, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής έλεγχος, κατά τον οποίο αποκλείστηκαν **8 επιπλέον αρχεία**, καθώς δεν πληρούσαν βασικά κριτήρια, όπως η συνάφεια με τα keywords ή η επιστημονική εγκυρότητα.
- **Αναζήτηση Αναφορών:**
Τα υπόλοιπα **160 αρχεία** μετακινήθηκαν στη φάση αναζήτησης αναφορών. Ωστόσο, **37 αρχεία** δεν ήταν δυνατόν να ανακτηθούν (π.χ., λόγω περιορισμένης πρόσβασης ή διαγραφής από τις βάσεις δεδομένων).

3. Αξιολόγηση Καταλληλότητας (Eligibility)

- **Αξιολόγηση Περιεχομένου:**
Στο στάδιο αυτό, αξιολογήθηκαν **123 εγγραφές** για την καταλληλότητά τους βάσει

προκαθορισμένων κριτηρίων. Οι εγγραφές που αποκλείστηκαν χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Ασαφής Υπόθεση (24 εγγραφές):** Μελέτες που δεν παρουσίαζαν σαφή ερευνητική υπόθεση ή στόχο.
- **Έλλειψη Υποστηρικτικών Δεδομένων (9 εγγραφές):** Ελλιπής τεκμηρίωση ή απουσία επαρκών δεδομένων.
- **Κακή Ανάλυση (25 εγγραφές):** Μεθοδολογικά σφάλματα ή ανεπαρκής ανάλυση δεδομένων.
- **Γλωσσικά Προβλήματα (8 εγγραφές):** Μελέτες με σοβαρά προβλήματα στη γλώσσα και το ύφος, που δυσκόλευαν την κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

4. Τελική Ένταξη (Included)

- | • Τελική | Επιλογή | Μελετών: |
|---|---------|----------|
| Στη φάση αυτή, εντάχθηκαν συνολικά 57 μελέτες στη συστηματική ανασκόπηση. Οι μελέτες αυτές πληρούσαν πλήρως τα κριτήρια επιλογής και χαρακτηρίζονταν από υψηλή επιστημονική ποιότητα. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από αυτές τις μελέτες αποτέλεσαν τη βάση για την περαιτέρω ανάλυση και τα συμπεράσματα της εργασίας. | | |

Αξιοπιστία και Εγκυρότητα

Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου PRISMA διασφαλίζει τη συστηματικότητα και τη διαφάνεια της μεθοδολογίας. Η χρήση εργαλείων αυτοματοποίησης βοήθησε στη μείωση των σφαλμάτων κατά τη διαδικασία επιλογής, ενώ τα σαφή κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού εξασφάλισαν ότι οι τελικές μελέτες είναι σχετικές και αξιόπιστες.

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων που βασίζονται σε ισχυρά δεδομένα και αναδεικνύει τις τρέχουσες τάσεις και τα κενά στη βιβλιογραφία για τη ΝΠ και την ΤΝ.

Συμπέρασμα

Η συστηματική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, ακολουθώντας τις αρχές του PRISMA, παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Μέσα από μια αυστηρά δομημένη διαδικασία, οι 57 μελέτες που εντάχθηκαν προσφέρουν σημαντικές γνώσεις για τη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της ΝΠ με τη χρήση ΤΝ. Αυτή η ανασκόπηση θέτει τα θεμέλια για τη σύνθεση των αποτελεσμάτων και τη διαμόρφωση μελλοντικών κατευθύνσεων στην έρευνα.

3. Θεμελιώδεις Έννοιες

Η βαθύτερη κατανόηση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) απαιτεί την αναλυτική παρουσίαση των θεμελιωδών χαρακτηριστικών της, από την παθοφυσιολογία και τα συμπτώματα έως τις τρέχουσες προσεγγίσεις διάγνωσης, διαχείρισης και πρόγνωσης. Επιπλέον, οι προκλήσεις που συνδέονται με την παρακολούθηση και διαχείριση της νόσου αποτελούν κρίσιμα θέματα που απαιτούν διερεύνηση, ειδικά σε ένα πλαίσιο όπου οι τεχνολογίες αιχμής όπως η τεχνητή νοημοσύνη αρχίζουν να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο.

3.1 Παθοφυσιολογία και Συμπτώματα της Νόσου του Parkinson

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) είναι μια προοδευτική νευροεκφυλιστική διαταραχή που χαρακτηρίζεται από την απώλεια των ντοπαμινεργικών νευρώνων στη μέλαινα ουσία (substantia nigra) του εγκεφάλου. Αυτή η απώλεια οδηγεί σε σημαντική μείωση της ντοπαμίνης στον εγκέφαλο, η οποία παίζει κρίσιμο ρόλο στη ρύθμιση της κίνησης και άλλων λειτουργιών. Παρόλο που η ντοπαμίνη είναι ο κύριος νευροδιαβιβαστής που εμπλέκεται στην παθογένεια της νόσου, οι διαταραχές που σχετίζονται με τη ΝΠ είναι πιο σύνθετες, καθώς εμπλέκονται και άλλοι νευροδιαβιβαστές όπως η σεροτονίνη, η νοραδρεναλίνη και η ακετυλοχολίνη.

Ντοπαμινεργική Δυσλειτουργία και Τρόμος

Η μείωση της ντοπαμίνης στο νιγροραβδωτό σύστημα αποτελεί το βασικό παθοφυσιολογικό χαρακτηριστικό της ΝΠ. Ωστόσο, η σύνδεση μεταξύ της ντοπαμίνης και του τρόμου δεν είναι τόσο άμεση όσο συμβαίνει με άλλα κινητικά συμπτώματα, όπως η βραδυκίνησια και η μυϊκή ακαμψία. Παρόλο που η αντικατάσταση της ντοπαμίνης μέσω φαρμακευτικής αγωγής, όπως η λεβοντόπα, βελτιώνει τα περισσότερα κινητικά συμπτώματα, η αποτελεσματικότητά της στον τρόπο είναι απρόβλεπτη [6]. Ο τρόμος φαίνεται να σχετίζεται επίσης με την απορρύθμιση άλλων περιοχών του εγκεφάλου πέραν του ραβδωτού σώματος, όπως ο θάλαμος και το παλλάδιο. Μια μελέτη απεικόνισης έδειξε ότι η πυκνότητα των μεταφορέων ντοπαμίνης στο παλλάδιο, και όχι στο ραβδωτό σώμα, σχετίζεται περισσότερο με την παρουσία του τρόμου. Αυτό υποδεικνύει ότι η ντοπαμίνη παίζει έμμεσο ρόλο στον τρόπο μέσω μηχανισμών που εμπλέκουν εξωραβδωτές περιοχές.

Επιπλέον, νεότερες μελέτες έχουν αναδείξει τη σημασία του θάλαμου, και συγκεκριμένα της περιοχής VLPv (ventrolateral posterior ventral nucleus), ως κύριου στόχου της ντοπαμίνης στον τρόπο της ΝΠ. Αυτή η περιοχή φαίνεται να δέχεται νευρικές προβολές τόσο από τη

μέλαινα ουσία όσο και από άλλες δομές, όπως η περιοχή *retrobulbar*. Η αποτελεσματικότητα της ντοπαμίνης στην καταστολή του τρόμου εξαρτάται από τη δραστηριότητα αυτής της περιοχής, ενώ η αντίσταση στη θεραπεία με ντοπαμίνη μπορεί να σχετίζεται με αυξημένη δραστηριότητα σε μη ντοπαμινεργικές περιοχές, όπως η παρεγκεφαλίδα [7]. Αυτή η αντίσταση πιθανόν εξηγείται από την ανάγκη για υψηλότερες δόσεις ντοπαμίνης, οι οποίες δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς.

Ρόλος της Σεροτονίνης

Πέρα από τη ντοπαμίνη, αυξανόμενες ενδείξεις υποδεικνύουν ότι η σεροτονίνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο της ΝΠ. Πρόσφατα δεδομένα από το *Parkinson's Progression Markers Initiative (PPMI)* έδειξαν ότι η διαθεσιμότητα των μεταφορέων σεροτονίνης στον ραφή πυρήνα μειώνεται στους ασθενείς με ΝΠ, ενώ η σοβαρότητα του τρόμου συσχετίζεται με τη μείωση αυτής της διαθεσιμότητας [6]. Επιπλέον, ασθενείς με τρόπο που αντιστέκεται στη ντοπαμίνη εμφανίζουν ακόμη μεγαλύτερη μείωση στους μεταφορείς σεροτονίνης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η σεροτονίνη μπορεί να είναι υποσχόμενος στόχος θεραπείας για αυτό το υποσύνολο ασθενών [7]. Παρόλο που η χρήση σεροτονινεργικών θεραπειών, όπως η κλοζαπίνη, έχει δείξει ορισμένα θετικά αποτελέσματα, χρειάζονται περισσότερες μελέτες για να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης.

Ρόλος της Νοραδρεναλίνης

Η νοραδρεναλίνη φαίνεται επίσης να συνεισφέρει στον τρόπο της ΝΠ, κυρίως μέσω της δράσης της στον τόπο κυανό (*locus coeruleus*), την κύρια πηγή νοραδρεναλίνης στον εγκέφαλο. Ασθενείς με τρόπο-κυρίαρχη μορφή της ΝΠ εμφανίζουν μικρότερη εκφύλιση του τόπου κυανού, ενώ η αυξημένη δέσμευση υποδοχέων νοραδρεναλίνης παρατηρείται σε αυτές τις περιπτώσεις. Επιπλέον, το άγχος και το ψυχολογικό στρες, τα οποία ενεργοποιούν το νοραδρενεργικό σύστημα, έχουν συσχετιστεί με αύξηση του τρόμου [6]. Η αποτελεσματικότητα της λεβοντόπα φαίνεται να μειώνεται κατά τη διάρκεια περιόδων στρες, υποδεικνύοντας ότι εναλλακτικές θεραπείες που στοχεύουν στο νοραδρενεργικό σύστημα, όπως οι βήτα-αναστολείς, μπορεί να είναι χρήσιμες σε περιπτώσεις τρόμου που σχετίζεται με το άγχος.

Ρόλος της Ακετυλοχολίνης

Η ακετυλοχολίνη υπήρξε ένας από τους πρώτους στόχους θεραπείας για τη ΝΠ. Παρόλο που ο ακριβής μηχανισμός της παραμένει ασαφής, θεωρείται ότι οι χολινεργικοί ενδονευρώνες στο ραβδωτό σώμα υπερδραστηριοποιούνται, αναστέλλοντας την απελευθέρωση ντοπαμίνης μέσω μουσκαρινικής ενεργοποίησης. Αντιχολινεργικά φάρμακα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη

θεραπεία του τρόμου, ωστόσο οι παρενέργειές τους περιορίζουν τη χρήση τους, ειδικά σε ηλικιωμένους ασθενείς.

Συμπεράσματα

Η παθογένεια της ΝΠ είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, με τη ντοπαμίνη να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο, αλλά να μην επαρκεί για να εξηγήσει όλες τις πτυχές της νόσου. Ο τρόμος, ειδικότερα, φαίνεται να εξαρτάται από την αλληλεπίδραση πολλών νευροδιαβιβαστικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων της σεροτονίνης, της νοραδρεναλίνης και της ακετυλοχολίνης. Αυτή η πολυπλοκότητα τονίζει την ανάγκη για πολυπαραγοντικές προσεγγίσεις στη θεραπεία, οι οποίες θα στοχεύουν τόσο στα ντοπαμινεργικά όσο και στα μη ντοπαμινεργικά συστήματα. Οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να εστιάσουν στην κατανόηση των μηχανισμών αυτών και στην ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπειών που να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε ασθενούς.

3.2 Τρέχουσες Προσεγγίσεις στη Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) παραμένει μία από τις πιο σύνθετες νευροεκφυλιστικές παθήσεις, με τη διάγνωση, τη διαχείριση και την πρόγνωση να παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις. Παρά την πρόοδο στις επιστημονικές και κλινικές μεθόδους, η έγκαιρη αναγνώριση και η παροχή εξατομικευμένης φροντίδας εξακολουθούν να αποτελούν ζητούμενο. Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι πιο πρόσφατες προσεγγίσεις και οι περιορισμοί τους.

Διάγνωση

Η διάγνωση της ΝΠ βασίζεται πρωτίστως στην κλινική αξιολόγηση, καθώς δεν υπάρχει ακόμα διαθέσιμη διαγνωστική δοκιμή που να παρέχει οριστική επιβεβαίωση της νόσου, ιδιαίτερα στα αρχικά της στάδια. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη λήψη ιστορικού, την παρατήρηση κινητικών συμπτωμάτων, όπως ο τρόμος ηρεμίας, η βραδυκίνησια και η μυϊκή ακαμψία, καθώς και τη διάγνωση αποκλεισμού άλλων παθήσεων [8]. Τα μη κινητικά συμπτώματα, όπως η κατάθλιψη, η άνοια και οι διαταραχές ύπνου, παρέχουν περαιτέρω ενδείξεις για την παρουσία της νόσου, αλλά συχνά παραβλέπονται στην αρχική διάγνωση.

Η χρήση τεχνικών απεικόνισης, όπως η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) και η τομογραφία εκπομπής μονοφωτονίου (SPECT), μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της διάγνωσης. Η μέθοδος DaTSCAN (dopamine transporter imaging) έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη στις περιπτώσεις όπου τα συμπτώματα παρκινσονισμού είναι ασαφή ή

αμφισβητήσιμα [9]. Ωστόσο, τα εργαλεία αυτά δεν είναι ευρέως διαθέσιμα και η χρήση τους περιορίζεται λόγω κόστους και τεχνολογικών απαιτήσεων.

Πρόσφατες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην ανίχνευση της νόσου σε προκλινικό επίπεδο, δηλαδή πριν από την εκδήλωση κινητικών συμπτωμάτων. Τα πρόδρομα συμπτώματα, όπως η διαταραχή συμπεριφοράς του ύπνου REM, η υποσμία (μείωση της όσφρησης) και η δυσκοιλιότητα, αποτελούν σημαντικούς βιοδείκτες που μπορούν να βοηθήσουν στην πρόωμη διάγνωση. Παράλληλα, η ανάλυση των γενετικών παραλλαγών και η χρήση υγρών βιοδεικτών, όπως οι συγκεντρώσεις της α-συνουκλεΐνης στο εγκεφαλονωτιαίο υγρό, προσφέρουν υποσχόμενες προοπτικές.

Διαχείριση

Η διαχείριση της ΝΠ επικεντρώνεται στη μείωση των συμπτωμάτων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών. Η θεραπεία εξακολουθεί να είναι κατά βάση συμπτωματική, καθώς δεν έχει ακόμα ανακαλυφθεί κάποια θεραπεία που να επιβραδύνει ή να αναστέλλει την εξέλιξη της νόσου.

- Φαρμακευτική**

Θεραπεία:

Η λεβοντόπα, σε συνδυασμό με την καρβιντόπα, παραμένει η πιο αποτελεσματική θεραπεία για τα κινητικά συμπτώματα της ΝΠ. Ωστόσο, η μακροχρόνια χρήση της συνδέεται με παρενέργειες, όπως οι δυσκινήσιες και οι "off periods" (περίοδοι κατά τις οποίες το φάρμακο χάνει την αποτελεσματικότητά του) [8]. Άλλες φαρμακευτικές επιλογές περιλαμβάνουν τους αγωνιστές ντοπαμίνης, τους αναστολείς της MAO-B και τους αναστολείς COMT, οι οποίοι παρατείνουν τη δράση της ντοπαμίνης.
- Μη**

Φαρμακευτικές

Παραμβάσεις:

Η φυσικοθεραπεία και η εργοθεραπεία αποτελούν κρίσιμα στοιχεία στη διαχείριση της ΝΠ, βοηθώντας στη διατήρηση της κινητικότητας και της αυτονομίας των ασθενών. Η άσκηση έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη μυϊκή δύναμη, την ισορροπία και τη συνολική φυσική κατάσταση, ενώ μειώνει τα συμπτώματα κατάθλιψης.
- Προχωρημένες**

Θεραπείες:

Σε ασθενείς με προχωρημένη ΝΠ, οι παραδοσιακές θεραπείες συχνά δεν επαρκούν. Η βαθιά εγκεφαλική διέγερση (DBS) αποτελεί μια ελάχιστα επεμβατική χειρουργική επιλογή, η οποία έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη μείωση του τρόμου και των δυσκινήσιων. Επίσης, η θεραπεία με εντερική αντλία λεβοντόπα-καρβιντόπα (LCIG) προσφέρει συνεχή απελευθέρωση φαρμάκου, μειώνοντας τις διακυμάνσεις κινητικότητας [9].

Πρόγνωση

Η πρόγνωση της ΝΠ εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία έναρξης, ο τύπος των συμπτωμάτων και η ανταπόκριση στη θεραπεία. Οι ασθενείς με ήπια κινητικά συμπτώματα και καλή ανταπόκριση στη λεβοντόπα τείνουν να έχουν πιο αργή εξέλιξη της νόσου. Αντίθετα, όσοι εμφανίζουν σοβαρά μη κινητικά συμπτώματα, όπως άνοια και ψυχιατρικές διαταραχές, παρουσιάζουν ταχύτερη επιδείνωση.

Η χρήση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning) προσφέρει νέες δυνατότητες στην πρόγνωση της νόσου. Με την ανάλυση δεδομένων από φορητές συσκευές και αισθητήρες, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να προβλέψουν την εξέλιξη των συμπτωμάτων και να προτείνουν εξατομικευμένες παρεμβάσεις. Παράλληλα, οι βιοδείκτες, όπως οι αλλαγές στη συγκέντρωση της α-συνουκλείνης και άλλων πρωτεϊνών, υπόσχονται μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόγνωση.

Συμπεράσματα

Παρά τις προόδους στις διαγνωστικές και θεραπευτικές προσεγγίσεις, η ΝΠ παραμένει μια πρόκληση για την ιατρική κοινότητα. Η έγκαιρη διάγνωση, η εξατομίκευση της θεραπείας και η ανάπτυξη καινοτόμων προσεγγίσεων παραμένουν προτεραιότητες για τη βελτίωση της φροντίδας των ασθενών. Η συνέχιση της έρευνας και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως η TN και οι γενετικοί δείκτες, θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική διαχείριση και πρόγνωση της νόσου.

3.3 Προκλήσεις στην Παρακολούθηση και Διαχείριση της Νόσου

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) χαρακτηρίζεται από την προοδευτική της φύση και την ποικιλομορφία των συμπτωμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν τόσο κινητικές όσο και μη κινητικές πτυχές. Η παρακολούθηση και η διαχείριση της νόσου παρουσιάζουν πολυάριθμες προκλήσεις, καθώς η πολυπλοκότητα της πάθησης απαιτεί εξατομικευμένες προσεγγίσεις και την εφαρμογή καινοτόμων εργαλείων. Η συγκεκριμένη ενότητα εξετάζει τις κυριότερες προκλήσεις που σχετίζονται με την παρακολούθηση και διαχείριση της ΝΠ, εστιάζοντας σε θέματα όπως η διάγνωση, η θεραπεία, η χρήση ψηφιακών εργαλείων, η ενδυνάμωση των ασθενών και οι απαιτήσεις για εξατομικευμένη φροντίδα.

1. Προκλήσεις στη Διάγνωση και Παρακολούθηση

Η κλινική παρακολούθηση της ΝΠ βασίζεται κυρίως σε υποκειμενικές μεθόδους, όπως τα ερωτηματολόγια και οι κλίμακες αξιολόγησης, όπως η Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS). Αν και αυτές οι μέθοδοι είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες, συχνά δεν

αποτυπώνουν με ακρίβεια την πραγματική κατάσταση του ασθενούς. Τα συμπτώματα της ΝΠ, όπως η βραδυκινησία, οι δυσκινησίες και οι "off" περίοδοι, συχνά εμφανίζονται με διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αντικειμενική αξιολόγηση μέσω περιστασιακών επισκέψεων στον γιατρό [10].

Η έλλειψη αντικειμενικών βιοδεικτών για την παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των θεραπειών αποτελεί σημαντική πρόκληση. Παρότι οι απεικονιστικές μέθοδοι, όπως η τομογραφία SPECT και PET, έχουν συνεισφέρει στη διάγνωση, η χρήση τους για μακροχρόνια παρακολούθηση παραμένει περιορισμένη λόγω κόστους και τεχνικών απαιτήσεων [11]. Ταυτόχρονα, οι μη κινητικές πτυχές, όπως η κατάθλιψη, η κόπωση και οι διαταραχές ύπνου, παραμένουν συχνά υποεκτιμημένες, παρότι επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα ζωής των ασθενών.

2. Ενδυνάμωση και Αυτοδιαχείριση των Ασθενών

Η συμμετοχή των ασθενών στη διαχείριση της νόσου τους αποτελεί βασικό πυλώνα της σύγχρονης ιατρικής πρακτικής. Ωστόσο, οι περισσότεροι ασθενείς με ΝΠ δεν είναι επαρκώς ενημερωμένοι για την πάθησή τους, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητά τους να λάβουν ενεργό ρόλο στις θεραπευτικές αποφάσεις. Η μετάβαση από την παραδοσιακή, πατερναλιστική προσέγγιση της φροντίδας σε ένα συμμετοχικό μοντέλο, όπου οι ασθενείς, οι φροντιστές και οι επαγγελματίες υγείας συνεργάζονται ισότιμα, είναι απαραίτητη [10].

Η εκπαίδευση των ασθενών σχετικά με τη ΝΠ, τις διαθέσιμες θεραπείες και τις αλλαγές στον τρόπο ζωής αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο της ενδυνάμωσης. Επιπλέον, η χρήση εργαλείων για κοινή λήψη αποφάσεων (shared decision-making tools) ενισχύει τη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία λήψης θεραπευτικών αποφάσεων, προσφέροντας τους τη δυνατότητα να επιλέξουν θεραπείες που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες και τις προτιμήσεις τους.

Η υποστήριξη των φροντιστών αποτελεί επίσης κρίσιμο παράγοντα για τη βελτίωση της φροντίδας. Οι φροντιστές συχνά βιώνουν υψηλά επίπεδα άγχους, κοινωνική απομόνωση και αρνητική ευεξία, γεγονός που επηρεάζει τόσο την υγεία τους όσο και την ικανότητά τους να παρέχουν αποτελεσματική φροντίδα.

3. Χρήση Ψηφιακών Εργαλείων για Ακριβέστερη Παρακολούθηση

Η εισαγωγή της ψηφιακής υγείας έχει δημιουργήσει νέες δυνατότητες για την παρακολούθηση και διαχείριση της ΝΠ. Τα φορητά ηλεκτρονικά μέσα, όπως τα έξυπνα ρολόγια και οι αισθητήρες, επιτρέπουν τη συνεχή καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως η δραστηριότητα, ο ύπνος και οι κινητικές διακυμάνσεις. Αυτά τα δεδομένα

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της πορείας της νόσου και την προσαρμογή της θεραπείας [11].

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση μέσω τηλεϊατρικής μπορεί να μειώσει την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε ιατρικές εγκαταστάσεις, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους. Επιπλέον, τα συστήματα πρόγνωσης, βασισμένα στην τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση, μπορούν να ανιχνεύουν πρώιμα σημάδια επιδείνωσης και να προτείνουν έγκαιρες παρεμβάσεις. Ωστόσο, η ευρεία υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών παραμένει περιορισμένη λόγω κόστους, τεχνικών εμποδίων και ανησυχιών για την ιδιωτικότητα των δεδομένων.

4. Εξατομικευμένη Φροντίδα και Ακριβής Ιατρική

Η ΝΠ χαρακτηρίζεται από σημαντική ετερογένεια, τόσο στα συμπτώματα όσο και στην πορεία της νόσου. Αυτή η ποικιλομορφία καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων. Η ακριβής ιατρική (precision medicine) στοχεύει στη δημιουργία προφίλ ασθενών που λαμβάνουν υπόψη γενετικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς παράγοντες, καθώς και συγκεκριμένα συμπτώματα της νόσου.

Η χρήση τεχνολογιών μεγάλης κλίμακας δεδομένων (big data) και τεχνητής νοημοσύνης προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων που μπορούν να αναλύουν δεδομένα από μεγάλες πληθυσμιακές ομάδες. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν τους κλινικούς ιατρούς να παρέχουν εξατομικευμένες προγνώσεις και θεραπείες που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε ασθενούς. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ταυτοποίηση αξιόπιστων βιοδεικτών και προγνωστικών παραμέτρων που θα καταστήσουν αυτές τις προσεγγίσεις εφαρμόσιμες στην κλινική πράξη.

Συμπεράσματα

Η παρακολούθηση και διαχείριση της ΝΠ αποτελεί πολυπαραγοντική πρόκληση, που απαιτεί συνδυασμό καινοτόμων τεχνολογιών, ενδυνάμωσης των ασθενών και ανάπτυξης εξατομικευμένων προσεγγίσεων. Η ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων και η αξιοποίηση των δεδομένων μεγάλης κλίμακας προσφέρουν νέες δυνατότητες για την ακριβέστερη αξιολόγηση της νόσου και την αποτελεσματικότερη διαχείρισή της. Παρόλα αυτά, η αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η ιδιωτικότητα των δεδομένων, η προσβασιμότητα και η εκπαίδευση των ασθενών παραμένουν ζωτικής σημασίας για την επιτυχή υλοποίηση αυτών των στρατηγικών.

4. Η Τεχνητή Νοημοσύνη στη Διάγνωση, Διαχείριση και Πρόγνωση Νόσων

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN) έχει φέρει επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για τη διάγνωση, τη διαχείριση και την πρόγνωση ασθενειών. Αποτελεί ένα από τα πλέον ανατρεπτικά εργαλεία, επιτρέποντας την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, την πρόβλεψη της πορείας ασθενειών και την εξατομίκευση των θεραπειών. Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζονται οι βασικές έννοιες της TN, οι εφαρμογές της σε χρόνιες παθήσεις και οι ηθικές και κανονιστικές προεκτάσεις που τη συνοδεύουν.

4.1 Βασικές Έννοιες της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η τεχνητή νοημοσύνη (TN) αποτελεί έναν από τους πλέον αναπτυσσόμενους τομείς της τεχνολογίας, προσφέροντας δυνατότητες που μιμούνται τις γνωστικές λειτουργίες και τη νοημοσύνη του ανθρώπινου εγκεφάλου. Οι εφαρμογές της είναι ευρύτατες, από αυτόνομα οχήματα μέχρι την υποβοηθούμενη ρομποτική χειρουργική, ενώ οι πρόσφατες εξελίξεις στην μηχανική μάθηση (Machine Learning - ML) και τη βαθιά μάθηση (Deep Learning - DL) έχουν επαναπροσδιορίσει τις δυνατότητες της TN. Η TN έχει εισέλθει δυναμικά στον τομέα της υγείας, με σημαντικές συνεισφορές στη διάγνωση, τη διαχείριση ασθενειών και την πρόγνωση, ειδικά σε νευρολογικές διαταραχές όπως η Νόσος του Parkinson (ΝΠ).

Η Μηχανική Μάθηση ως Πυλώνας της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η μηχανική μάθηση αποτελεί μια υποκατηγορία της TN, επικεντρωμένη στην ανάπτυξη αλγορίθμων που μαθαίνουν μέσω της εμπειρίας και βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Χρησιμοποιώντας μεγάλα σύνολα δεδομένων, οι αλγόριθμοι ML μπορούν να εντοπίζουν πρότυπα, να κάνουν προβλέψεις και να ταξινομούν δεδομένα. Στον τομέα της υγείας, η ML έχει βρει εφαρμογές σε κρίσιμους τομείς όπως η διάγνωση ασθενειών, η παρακολούθηση της εξέλιξης των συμπτωμάτων και η πρόγνωση της έκβασης ασθενειών.

Για παράδειγμα, στη ΝΠ, αλγόριθμοι ML έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση κινητικών συμπτωμάτων, όπως ο τρόμος και η βραδυκινησία, μέσω ανάλυσης της κίνησης του σώματος. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από φορητές συσκευές και να αξιοποιηθούν για την παροχή ακριβέστερης διάγνωσης και εξατομικευμένων θεραπειών [12]. Επιπλέον, η ML συμβάλλει στη βελτίωση της ακρίβειας της κλινικής διάγνωσης,

αντιμετωπίζοντας προκλήσεις όπως η διαφορική διάγνωση και η ανίχνευση της νόσου στα αρχικά στάδια.

Η Βαθιά Μάθηση και τα Νευρωνικά Δίκτυα

Η βαθιά μάθηση αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή της μηχανικής μάθησης, βασισμένη σε νευρωνικά δίκτυα με πολλαπλά επίπεδα (deep neural networks). Τα δίκτυα αυτά εμπνέονται από τη δομή του ανθρώπινου εγκεφάλου και είναι ικανά να επεξεργάζονται τεράστια σύνολα δεδομένων, αναγνωρίζοντας εξαιρετικά σύνθετα μοτίβα.

Στην υγειονομική περίθαλψη, η βαθιά μάθηση έχει επαναστατικοποιήσει το πεδίο της ιατρικής απεικόνισης. Εφαρμογές όπως η ανίχνευση καρκίνου του πνεύμονα από αξονικές τομογραφίες ή η διάγνωση διαβήτη μέσω αναλύσεων ματιού έχουν ήδη δείξει την αξία της DL [13]. Στη ΝΠ, οι DL αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την ανάλυση φυσιολογικών σημάτων, όπως η ηλεκτρομυογραφία (EMG) και τα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG), προσφέροντας πρωτοποριακές λύσεις για την αξιολόγηση της σοβαρότητας της νόσου και την παρακολούθηση της θεραπευτικής ανταπόκρισης.

Προκλήσεις στην Εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης

Παρόλο που η TN προσφέρει τεράστιες δυνατότητες, η εφαρμογή της συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις. Οι αλγόριθμοι ML και DL απαιτούν μεγάλα και ποιοτικά σύνολα δεδομένων για να είναι αποτελεσματικοί, κάτι που συχνά δεν είναι διαθέσιμο. Επιπλέον, η έλλειψη επιστημονικής επικύρωσης και κλινικής αξιολόγησης ορισμένων εφαρμογών TN μπορεί να οδηγήσει σε προκαταλήψεις (bias) στους αλγόριθμους, επηρεάζοντας την αξιοπιστία τους.

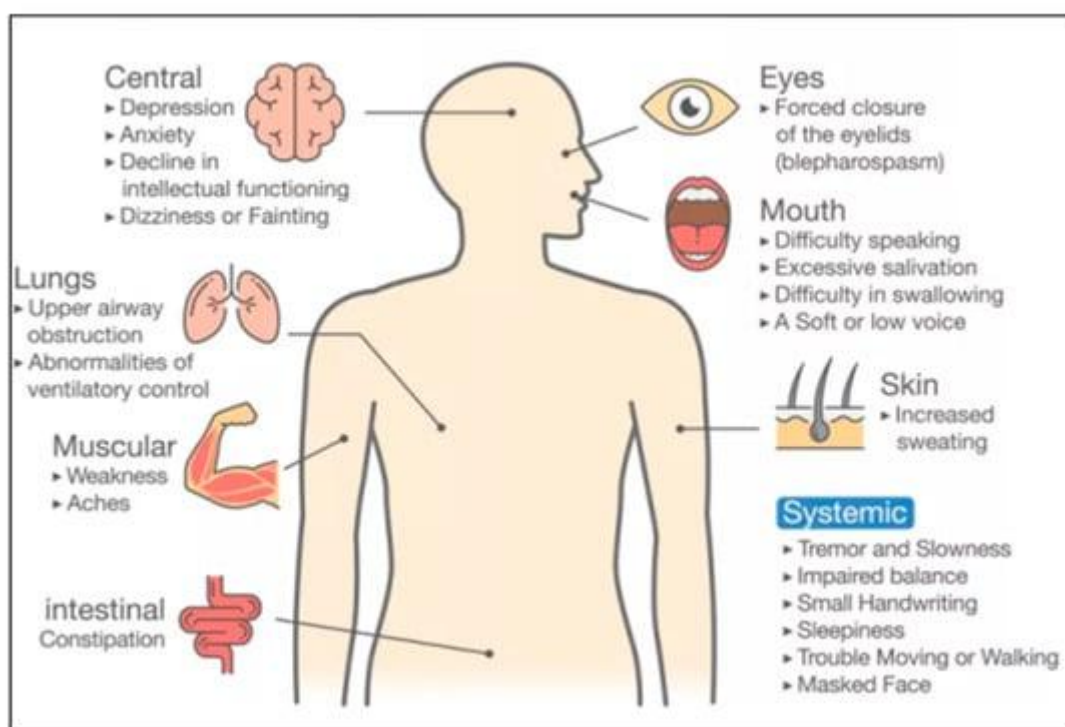
Η αλληλεπίδραση της TN με τους επαγγελματίες υγείας αποτελεί επίσης ένα κρίσιμο ζήτημα. Η αποδοχή της TN από την ιατρική κοινότητα εξαρτάται από την ικανότητα των εργαλείων να παρέχουν διαφάνεια στη λήψη αποφάσεων, ώστε οι κλινικοί ιατροί να κατανοούν τα αποτελέσματα που παράγονται από τους αλγόριθμους [13]. Ταυτόχρονα, η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια και η προστασία της ιδιωτικότητας των δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την πλήρη υιοθέτηση της TN στην κλινική πράξη.

Μελλοντικές Κατευθύνσεις και Προοπτικές

Η εξέλιξη της TN στην υγεία εξαρτάται από την ανάπτυξη εξατομικευμένων συστημάτων που θα ανταποκρίνονται στις μοναδικές ανάγκες κάθε ασθενούς. Η εισαγωγή μεθόδων μεγάλης κλίμακας δεδομένων (big data) και η χρήση προχωρημένων αλγορίθμων βαθιάς μάθησης υπόσχονται νέες δυνατότητες στη διάγνωση και διαχείριση της ΝΠ [12]. Οι φορητές συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, και οι πλατφόρμες

τηλεϊατρικής μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της φροντίδας, παρέχοντας ακριβέστερες προβλέψεις και εξατομικευμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις [13].

Η ενσωμάτωση της TN στην καθημερινή ιατρική πρακτική απαιτεί τη συνεχή συνεργασία επιστημόνων, ιατρών και τεχνολόγων. Με την περαιτέρω εξέλιξη και επικύρωση των εφαρμογών της TN, η υγειονομική περίθαλψη μπορεί να μεταμορφωθεί, προσφέροντας πιο ακριβή και αποδοτική φροντίδα στους ασθενείς με ΝΠ και άλλες χρόνιες παθήσεις.



Εικόνα 5: διάφορες επιπτώσεις της Νόσου του Parkinson (<https://www.mdpi.com/2075-4418/12/1/166>)

Η εικόνα παρουσιάζει τις διάφορες επιπτώσεις της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) στο ανθρώπινο σώμα, αναδεικνύοντας το πολυδιάστατο προφίλ της νόσου. Η απεικόνιση των συμπτωμάτων επισημαίνει την εμπλοκή πολλαπλών συστημάτων του οργανισμού, καθιστώντας σαφές ότι η ΝΠ δεν περιορίζεται μόνο σε κινητικά προβλήματα, αλλά περιλαμβάνει επίσης σημαντικές μη κινητικές πτυχές. Η ολοκληρωμένη κατανόηση αυτών των συμπτωμάτων σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη (ΑΙ) μπορεί να οδηγήσει σε πιο στοχευμένη και εξατομικευμένη προσέγγιση στη διάγνωση και διαχείριση της νόσου.

Ανατομική Ανάλυση των Συμπτωμάτων

Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Η ΝΠ επηρεάζει σημαντικά το κεντρικό νευρικό σύστημα, προκαλώντας συμπτώματα όπως:

- Κατάθλιψη και άγχος.

- Γνωστική έκπτωση, με επιδείνωση των πνευματικών λειτουργιών.
- Ζάλη ή λιποθυμία λόγω δυσλειτουργιών στη ρύθμιση της πίεσης του αίματος.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αξιοποιηθεί εδώ μέσω συστημάτων που παρακολουθούν τη διάθεση και τη γνωστική λειτουργία των ασθενών, χρησιμοποιώντας δεδομένα από έξυπνες συσκευές ή φορητούς αισθητήρες για την ανίχνευση αλλαγών που μπορεί να υποδηλώνουν επιδείνωση της νόσου.

Μυϊκό Σύστημα

Η μυϊκή αδυναμία και οι πόνοι είναι κοινά συμπτώματα. Αυτά επηρεάζουν την ικανότητα του ασθενούς να εκτελεί καθημερινές δραστηριότητες, ενώ ο συνδυασμός μυϊκής ακαμψίας με την απώλεια ελέγχου της κίνησης οδηγεί σε δυσκινησίες.

Με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (machine learning), οι γιατροί μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κινητικότητα των ασθενών μέσω έξυπνων αισθητήρων που καταγράφουν τις κινήσεις τους. Αυτά τα δεδομένα συμβάλλουν στη βελτίωση της θεραπείας και της πρόγνωσης.

Μάτια και Στόμα

Τα προβλήματα στην περιοχή του προσώπου περιλαμβάνουν:

- Αναγκαστικό κλείσιμο των βλεφάρων (βλεφαρόσπασμος).
- Δυσκολία στην ομιλία, στην κατάποση και υπερβολική σιελόρροια.
- Αδύναμη ή χαμηλή φωνή.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing) μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάλυση της φωνής και του λόγου του ασθενούς, παρέχοντας πληροφορίες για την εξέλιξη των συμπτωμάτων και επιτρέποντας την παρακολούθηση της θεραπευτικής αποτελεσματικότητας.

Εντερικό Σύστημα

Η δυσκοιλιότητα αποτελεί ένα από τα πιο συχνά μη κινητικά συμπτώματα, επηρεάζοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών. Η TN μπορεί να συνδυάσει δεδομένα από ιατρικά ιστορικά και αισθητήρες για την παρακολούθηση της γαστρεντερικής λειτουργίας και να προτείνει εξατομικευμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις.

Αναπνευστικό Σύστημα

Η απόφραξη των ανώτερων αεραγωγών και η δυσλειτουργία του αναπνευστικού ελέγχου είναι συχνά συμπτώματα, επηρεάζοντας την ικανότητα του ασθενούς να αναπνέει σωστά. Οι έξυπνες φορητές συσκευές μπορούν να παρακολουθούν τον αναπνευστικό ρυθμό και να παρέχουν ειδοποιήσεις στους γιατρούς όταν ανιχνεύονται ανωμαλίες.

Δέρμα

Η υπερβολική εφίδρωση είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό σύμπτωμα που μπορεί να επηρεάσει την καθημερινότητα του ασθενούς. Φορητοί αισθητήρες μπορούν να μετρούν την υγρασία του δέρματος και να ανιχνεύουν ανωμαλίες που συνδέονται με την κατάσταση του ασθενούς.

Συστηματικά Συμπτώματα

Η ΝΠ προκαλεί επίσης συστηματικά κινητικά συμπτώματα, όπως:

- Τρόμο και βραδύτητα.
- Ασταθή ισορροπία.
- Μικρογραφία στη γραφή.
- Δυσκολία στο περπάτημα ή στην κίνηση.
- Έλλειψη εκφραστικότητας στο πρόσωπο (mask face).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αναλύσει τα μοτίβα κίνησης χρησιμοποιώντας δεδομένα από κάμερες ή συσκευές GPS, υποστηρίζοντας την έγκαιρη ανίχνευση κινητικών επιπλοκών και την προσαρμογή των θεραπευτικών στρατηγικών.

Ο Ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση των Συμπτωμάτων

Η ΤΝ παρέχει τα μέσα για την ολοκληρωμένη ανάλυση και διαχείριση της ΝΠ:

1. **Προγνωστικά Μοντέλα:** Αξιοποιώντας μεγάλα σύνολα δεδομένων, τα προγνωστικά μοντέλα μπορούν να εκτιμήσουν την εξέλιξη των συμπτωμάτων και να προτείνουν εξατομικευμένες παρεμβάσεις.
2. **Ανάλυση Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου:** Τα φορητά συστήματα συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες, παρέχοντας συνεχή εικόνα της κατάστασης του ασθενούς.
3. **Εξατομίκευση Θεραπείας:** Η ΤΝ μπορεί να συνδυάσει διαφορετικούς παράγοντες για να προτείνει θεραπείες που ταιριάζουν καλύτερα στις ανάγκες του κάθε ασθενούς.

Η κατανόηση και η διαχείριση της πολυπλοκότητας των συμπτωμάτων της ΝΠ απαιτούν μια διεπιστημονική προσέγγιση. Με την ενσωμάτωση της ΤΝ, οι κλινικοί ιατροί αποκτούν ένα

πανίσχυρο εργαλείο για την παροχή βελτιστοποιημένης φροντίδας, ενισχύοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών και ανοίγοντας νέους δρόμους για τη μελλοντική θεραπεία της νόσου.

Αυτές οι βασικές έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών στη διάγνωση, τη διαχείριση και την πρόγνωση της ΝΠ, ανοίγοντας τον δρόμο για νέες ερευνητικές προοπτικές και τεχνολογικές λύσεις.

4.2 Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης σε Χρόνιες Παθήσεις

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει ήδη αποδείξει την αξία της στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων, όπως ο διαβήτης, οι καρδιοπάθειες και οι νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις, η TN έχει συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης της νόσου, στη βελτίωση των διαγνωστικών διαδικασιών και στην εξατομίκευση των θεραπειών.

Διάγνωση: Η TN χρησιμοποιείται ευρέως για την έγκαιρη διάγνωση χρόνιων ασθενειών. Για παράδειγμα, στην ογκολογία, τα συστήματα TN είναι σε θέση να αναλύσουν ακτινολογικές εικόνες με μεγαλύτερη ακρίβεια από τους παραδοσιακούς μεθόδους, εντοπίζοντας κακοήθεις όγκους στα πρώιμα στάδια τους. Αντίστοιχα, στην καρδιολογία, αλγόριθμοι TN μπορούν να αναλύουν ηλεκτροκαρδιογραφήματα, εντοπίζοντας ανωμαλίες που μπορεί να διαφύγουν από την ανθρώπινη παρατήρηση.

Διαχείριση: Στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων, η TN αξιοποιείται για την παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών σε πραγματικό χρόνο. Μέσω φορητών συσκευών, όπως οι αισθητήρες και τα έξυπνα ρολόγια, συλλέγονται δεδομένα σχετικά με τη φυσική δραστηριότητα, την αρτηριακή πίεση και τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα. Αυτά τα δεδομένα αναλύονται από αλγόριθμους TN, παρέχοντας στους ιατρούς και τους ασθενείς προτάσεις για τη βελτίωση της καθημερινής διαχείρισης [14].

Πρόγνωση: Οι δυνατότητες της TN επεκτείνονται και στην πρόβλεψη της πορείας μιας νόσου. Για παράδειγμα, στον διαβήτη τύπου 2, αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης επιπλοκών, όπως η νεφρική ανεπάρκεια. Παρόμοιες προσεγγίσεις εφαρμόζονται στη ΝΠ, όπου συστήματα TN μπορούν να εκτιμήσουν την εξέλιξη των κινητικών και μη κινητικών συμπτωμάτων [15].

Η χρήση της TN έχει αυξήσει την ακρίβεια, την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα στις παραπάνω διαδικασίες, προσφέροντας μια νέα διάσταση στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων.

4.3 Ηθικές και Κανονιστικές Προεκτάσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Υγεία

Η χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στην υγεία έχει ανοίξει νέους δρόμους για τη διάγνωση, τη διαχείριση και την πρόγνωση ασθενειών, όπως η Νόσος του Parkinson (ΝΠ). Παρά την πρόοδο αυτή, η ενσωμάτωση της TN στον τομέα της υγείας εγείρει μια σειρά από ηθικές και κανονιστικές προκλήσεις που απαιτούν προσεκτική εξέταση.

Προστασία της Ιδιωτικότητας και Διαχείριση Δεδομένων

Η συλλογή και επεξεργασία μεγάλου όγκου ιατρικών δεδομένων μέσω συστημάτων TN είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της ακρίβειας στη διάγνωση και τη θεραπεία της ΝΠ. Ωστόσο, η χρήση αυτών των δεδομένων συνοδεύεται από ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικότητας. Ειδικότερα, οι ασθενείς συχνά ανησυχούν για την κατάχρηση των προσωπικών τους δεδομένων ή την πρόσβασή τους από μη εξουσιοδοτημένα μέρη. Η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) στην Ευρώπη είναι απαραίτητη για την προστασία της ιδιωτικότητας και την οικοδόμηση εμπιστοσύνης [16].

Διαφάνεια στη Λήψη Αποφάσεων

Τα περισσότερα συστήματα TN, ιδιαίτερα εκείνα που βασίζονται σε αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης (deep learning), λειτουργούν ως «μαύρα κουτιά». Δηλαδή, οι αποφάσεις τους είναι συχνά δύσκολο να εξηγηθούν, γεγονός που προκαλεί αμφιβολίες για την αξιοπιστία τους. Για παράδειγμα, η αξιολόγηση της σοβαρότητας της ΝΠ μέσω δεδομένων κίνησης από αισθητήρες μπορεί να μην είναι πλήρως κατανοητή από τον κλινικό ιατρό [17]. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για αλγόριθμους «εξηγήσιμης TN» (explainable AI), που παρέχουν σαφείς εξηγήσεις για τις αποφάσεις τους, διασφαλίζοντας μεγαλύτερη διαφάνεια.

Αξιοπιστία και Επικύρωση

Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων TN εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσής τους. Δεδομένα με προκαταλήψεις ή σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες διαγνώσεις ή θεραπείες. Στο πλαίσιο της ΝΠ, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει υπερβολική ή υποεκτίμηση συμπτωμάτων, όπως ο τρόμος ή η βραδυκινησία [16]. Τα συστήματα TN πρέπει να επικυρώνονται μέσω κλινικών δοκιμών, εξασφαλίζοντας ότι οι προβλέψεις τους είναι αξιόπιστες και ευθυγραμμίζονται με τα παραδοσιακά κλινικά πρότυπα.

Ηθικές Επιπτώσεις στην Υγειονομική Περίθαλψη

Η εισαγωγή συστημάτων TN στην υγειονομική περίθαλψη εγείρει ανησυχίες για την αντικατάσταση ανθρώπινων επαγγελματιών. Παρόλο που η TN μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της διάγνωσης και της θεραπείας, δεν μπορεί να υποκαταστήσει την ανθρώπινη κρίση και τη συμπόνια που χαρακτηρίζει την ιατρική πρακτική. Στη διαχείριση της ΝΠ, η TN θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως συμπληρωματικό εργαλείο, ενισχύοντας την ικανότητα του γιατρού να λαμβάνει ενημερωμένες αποφάσεις [17].

Δεοντολογία στη Χρήση Ψηφιακών Δεικτών (Digital Biomarkers)

Οι ψηφιακοί δείκτες, που εξάγονται από αισθητήρες και φορητές συσκευές, έχουν τεράστιες δυνατότητες στη διάγνωση και παρακολούθηση της ΝΠ. Για παράδειγμα, αισθητήρες που καταγράφουν δεδομένα κίνησης μπορούν να ανιχνεύσουν πρότυπα που συνδέονται με τη σοβαρότητα της νόσου. Ωστόσο, η χρήση αυτών των δεικτών απαιτεί αυστηρή επικύρωση μέσω κλινικών μελετών. Επίσης, η έγκριση από ρυθμιστικές αρχές, όπως ο FDA, είναι απαραίτητη για την ενσωμάτωσή τους στην κλινική πρακτική. Οι αβεβαιότητες σχετικά με τη σχέση μεταξύ ψηφιακών δεικτών και παραδοσιακών κλινικών δεικτών αποτελούν ακόμα πρόκληση.

Ο Ρόλος της Επιστήμης Δεδομένων

Η εξαγωγή και ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας μέσω TN προσφέρει νέες δυνατότητες στη διαχείριση της ΝΠ [16]. Παράδειγμα αποτελεί η ανάλυση δεδομένων βάδισης μέσω αισθητήρων υψηλής ανάλυσης, η οποία μπορεί να αποκαλύψει χαρακτηριστικά της κίνησης που σχετίζονται με τη νόσο. Ωστόσο, η διαχείριση αυτών των δεδομένων αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως ο θόρυβος στα δεδομένα και οι περιορισμένες ποσότητες εκπαιδευτικών δεδομένων, ειδικά στις βιοϊατρικές εφαρμογές [17].



*Εικόνα 6: στρατηγική διαδικασία ανάπτυξης και ενσωμάτωσης συσκευών και αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στον τομέα της υγείας
(<https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.788427/full>)*

Η εικόνα απεικονίζει μια στρατηγική διαδικασία ανάπτυξης και ενσωμάτωσης συσκευών και αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στον τομέα της υγείας, με ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή τους για τη Νόσο του Parkinson (ΝΠ). Η διαδικασία περιλαμβάνει έξι βασικά στάδια, καθένα από τα οποία φέρει ηθικές διαστάσεις και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και δίκαιη ενσωμάτωση της TN στην υγειονομική περίθαλψη.

1. Τεχνική Ανάπτυξη και Επαλήθευση Συσκευών και Αλγορίθμων

Η αρχική φάση επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και δοκιμή των τεχνικών πτυχών των συσκευών και των αλγορίθμων ΤΝ. Για τη ΝΠ, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα ανίχνευσης τρόμου ή αλγορίθμους που αναλύουν μοτίβα κίνησης. Στην ηθική διάσταση, είναι κρίσιμη η διασφάλιση ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση αυτών των αλγορίθμων είναι αντιπροσωπευτικά και δεν περιέχουν προκαταλήψεις. Η αμεροληψία στη χρήση των δεδομένων συμβάλλει στη διασφάλιση ότι τα συστήματα είναι δίκαια για όλους τους ασθενείς, ανεξάρτητα από το φύλο, την ηλικία ή άλλους παράγοντες.

2. Προοπτική, Τυχαιοποιημένη Κλινική Μελέτη (RCT)

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των συσκευών μέσω τυχαιοποιημένων κλινικών μελετών. Για τη ΝΠ, οι δοκιμές μπορεί να αξιολογούν την ακρίβεια ανίχνευσης των συμπτωμάτων ή την επίδραση των συσκευών στην ποιότητα ζωής των ασθενών. Από ηθικής πλευράς, οι μελέτες αυτές πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η εθελοντική συμμετοχή, η διαφάνεια σχετικά με τους στόχους της μελέτης και η προστασία της ιδιωτικότητας των συμμετεχόντων.

3. Επικύρωση Ψηφιακών Δεικτών (DM Validation)

Η επικύρωση των ψηφιακών δεικτών αποτελεί κρίσιμο βήμα, καθώς αυτοί χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της σοβαρότητας της νόσου ή της απόκρισης στη θεραπεία. Για τη ΝΠ, δείκτες όπως η συχνότητα του τρόμου ή η ακαμψία μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες. Από ηθικής άποψης, η επικύρωση πρέπει να είναι αμερόληπτη και να περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό δεδομένων από διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες, ώστε να αποφευχθούν αποκλεισμοί ή ανισότητες στην πρόσβαση σε θεραπευτικές επιλογές.

4. Ρυθμιστική Έγκριση (Regulatory Approval)

Η ρυθμιστική έγκριση από φορείς όπως ο FDA ή οι ευρωπαϊκές αρχές (CE) αποτελεί απαραίτητο βήμα για τη χρήση των συσκευών στην κλινική πρακτική. Στο πλαίσιο της ΝΠ, οι κανονιστικές αρχές πρέπει να αξιολογούν τόσο την τεχνική ακρίβεια όσο και τις ηθικές διαστάσεις, όπως η προστασία της ιδιωτικότητας των δεδομένων και η διασφάλιση της διαφάνειας στη χρήση της ΤΝ.

5. Αξιολόγηση Κλινικού Οφέλους (Assessment of Clinical Benefit)

Η αξιολόγηση του κλινικού οφέλους των συσκευών περιλαμβάνει τη μέτρηση της συμβολής τους στη βελτίωση της υγείας των ασθενών και της ποιότητας ζωής. Για τη ΝΠ, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη μείωση της σοβαρότητας των συμπτωμάτων ή τη βελτίωση της κινητικότητας. Από ηθικής άποψης, πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι συσκευές είναι

προσβάσιμες σε όλους τους ασθενείς, ανεξάρτητα από κοινωνικοοικονομικούς ή γεωγραφικούς περιορισμούς.

6. Ενσωμάτωση στην Καθημερινή Ιατρική Πρακτική και Προσαρμογή Κατευθυντήριων Οδηγιών

Το τελικό στάδιο αφορά την προσαρμογή των κατευθυντήριων οδηγιών και την ενσωμάτωση της TN στην καθημερινή ιατρική πρακτική. Για τη ΝΠ, αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές και οι αλγόριθμοι πρέπει να χρησιμοποιούνται ευρέως από επαγγελματίες υγείας και να υποστηρίζουν την καλύτερη φροντίδα των ασθενών. Η πρόκληση εδώ είναι η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας στη χρήση αυτών των τεχνολογιών και η αντιμετώπιση τυχόν προκαταλήψεων ή ανησυχιών σχετικά με την αντικατάσταση ανθρώπινων ρόλων από μηχανές.

Συμπέρασμα

Η ενσωμάτωση της TN στη διαχείριση της ΝΠ προσφέρει τεράστιες δυνατότητες, αλλά απαιτεί την προσεκτική αντιμετώπιση ηθικών και κανονιστικών ζητημάτων σε κάθε στάδιο της διαδικασίας ανάπτυξης. Με τη σωστή προσέγγιση, οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να ενισχύσουν τη φροντίδα των ασθενών, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και αυξάνοντας την προσβασιμότητα. Η ενσωμάτωση της TN στην υγειονομική περίθαλψη για τη ΝΠ προσφέρει πολλές δυνατότητες, αλλά απαιτεί προσεκτική αντιμετώπιση ηθικών και κανονιστικών ζητημάτων. Η προστασία της ιδιωτικότητας, η διαφάνεια, η αξιοπιστία και η ισορροπία μεταξύ αυτοματοποίησης και ανθρώπινης παρέμβασης είναι κρίσιμες για τη βιώσιμη χρήση της TN. Με την κατάλληλη ρύθμιση και συνεργασία μεταξύ τεχνολόγων, κλινικών ιατρών και νομοθετικών φορέων, η TN μπορεί να αποτελέσει εργαλείο που θα ενισχύσει την ποιότητα ζωής των ασθενών και θα βελτιώσει τη διαχείριση της νόσου.

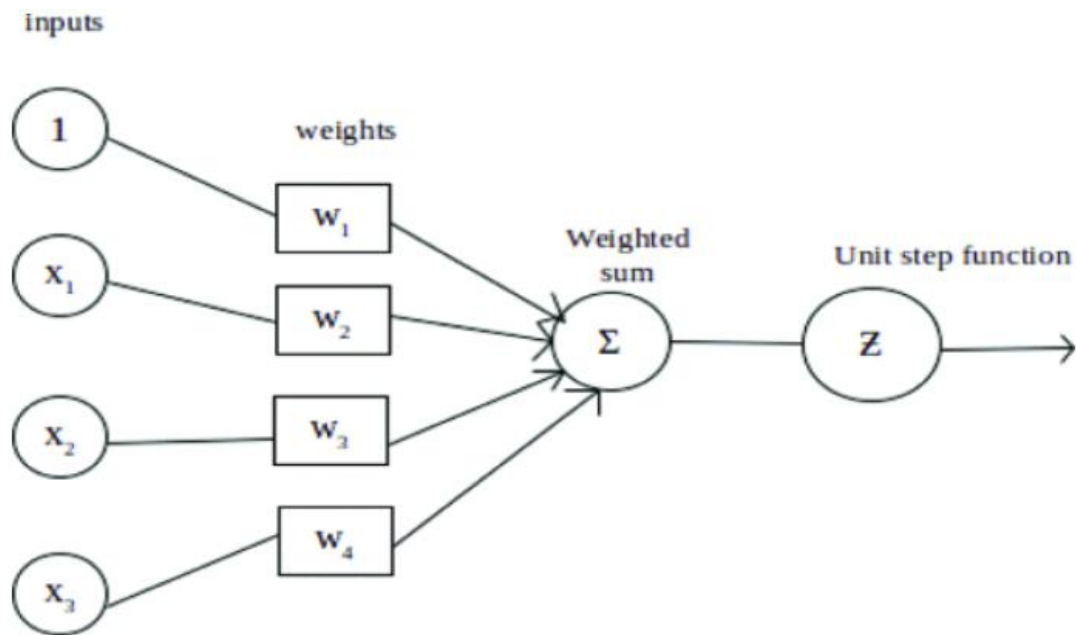
5. Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στη Νόσο του Parkinson

Η νόσος του Parkinson (ΝΠ), μια από τις πλέον σύνθετες και πολυπαραγοντικές νευροεκφυλιστικές παθήσεις, παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (TN) έχει ανοίξει νέους δρόμους για την κατανόηση και την αντιμετώπιση της νόσου, εισάγοντας καινοτόμες λύσεις που στηρίζονται σε δεδομένα και αλγοριθμικές διαδικασίες. Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει σε τρεις βασικούς τομείς εφαρμογής της TN στη ΝΠ: τη διάγνωση, τη διαχείριση των συμπτωμάτων και την πρόγνωση της πορείας της νόσου.

5.1 Διάγνωση μέσω Τεχνητής Νοημοσύνης

Η διάγνωση της ΝΠ παραδοσιακά βασίζεται σε κλινικά κριτήρια, τα οποία εξαρτώνται από την εμπειρία του ιατρού και τη φάση της νόσου κατά την εκτίμηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή καθυστέρηση στη διάγνωση, ειδικά στα πρώιμα στάδια, όπου τα συμπτώματα μπορεί να είναι ασαφή ή να μοιάζουν με άλλες παθήσεις. Η TN έρχεται να καλύψει αυτό το κενό, παρέχοντας εργαλεία που βασίζονται στην ανάλυση δεδομένων και στην αναγνώριση προτύπων.

Τα συστήματα μηχανικής μάθησης έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμα στην επεξεργασία δεδομένων από απεικονιστικές εξετάσεις, όπως η λειτουργική μαγνητική τομογραφία (fMRI) και η σπινθηρογραφία με DaTSCAN. Αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν χαρακτηριστικές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία του εγκεφάλου που συνδέονται με τη ΝΠ, συχνά πριν την εμφάνιση κλινικών συμπτωμάτων [18].



Εικόνα 7: Αναπαράσταση δικτύου προγνωστικού μοντέλου (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9065876/>)

Η εικόνα αναπαριστά ένα προβλεπτικό μοντέλο βασισμένο σε δίκτυο τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο αποτελεί ένα θεμελιώδες στοιχείο στον χώρο της μηχανικής μάθησης. Η λειτουργία του βασίζεται στη διαδικασία λήψης εισόδων, στην επεξεργασία αυτών μέσω σταθμισμένων παραμέτρων και στην παραγωγή ενός αποτελέσματος που βασίζεται σε συγκεκριμένη μαθηματική συνάρτηση. Παρακάτω αναλύονται οι διάφορες συνιστώσες του μοντέλου.

Είσοδοι (Inputs)

Οι εισόδοι του μοντέλου αναπαρίστανται από τους κόμβους x_1 , x_2 , και x_3 , καθώς και από τον κόμβο 1, ο οποίος λειτουργεί ως σταθερός όρος (bias). Οι εισόδοι αυτές αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά (features) των δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο. Για παράδειγμα, σε ένα ιατρικό πρόβλημα, τα x_1 , x_2 , και x_3 θα μπορούσαν να είναι μετρήσεις όπως η πίεση του αίματος, το επίπεδο γλυκόζης και η ηλικία του ασθενούς.

Ο σταθερός όρος 1 προστίθεται για να επιτρέψει στο μοντέλο να μάθει καλύτερα τις σχέσεις στα δεδομένα, ακόμα και αν όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά έχουν μηδενική τιμή.

Σταθμισμένοι Συντελεστές (Weights)

Οι γραμμές που συνδέουν τις εισόδους με τον κόμβο του αθροίσματος (Σ) αναπαριστούν τους σταθμισμένους συντελεστές (w_1 , w_2 , w_3 , w_4). Αυτοί οι συντελεστές καθορίζουν τη σημασία κάθε εισόδου στο τελικό αποτέλεσμα. Κάθε είσοδος πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο σταθμισμένο συντελεστή, ώστε να προκύψει μια συνεισφορά στο συνολικό άθροισμα.

Για παράδειγμα, αν το w_2 έχει μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα βάρη, αυτό σημαίνει ότι το χαρακτηριστικό x_1 έχει μεγαλύτερη επίδραση στο αποτέλεσμα του μοντέλου.

Υπολογισμός Σταθμισμένου Αθροίσματος

Ο κόμβος του αθροίσματος (Σ) εκτελεί τον υπολογισμό του σταθμισμένου αθροίσματος των εισόδων. Ο τύπος για τον υπολογισμό αυτόν είναι:

$$\Sigma = w_1 \cdot 1 + w_2 \cdot x_1 + w_3 \cdot x_2 + w_4 \cdot x_3$$

Αυτό το άθροισμα αντιπροσωπεύει την "αρχική" πρόβλεψη του μοντέλου πριν εφαρμοστεί κάποια μη γραμμική συνάρτηση.

Συνάρτηση Ενεργοποίησης (Activation Function)

Το αποτέλεσμα του αθροίσματος περνά από μια συνάρτηση ενεργοποίησης, η οποία αναπαρίσταται ως "Unit Step Function" στην εικόνα. Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζεται για να εισάγει μη γραμμικότητα στο μοντέλο και να καθορίσει το τελικό αποτέλεσμα.

Η συγκεκριμένη συνάρτηση λειτουργεί ως κατώφλι: αν το Σ είναι μεγαλύτερο από μια καθορισμένη τιμή (συνήθως μηδέν), τότε το αποτέλεσμα Z θα είναι θετικό (π.χ. 1). Διαφορετικά, το αποτέλεσμα θα είναι αρνητικό ή μηδενικό (π.χ. 0). Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο για ταξινομητικά μοντέλα, όπως η διάκριση μεταξύ ασθένειας ή υγείας.

Ρόλος στη Μηχανική Μάθηση

Αυτή η αναπαράσταση αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική ενός απλού perceptron, το οποίο είναι η βάση των πιο σύνθετων νευρωνικών δικτύων. Χρησιμοποιείται για προβλήματα ταξινόμησης ή πρόβλεψης, όπως η αναγνώριση μοτίβων ή η διάγνωση ασθενειών. Τα βάρη εκπαιδεύονται μέσω διαδικασίας μάθησης, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους όπως η βαθμίδωση (gradient descent), ώστε το μοντέλο να παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης.

Περιορισμοί και Επεκτάσεις

Αν και το perceptron είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την κατανόηση της βασικής αρχιτεκτονικής των δικτύων, έχει περιορισμούς, καθώς δεν μπορεί να διαχειριστεί προβλήματα μη γραμμικής διαχωρισιμότητας. Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών, έχουν αναπτυχθεί πιο σύνθετα μοντέλα, όπως τα πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα (multilayer perceptrons), τα οποία χρησιμοποιούν μη γραμμικές συναρτήσεις ενεργοποίησης και πολλαπλά επίπεδα.

Η παραπάνω αναπαράσταση δίνει μια ξεκάθαρη εικόνα για το πώς τα προβλεπτικά μοντέλα βασίζονται σε συνδυασμό εισόδων, σταθμισμένων συντελεστών και συναρτήσεων ενεργοποίησης για την παραγωγή αποτελεσμάτων. Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελεί τη βάση για πολλές εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης, από απλές προβλέψεις έως προηγμένα συστήματα μάθησης.

Επιπλέον, η ανάλυση κινητικών δεδομένων μέσω αισθητήρων και έξυπνων συσκευών παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού μικροδιαταραχών στις κινήσεις, όπως λεπτομερείς αλλαγές στον βηματισμό ή τη στάση. Τέτοιου είδους αναλύσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν από αλγορίθμους που αξιοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την έγκαιρη διάγνωση και την αξιολόγηση της σοβαρότητας της νόσου.

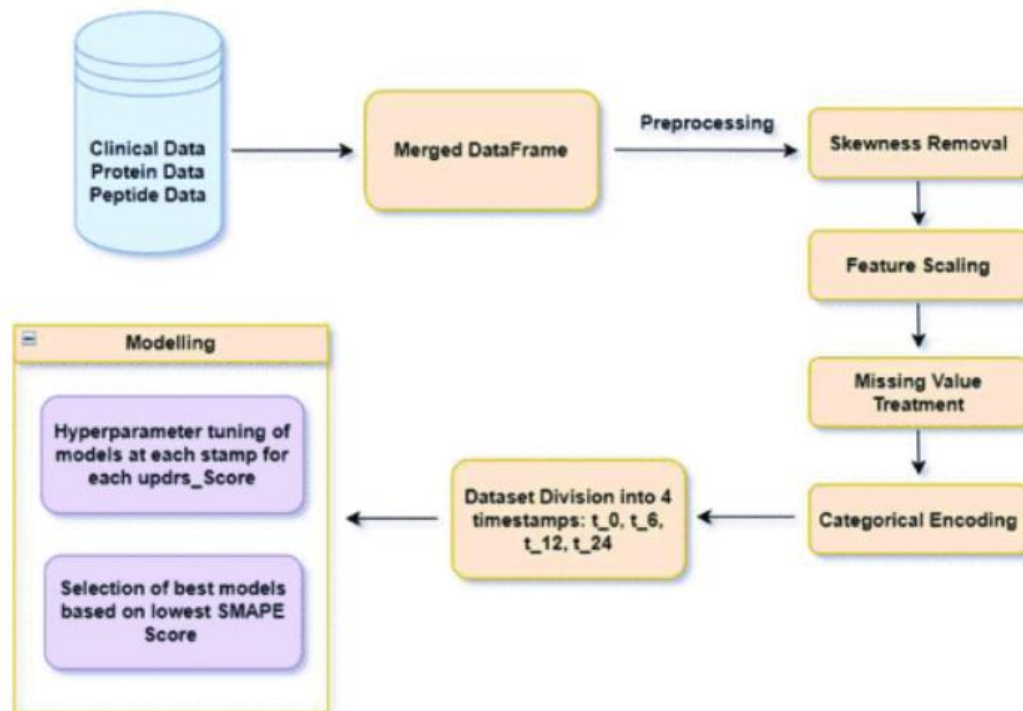
Η επεξεργασία φωνητικών δεδομένων αποτελεί έναν ακόμη τομέα με πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Μελέτες δείχνουν ότι η TN μπορεί να ανιχνεύσει χαρακτηριστικές αλλαγές στη φωνή και την άρθρωση, οι οποίες είναι συχνά παρόντες σε ασθενείς με ΝΠ, πριν από την εκδήλωση κινητικών συμπτωμάτων.

5.2 Διαχείριση Συμπτωμάτων και Θεραπεία με τη Βοήθεια Αλγορίθμων

Η διαχείριση της ΝΠ αποτελεί πρόκληση λόγω της φύσης της νόσου, που περιλαμβάνει τόσο κινητικά όσο και μη κινητικά συμπτώματα. Η TN έχει εισαχθεί με επιτυχία ως εργαλείο που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων, παρέχοντας εξατομικευμένες λύσεις για κάθε ασθενή.

Ένα παράδειγμα είναι η χρήση συστημάτων TN για τη ρύθμιση των θεραπειών που βασίζονται στη λεβοντόπα. Καθώς η φαρμακευτική αυτή αγωγή συνοδεύεται από ανεπιθύμητες ενέργειες, όπως οι δυσκινήσιες, αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν αναπτυχθεί για να προβλέπουν την απόκριση του ασθενούς και να ρυθμίζουν τη δόση σε πραγματικό χρόνο [19].

Επιπλέον, οι φορητές συσκευές και οι αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κινητικής κατάστασης των ασθενών. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των δεδομένων από αυτές τις συσκευές μπορούν να ανιχνεύσουν αλλαγές στη συμπεριφορά ή τη φυσική κατάσταση του ασθενούς, επιτρέποντας την άμεση προσαρμογή της θεραπείας.



Εικόνα 8: Ροή εργασιών όλης της διαδικασίας (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10739044/>)

Η εικόνα αναπαριστά ένα ροή εργασίας (workflow) που περιγράφει τα στάδια μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας για τη διαχείριση συμπτωμάτων της νόσου του Parkinson. Ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός αποτελεσματικού μοντέλου πρόβλεψης ή διαχείρισης, χρησιμοποιώντας κλινικά δεδομένα και προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων και μηχανικής μάθησης. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια της διαδικασίας.

Συλλογή και Συγχώνευση Δεδομένων

Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως κλινικά δεδομένα, δεδομένα πρωτεϊνών και δεδομένα πεπτιδίων. Αυτά τα δεδομένα συγχωνεύονται σε μια κοινή δομή, γνωστή ως **Merged DataFrame**, για την ενοποιημένη επεξεργασία τους. Η συγχώνευση αυτή είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της συνέπειας και της διασύνδεσης των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους στα επόμενα στάδια.

Προεπεξεργασία Δεδομένων (Preprocessing)

Η προεπεξεργασία είναι ένα βασικό βήμα, καθώς διασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι καθαρά και έτοιμα για ανάλυση. Περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές:

1. **Αφαίρεση Ασυμμετρίας (Skewness Removal):** Η κατανομή των δεδομένων συχνά παρουσιάζει ασυμμετρία, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια του μοντέλου.

Εφαρμόζονται τεχνικές για τη διόρθωση της κατανομής των χαρακτηριστικών ώστε να πλησιάζουν τη φυσιολογική κατανομή.

2. **Κανονικοποίηση (Feature Scaling):** Τα δεδομένα μπορεί να έχουν διαφορετικά μεγέθη και μονάδες μέτρησης. Η κανονικοποίηση εξασφαλίζει ότι όλα τα χαρακτηριστικά βρίσκονται στην ίδια κλίμακα, διευκολύνοντας τη διαδικασία μοντελοποίησης και μειώνοντας την πιθανότητα παραμορφώσεων λόγω μεγάλων αποκλίσεων στις τιμές.
3. **Αντιμετώπιση Απουσιών (Missing Value Treatment):** Τα ελλιπή δεδομένα είναι συχνό φαινόμενο. Σε αυτό το στάδιο, εφαρμόζονται μέθοδοι, όπως η συμπλήρωση με μέσες τιμές ή η χρήση προχωρημένων αλγορίθμων, για τη διαχείριση αυτών των κενών.
4. **Κατηγοριοποίηση (Categorical Encoding):** Κατηγορικά χαρακτηριστικά (π.χ., φύλο, κατάσταση ασθενούς) μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές μέσω τεχνικών όπως το One-Hot Encoding, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα αλγοριθμικά μοντέλα.

Διάσπαση Δεδομένων σε Χρονικά Διαστήματα

Μετά την προεπεξεργασία, το σύνολο δεδομένων διαιρείται σε διάφορες χρονικές στιγμές (timestamps): t_0 , t_6 , t_{12} , t_{24} . Αυτή η διαδικασία αποσκοπεί στην παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Έτσι, τα δεδομένα οργανώνονται ώστε να παρέχουν πληροφορίες για την πορεία της νόσου και την απόκριση στις θεραπείες.

Μοντελοποίηση (Modelling)

Η φάση της μοντελοποίησης περιλαμβάνει:

1. **Ρύθμιση Υπερπαραμέτρων (Hyperparameter Tuning):** Για κάθε χρονικό σημείο, εφαρμόζονται μέθοδοι βελτιστοποίησης υπερπαραμέτρων. Αυτό σημαίνει ότι τα μοντέλα τροποποιούνται και προσαρμόζονται με στόχο την επίτευξη της καλύτερης δυνατής απόδοσης.
2. **Επιλογή Καλύτερου Μοντέλου:** Από τα δοκιμασμένα μοντέλα, επιλέγεται το καλύτερο με βάση το κριτήριο SMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error), το οποίο μετρά την ακρίβεια των προβλέψεων.

Τελικός Στόχος

Η ροή εργασίας στοχεύει στη δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου που μπορεί να προβλέψει την εξέλιξη της νόσου, να παρέχει εξατομικευμένες συστάσεις και να βελτιώσει τη φροντίδα των ασθενών. Η χρήση προηγμένων τεχνικών, όπως η ρύθμιση υπερπαραμέτρων και η διαχείριση μεγάλων δεδομένων, ενισχύει τη δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων που μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες διαφορετικών πληθυσμών.

Η εικόνα αποτυπώνει μια δομημένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη διαχείριση της νόσου του Parkinson, με έμφαση στην ακρίβεια, τη στατιστική αξιοπιστία και την εξατομίκευση. Πρόκειται για ένα παράδειγμα του πώς η τεχνητή νοημοσύνη και η επιστήμη δεδομένων μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Στον τομέα της φυσικοθεραπείας, η TN χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη διαδραστικών εφαρμογών που καθοδηγούν τον ασθενή σε ασκήσεις που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τη βελτίωση της ισορροπίας και της κινητικότητας. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να αξιολογούν την πρόοδο και να παρέχουν ανατροφοδότηση στον χρήστη.

Σημαντική είναι και η συμβολή της TN στη διαχείριση μη κινητικών συμπτωμάτων, όπως η κατάθλιψη και οι διαταραχές ύπνου. Εφαρμογές που βασίζονται σε αλγόριθμους TN μπορούν να παρακολουθούν την ποιότητα του ύπνου και να προτείνουν παρεμβάσεις, ενώ εργαλεία επεξεργασίας φυσικής γλώσσας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την αξιολόγηση της συναισθηματικής κατάστασης του ασθενούς.

5.3 Πρόγνωση της Πορείας της Νόσου με Μηχανική Μάθηση

Η πρόγνωση της ΝΠ είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή των θεραπευτικών στρατηγικών με βάση την πιθανή εξέλιξη της νόσου. Η μηχανική μάθηση παρέχει εργαλεία που μπορούν να αναλύσουν δεδομένα από πολλαπλές πηγές και να προβλέψουν την πορεία της νόσου με ακρίβεια.

Οι αλγόριθμοι πρόγνωσης χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της εξέλιξης κινητικών συμπτωμάτων, όπως η βραδυκινησία, και μη κινητικών συμπτωμάτων, όπως η άνοια. Για παράδειγμα, δεδομένα από αισθητήρες που καταγράφουν λεπτομερείς πληροφορίες για τον βηματισμό του ασθενούς μπορούν να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη της εμφάνισης πτώσεων. Αντίστοιχα, οι κλινικοί δείκτες, όπως τα επίπεδα βιολογικών μαρκαδόρων, συνδυάζονται με δημογραφικά δεδομένα για την πρόβλεψη της εξέλιξης της γνωστικής λειτουργίας [20].

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο εφαρμογής είναι η πρόβλεψη της απόκρισης στις θεραπείες. Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσουν ποιοι ασθενείς

είναι πιθανότερο να επωφεληθούν από συγκεκριμένες θεραπείες, όπως η βαθιά εγκεφαλική διέγερση (DBS). Αυτές οι προβλέψεις συμβάλλουν στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και στη μείωση της πιθανότητας αποτυχίας της θεραπείας.

Η μηχανική μάθηση παρέχει επίσης τη δυνατότητα εντοπισμού υποομάδων ασθενών με παρόμοια χαρακτηριστικά, ανοίγοντας τον δρόμο για πιο στοχευμένες και εξατομικευμένες θεραπείες. Αυτή η κατηγοριοποίηση βοηθά τους ιατρούς να κατανοήσουν καλύτερα την ετερογένεια της νόσου και να προσαρμόσουν τις στρατηγικές θεραπείας ανάλογα [21].

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει ήδη αρχίσει να αναμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουμε τη ΝΠ, από τη διάγνωση και τη διαχείριση έως την πρόγνωση. Με τη συνεχιζόμενη ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη διεύρυνση της χρήσης των δεδομένων, οι δυνατότητες της ΤΝ στη βελτίωση της ζωής των ασθενών με ΝΠ είναι τεράστιες. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες έρευνες και συνεργασία μεταξύ κλινικών, τεχνολόγων και ρυθμιστικών φορέων για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η ηθική χρήση αυτών των τεχνολογιών.

6. Ανάλυση Βιβλιογραφίας

6.1 Μελέτες στην Διάγνωση

Η διάγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί μια από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις στη νευρολογία, δεδομένης της πολυπλοκότητας και της ετερογένειας των συμπτωμάτων της. Η ενσωμάτωση τεχνικών Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) και Μηχανικής Μάθησης (ΜΜ) έχει αναδείξει νέες προοπτικές για την ανάπτυξη ακριβών, μη επεμβατικών και ταχύτερων διαγνωστικών εργαλείων. Παρακάτω αναλύονται οι κύριες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Ανάλυση Φωνής και Ομιλίας

Η ανάλυση φωνής αποτελεί μία από τις πλέον προηγμένες και υποσχόμενες τεχνολογικές μεθόδους για την πρόωπη διάγνωση και παρακολούθηση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ). Τα φωνητικά χαρακτηριστικά, τα οποία επηρεάζονται από την παθοφυσιολογία της ΝΠ, προσφέρουν μια μη επεμβατική προσέγγιση, βασισμένη σε ακουστικά δεδομένα, για την αναγνώριση συμπτωμάτων όπως η υποφωνία (μειωμένη ένταση φωνής), η δυσφωνία (αλλοιωμένη φωνή), και οι μεταβολές στη ρυθμικότητα και τον τόνο. Αυτή η μέθοδος έχει αποκτήσει ιδιαίτερη προσοχή λόγω της ικανότητάς της να ανιχνεύει ακόμη και μικρές αλλαγές στη φωνή, οι οποίες συχνά είναι δύσκολο να εντοπιστούν κλινικά:

- **L. Zhang et al. [22]:** Η μελέτη των Zhang et al. ανέλυσε χαρακτηριστικά γραμμικής και μη γραμμικής δυσφωνίας για την πρόβλεψη της σοβαρότητας της ΝΠ. Η προσέγγιση βασίστηκε στη χρήση εξειδικευμένων ακουστικών παραμέτρων, όπως η φασματική ενεργειακή κατανομή και η παραλλαγή της συχνότητας. Το μοντέλο παρουσίασε ακρίβεια 88.74% και εξαιρετική ανάκληση, φτάνοντας το 97.03%. Αυτά τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σημασία της λεπτομερούς ανάλυσης φωνής ως αξιόπιστου εργαλείου για την πρόωπη διάγνωση, αλλά και για την αξιολόγηση της εξέλιξης της νόσου. Επιπλέον, υπογραμμίζεται ότι η χρήση τέτοιων δεδομένων μπορεί να συμβάλει στην εξατομίκευση της θεραπευτικής προσέγγισης.
- **Karabayir et al. [23]:** Οι Karabayir et al. εφάρμοσαν την τεχνολογία Light Gradient Boosting (LGB) για την ανάλυση επτά ακουστικών χαρακτηριστικών, όπως η ένταση της φωνής, οι αλλαγές στον τόνο, και οι διακυμάνσεις στη διάρκεια των φθόγων. Το μοντέλο πέτυχε εντυπωσιακή ακρίβεια διάγνωσης από 94.6% έως 95.5%, καταδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της μεθόδου για μη επεμβατική ανίχνευση. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως για μαζική διαλογή ατόμων με

πιθανή προδιάθεση για ΝΠ, παρέχοντας μια οικονομική και πρακτική λύση για συστήματα δημόσιας υγείας.

Η ανάλυση φωνής ενισχύεται περαιτέρω με τη χρήση τεχνικών Μηχανικής Μάθησης (MM), όπως τα Convolutional Neural Networks (CNN). Τα CNN έχουν την ικανότητα να επεξεργάζονται μεγάλα και πολύπλοκα σύνολα δεδομένων, εξάγοντας κρίσιμα φωνητικά χαρακτηριστικά που μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανή με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ειδικότερα:

- **Πλεονεκτήματα των CNN στην Ανάλυση Φωνής:**
 - Τα CNN μπορούν να επεξεργαστούν δυναμικά ακουστικά φάσματα, αναγνωρίζοντας λεπτές διαφοροποιήσεις στους φωνητικούς παλμούς.
 - Παρέχουν δυνατότητα αυτοματοποιημένης εξαγωγής χαρακτηριστικών, μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητη παρέμβαση και επιταχύνοντας τη διαδικασία ανάλυσης.
 - Συνδυάζονται εύκολα με τεχνικές ταξινόμησης για τη δημιουργία ολοκληρωμένων μοντέλων πρόβλεψης.

Οφέλη και Μελλοντικές Προοπτικές

Η χρήση ανάλυσης φωνής στην κλινική πράξη προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα:

1. **Μη Επεμβατικότητα:** Σε αντίθεση με άλλες διαγνωστικές μεθόδους, η ανάλυση φωνής είναι απόλυτα μη επεμβατική και μπορεί να διεξαχθεί εύκολα με τη χρήση φορητών ή οικιακών συσκευών.
2. **Πρώιμη Διάγνωση:** Οι αλλαγές στη φωνή είναι συχνά από τα πρώτα σημάδια της ΝΠ, καθιστώντας την ανάλυση φωνής πολύτιμη για την πρώιμη ανίχνευση.
3. **Μαζική Διαλογή:** Η δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων όγκων δεδομένων σε σύντομο χρόνο επιτρέπει τη μαζική ανίχνευση σε πληθυσμιακό επίπεδο, ενισχύοντας την πρόληψη.
4. **Προσωποποιημένη Φροντίδα:** Οι φωνητικές μετρήσεις μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τη σοβαρότητα και την πρόοδο της νόσου, υποστηρίζοντας την προσαρμογή των θεραπειών στις ανάγκες του ασθενούς.

Η ανάλυση φωνής, σε συνδυασμό με προηγμένους αλγορίθμους MM, αναδεικνύεται ως ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στη διάγνωση και διαχείριση της ΝΠ. Οι σύγχρονες μελέτες έχουν αποδείξει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης, ενώ οι τεχνολογικές εξελίξεις αναμένεται να ενισχύσουν περαιτέρω τη χρήση της στην κλινική

πράξη. Μελλοντικά, η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων σε φορητές συσκευές και ψηφιακές πλατφόρμες μπορεί να φέρει επανάσταση στη φροντίδα των ασθενών με ΝΠ.

Ανάλυση Κίνησης και Βάδισης

Η ανάλυση των κινητικών προτύπων, όπως η βάδιση και οι τρόμοι, αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή της αξιολόγησης της Νόσου του Parkinson (ΝΠ). Οι κινητικές διαταραχές, συμπεριλαμβανομένων της βραδυκινήσιας, του τρόμου ηρεμίας και της αστάθειας, αποτελούν τα πλέον εμφανή χαρακτηριστικά της ΝΠ, καθιστώντας την ανάλυσή τους ιδιαίτερα σημαντική για τη διάγνωση, την παρακολούθηση και την πρόγνωση της ασθένειας. Η χρήση αισθητήρων και φορητών συσκευών έχει επιτρέψει τη συλλογή ακριβών δεδομένων που αντικατοπτρίζουν την κινητική συμπεριφορά των ασθενών, δημιουργώντας νέες δυνατότητες για την ανίχνευση της νόσου και τη βελτίωση της διαχείρισής της.

- **Abdulhay et al. [24]:** Η μελέτη των Abdulhay et al. επικεντρώθηκε στη χρήση δεδομένων από τον κύκλο βάδισης για την ανάλυση φυσιολογικών και παθολογικών προτύπων κίνησης. Η ανάλυση βασίστηκε στην εξαγωγή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, όπως:

- Η διάρκεια των παλμών στον κύκλο βάδισης.
- Το μέγιστο πλάτος των κινήσεων.
- Οι παραλλαγές στον ρυθμό και τη συμμετρία της βάδισης.

Οι ερευνητές πέτυχαν ακρίβεια 92.7% στη διάγνωση της ΝΠ, αξιοποιώντας δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω εξειδικευμένων αισθητήρων. Αυτό υποδεικνύει τη δυνατότητα αυτών των τεχνικών να διακρίνουν τη ΝΠ από άλλες κινητικές διαταραχές. Επιπλέον, η ανάλυση των χαρακτηριστικών της βάδισης παρέχει πληροφορίες για την πρόοδο της νόσου, επιτρέποντας την προσαρμογή των θεραπευτικών παρεμβάσεων.

- **Park et al. [25]:** Η μελέτη των Park et al. ανέπτυξε ένα μοντέλο SVM (Support Vector Machine), το οποίο αξιοποίησε δεδομένα από τη Βαθμολογία Ενοποιημένης Κλίμακας για τη ΝΠ (UPDRS) για την ανίχνευση τρόμου ηρεμίας και βραδυκινήσιας. Τα ευρήματα της μελέτης έδειξαν ότι το μοντέλο είχε υψηλή ακρίβεια, ξεπερνώντας ακόμα και μη εκπαιδευμένους ανθρώπινους αξιολογητές. Σημαντικά πλεονεκτήματα του μοντέλου περιλαμβάνουν:

- Η δυνατότητα εντοπισμού μικρών αλλαγών στα κινητικά πρότυπα που συχνά δεν ανιχνεύονται κλινικά.

- ο Η χρήση δεδομένων από αισθητήρες για την εξαγωγή αντικειμενικών μετρήσεων.

Ανέπτυξαν ένα μοντέλο SVM (Support Vector Machine) που αξιοποίησε πρότυπα από τη Βαθμολογία Ενοποιημένης Κλίμακας για τη ΝΠ (UPDRS) για την ανίχνευση τρόμου ηρεμίας και βραδυκινήσιας. Το μοντέλο ξεπέρασε σε ακρίβεια ακόμα και μη εκπαιδευμένους ανθρώπινους αξιολογητές.

Ενσωμάτωση Δεδομένων σε Φορητές Συσκευές

Η χρήση φορητών συσκευών για τη συλλογή δεδομένων κίνησης έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στη διάγνωση και παρακολούθηση της ΝΠ. Οι αισθητήρες που ενσωματώνονται σε έξυπνα ρολόγια, κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές επιτρέπουν:

- **Συνεχή Παρακολούθηση:** Τα δεδομένα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της κινητικής συμπεριφοράς του ασθενούς κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- **Εξατομικευμένη Φροντίδα:** Οι πληροφορίες που συλλέγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή της θεραπευτικής προσέγγισης με βάση τις μοναδικές ανάγκες του ασθενούς.
- **Μείωση Κόστους:** Οι ασθενείς μπορούν να παρακολουθούνται από απόσταση, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές επισκέψεις στις ιατρικές εγκαταστάσεις.

Πλεονεκτήματα και Μελλοντικές Προοπτικές

Η ανάλυση κίνησης και βάδισης προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα:

1. **Μη Επεμβατική Προσέγγιση:** Οι τεχνικές αυτές δεν απαιτούν παρεμβατικές διαδικασίες, καθιστώντας τις ιδιαίτερα ελκυστικές για τους ασθενείς.
2. **Πρώιμη Διάγνωση:** Η ανάλυση κινητικών προτύπων μπορεί να ανιχνεύσει σημάδια της ΝΠ σε αρχικά στάδια, όταν οι κλινικές εκδηλώσεις είναι ακόμα ήπιες.
3. **Αξιοπιστία και Αντικειμενικότητα:** Τα δεδομένα από αισθητήρες παρέχουν αντικειμενικές μετρήσεις, μειώνοντας την υποκειμενικότητα που συχνά συνοδεύει τις παραδοσιακές μεθόδους διάγνωσης.
4. **Προληπτική Ιατρική:** Η ανάλυση κινητικών δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της εξέλιξης της νόσου, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση.

Η ανάλυση κίνησης και βάδισης, σε συνδυασμό με τεχνολογίες αιχμής, όπως τα SVM μοντέλα και οι αισθητήρες φορητών συσκευών, αναδεικνύεται ως ένα ισχυρό εργαλείο για τη

διάγνωση και παρακολούθηση της ΝΠ. Οι πρόσφατες μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης, ενώ οι τεχνολογικές εξελίξεις αναμένεται να επεκτείνουν περαιτέρω τις δυνατότητές της. Με την ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων στην καθημερινή κλινική πρακτική, μπορεί να επιτευχθεί μια πιο εξατομικευμένη και αποδοτική διαχείριση της νόσου, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής των ασθενών.

Βιοδείκτες και Μοριακές Αναλύσεις

Η ανίχνευση και ανάλυση βιοδεικτών αποτελεί έναν από τους πιο υποσχόμενους τομείς για την κατανόηση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ). Οι βιοδείκτες μπορούν να παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη, τη διάγνωση και την ανταπόκριση στις θεραπείες, διευκολύνοντας την ανάπτυξη εξατομικευμένων παρεμβάσεων. Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης (TN) και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων έχουν προσφέρει νέες δυνατότητες στην κατανόηση της παθοφυσιολογίας της νόσου, με επίκεντρο τη μιτοχονδριακή δυσλειτουργία, το οξειδωτικό στρες και τη συσχέτιση με πρωτεϊνικούς δείκτες:

- **Jang et al. [26]:** Οι Jang et al. διερεύνησαν τα μοριακά μονοπάτια που συνδέονται με τη ΝΠ μέσω πρωτεομικής ανάλυσης σε δείγματα μέλαινας ουσίας ασθενών. Τα ευρήματά τους περιλαμβάνουν:
 - **DJ-1:** Μια πρωτεΐνη με κρίσιμο ρόλο στην προστασία από το οξειδωτικό στρες. Η μειωμένη έκφραση ή η δυσλειτουργία της σχετίζεται με τη νευροεκφύλιση.
 - **A-συνουκλεΐνη:** Ένας βασικός δείκτης που εμπλέκεται στον σχηματισμό των σωμάτων Lewy, χαρακτηριστικό παθολογικό στοιχείο της ΝΠ.
 - **Complement C3:** Δείκτης που υποδεικνύει τη συμμετοχή του ανοσοποιητικού συστήματος και της φλεγμονής στην εξέλιξη της νόσου.

Τα δεδομένα υπογραμμίζουν τη μιτοχονδριακή δυσλειτουργία και το οξειδωτικό στρες ως κρίσιμους μηχανισμούς στην παθολογία της ΝΠ. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών ανοίγει τον δρόμο για την ανάπτυξη νέων φαρμακευτικών στρατηγικών που στοχεύουν στις υποκείμενες αιτίες της νευροεκφύλισης.

- **Frasca et al. [27]:** Οι Frasca et al. αξιοποίησαν δεδομένα από την Πρωτοβουλία Δεικτών Εξέλιξης της ΝΠ (PMI) για να εντοπίσουν βιοδείκτες που σχετίζονται με την πρόοδο της νόσου. Η μελέτη τους περιλαμβάνει:
 - **Αλγόριθμοι Clustering:** Οι ασθενείς ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες με βάση την εξέλιξη της νόσου, επιτρέποντας την κατανόηση της ετερογένειας της ΝΠ.

- **Διαδραστική Οπτικοποίηση:** Οι σχέσεις μεταξύ διαφορετικών ιατρικών δεδομένων απεικονίστηκαν μέσω γραφημάτων, διευκολύνοντας την κατανόηση της πολυπλοκότητας της νόσου.

Το clustering προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την ταξινόμηση των ασθενών, διευκολύνοντας την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων. Επιπλέον, η χρήση διαδραστικών γραφημάτων ενισχύει την ικανότητα των κλινικών γιατρών να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις.

Προηγμένες Τεχνικές Μηχανικής Μάθησης

Η μηχανική μάθηση (MM) αποτελεί την καρδιά της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και έχει αναδείξει την ικανότητά της να διαμορφώνει νέες προσεγγίσεις στη διάγνωση της Νόσου του Parkinson (NΠ). Με τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων και τεχνικών επιλογής χαρακτηριστικών, οι ερευνητές έχουν δημιουργήσει μοντέλα υψηλής ακρίβειας που βασίζονται σε ποικίλες πηγές δεδομένων, όπως κινητικά δεδομένα, ιατρικές σημειώσεις και άλλες βιολογικές μετρήσεις.:

- **Mittal et al. [28]:** Η ομάδα χρησιμοποίησε την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) για την επιλογή των σημαντικότερων χαρακτηριστικών από μεγάλα σύνολα δεδομένων, διευκολύνοντας την αποτελεσματική μείωση της πολυπλοκότητας των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εξαγωγή μόνο των κρίσιμων στοιχείων που είναι απαραίτητα για τη διάγνωση.
 - **Διαδικασία:** Με τη βοήθεια του PCA, τα δεδομένα κατηγοριοποιήθηκαν σε θετικές (ασθενείς με NΠ) και αρνητικές (υγιείς) ομάδες, χρησιμοποιώντας διάφορους classifiers, όπως Support Vector Machines (SVM) και Random Forests.
 - **Αποτελέσματα:** Τα μοντέλα πέτυχαν ακρίβεια άνω του 90%, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα της PCA στη δημιουργία διαγνωστικών συστημάτων υψηλής απόδοσης. Η χρήση αυτής της προσέγγισης διευκολύνει τη δημιουργία εύρωστων μοντέλων, ακόμα και με πολύπλοκα και μεγάλα δεδομένα.

Η προσέγγιση με ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) για την επιλογή χαρακτηριστικών και η χρήση διαφορετικών classifiers επέτρεψε την ανάπτυξη μοντέλων με ακρίβεια πάνω από 90% για τη διάγνωση της NΠ.

- **Wasif et al. [29]:** Η μέθοδος "Recursive Feature Elimination" (RFE), σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο XGBoost, επέτρεψε τη δημιουργία ενός εξαιρετικά ακριβούς

μοντέλου για τη διάγνωση της ΝΠ. Το RFE επιλέγει τις πιο σχετικές μεταβλητές από τα δεδομένα, εξαλείφοντας σταδιακά τα λιγότερο σημαντικά χαρακτηριστικά.

- ο **Προσέγγιση:** Ο συνδυασμός της RFE με το XGBoost, έναν αλγόριθμο ενισχυτικής μάθησης, επέτρεψε τη δημιουργία ενός μοντέλου με ακρίβεια 97.43%. Αυτή η εξαιρετική ακρίβεια καθιστά το μοντέλο κατάλληλο για κλινική χρήση, προσφέροντας μια ταχεία και αξιόπιστη μέθοδο διάγνωσης.
- ο **Πλεονεκτήματα:** Η μέθοδος αυτή μειώνει την πολυπλοκότητα των δεδομένων, διασφαλίζοντας την αποτελεσματικότητα ακόμα και σε περιπτώσεις όπου οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι περιορισμένες.

Χρησιμοποίησαν τη μέθοδο "Recursive Feature Elimination" σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο XGBoost, επιτυγχάνοντας ακρίβεια 97.43% στη διάγνωση της ΝΠ.

Ανάλυση Ιατρικών Σημειώσεων

Η ανάλυση μη δομημένων δεδομένων, όπως οι ιατρικές σημειώσεις, έχει αναδειχθεί ως ένα υποσχόμενο πεδίο στη διάγνωση της ΝΠ. Η χρήση τεχνικών βαθιάς μάθησης, όπως τα Convolutional Neural Networks (CNN), προσφέρει νέα εργαλεία για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από μεγάλα και ετερογενή δεδομένα.

- **Mittal et al. [28]:** Η ομάδα χρησιμοποίησε CNN για την ανάλυση ιατρικών σημειώσεων και δεδομένων από ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας (EMR). Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε την εξαγωγή κρίσιμων χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τη διάγνωση της ΝΠ.
 - ο **Αποτελέσματα:** Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια άνω του 90%, αποδεικνύοντας ότι οι ιατρικές σημειώσεις μπορούν να αξιοποιηθούν ως αξιόπιστη πηγή δεδομένων για την ανίχνευση της νόσου.
 - ο **Εφαρμογές:** Αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα νοσοκομειακά συστήματα, επιτρέποντας τη διαρκή αξιολόγηση ασθενών και τη βελτιστοποίηση της φροντίδας.

Χρησιμοποίησαν CNN για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από ιατρικές σημειώσεις και δεδομένα. Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια άνω του 90%, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα χρήσης μη δομημένων δεδομένων για τη διάγνωση της ΝΠ.

Η Νόσος του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί μία από τις πιο σοβαρές νευροεκφυλιστικές διαταραχές και χαρακτηρίζεται από την καταστροφή των εγκεφαλικών κυττάρων που παράγουν ντοπαμίνη, έναν νευροδιαβιβαστή που ρυθμίζει την ομαλή κίνηση και τον έλεγχο

των κινήσεων. Όταν χαθεί το 60-80% αυτών των κυττάρων, εμφανίζονται κινητικά συμπτώματα, ενώ οι μη κινητικές εκδηλώσεις μπορεί να προηγούνται για χρόνια [35]. Η χρήση αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης (MM) για τη διάγνωση της ΝΠ έχει δείξει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η μέθοδος που παρουσίασε η Senturk, χρησιμοποιώντας Recursive Feature Elimination (RFE) και Support Vector Machines (SVM), πέτυχε ακρίβεια 93.84%, εστιάζοντας στη μείωση των χαρακτηριστικών φωνής [35].

Η ΝΠ αποτελεί τη δεύτερη συχνότερη νευροεκφυλιστική νόσο, με την επικράτησή της να αναμένεται να διπλασιαστεί τις επόμενες τρεις δεκαετίες. Παρά τις προόδους, η έγκαιρη και ακριβής διάγνωση της ΝΠ παραμένει πρόκληση. Νέες διαγνωστικές εξελίξεις περιλαμβάνουν την ανάπτυξη βιοδεικτών, γενετικών και απεικονιστικών εξετάσεων, που πλέον εντάσσονται στις κλινικές πρακτικές [39]. Παράλληλα, υπό διερεύνηση βρίσκονται νέοι ιστικοί και υγροί βιοδείκτες. Η ΝΠ μεταβαίνει από μία καθαρά κλινική σε μία βιοδεικτορική διαγνωστική οντότητα, όπου αναγνωρίζονται υποτύποι με διαφορετικές προγνώσεις και αναπτύσσονται νέες τροποποιητικές θεραπείες [36].

Η ανάλυση φωνής έχει καταστεί κρίσιμη για τη διάγνωση της ΝΠ, δεδομένου ότι πάνω από το 90% των ασθενών παρουσιάζουν φωνητικές διαταραχές. Ωστόσο, η χρήση πολλαπλών τύπων δειγμάτων φωνής ανά ασθενή μπορεί να μειώσει την ακρίβεια ανίχνευσης. Η μέθοδος δύο διαστάσεων που πρότειναν οι Ali et al. [37] βελτιώνει την ακρίβεια μέσω της κατάταξης χαρακτηριστικών με μοντέλο χ^2 και επιλεκτικής επιλογής δειγμάτων, υπερέχοντας των προηγμένων μεθόδων [37].

Η προγνωστική διάγνωση της ΝΠ περιλαμβάνει συνδυασμό κινητικών και μη κινητικών συμπτωμάτων. Σε πολυμεταβλητές αναλύσεις, συμπτώματα όπως τρόμος, δυσκοιλιότητα, κατάθλιψη ή άγχος, ζάλη, προβλήματα ισορροπίας και μνήμης, υποτονία και υπερσιελόρροια σχετίστηκαν σημαντικά με την πιθανότητα διάγνωσης της ΝΠ εντός 5 ετών. Ο αλγόριθμος διακρίβωσης παρουσίασε περιοχή κάτω από την καμπύλη (AUC) 0.80, με ακρίβεια που ενισχύει την κλινική αξιοποίηση αυτών των δεδομένων [38].

Συνολικά, οι παραπάνω μελέτες αναδεικνύουν τη σημασία της τεχνολογίας και της MM στη βελτίωση της διάγνωσης και της πρόγνωσης της ΝΠ, εστιάζοντας τόσο στη φωνή όσο και σε κλινικά και βιοδεικτορικά δεδομένα.

Συμπεράσματα

Η εφαρμογή προηγμένων τεχνικών MM προσφέρει μια επαναστατική προσέγγιση στη διάγνωση της ΝΠ. Με τη χρήση εργαλείων όπως το PCA, το RFE και τα CNN, οι ερευνητές μπορούν να δημιουργήσουν μοντέλα υψηλής ακρίβειας που είναι ικανά να αναλύουν μεγάλα και πολυδιάστατα δεδομένα. Οι τεχνικές αυτές δεν παρέχουν μόνο μια βελτιωμένη ακρίβεια

στη διάγνωση αλλά και μια βαθύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη νόσο.

Με την περαιτέρω εξέλιξη αυτών των μεθόδων και την ενσωμάτωσή τους σε κλινικά συστήματα, η διάγνωση της ΝΠ μπορεί να γίνει πιο γρήγορη, ακριβής και προσιτή, προσφέροντας στους ασθενείς τη δυνατότητα για πρόωμη παρέμβαση και βελτιωμένη ποιότητα ζωής.

6.2 Μελέτες στη Διαχείριση

Η διαχείριση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί μια πολυδιάστατη διαδικασία που απαιτεί την ταυτόχρονη αντιμετώπιση κινητικών και μη κινητικών συμπτωμάτων, προσαρμογή της θεραπείας στις ανάγκες του ασθενούς, και συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου. Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη καινοτόμων εργαλείων που προσφέρουν εξατομικευμένες λύσεις, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ασθενών και μειώνοντας την επιβάρυνση για τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

Εξατομικευμένη Θεραπεία με TN

Η διαχείριση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της νευρολογικής ιατρικής, λόγω της πολυπλοκότητας και της ετερογένειας της νόσου. Η εξατομίκευση της θεραπείας κρίνεται απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση της φροντίδας και της ποιότητας ζωής των ασθενών. Τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) προσφέρουν μια καινοτόμο προσέγγιση, παρέχοντας πολύτιμα εργαλεία για την κατανόηση της νόσου, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών σχημάτων και τη λήψη εξατομικευμένων αποφάσεων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σημαντικές μελέτες που έχουν συμβάλει στη διαχείριση της ΝΠ μέσω της TN.:

- **Warden et al. [30]:** Η ομάδα Warden χρησιμοποίησε ένα καινοτόμο μοντέλο βασισμένο σε δεδομένα φαρμακευτικών αγωγών, συνδυάζοντας πληροφορίες από ιατρικά διαγνωστικά δεδομένα και κωδικούς διαδικασιών.

- **Προσέγγιση:**

Το σύστημα πρόβλεψης αξιοποίησε ταξινομητές τυχαίων δασών (Random Forest Classifiers), επιτρέποντας την ανάλυση σύνθετων σχέσεων μεταξύ θεραπευτικών παρεμβάσεων και της εξέλιξης της νόσου. Τα δεδομένα περιλάμβαναν τη δοσολογία των φαρμάκων, τις αλληλεπιδράσεις και την αποτελεσματικότητά τους σε διαφορετικές κατηγορίες ασθενών.

- **Αποτελέσματα:**

Το σύστημα πέτυχε υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας των αγωγών, παρέχοντας εξατομικευμένες προτάσεις για την προσαρμογή της θεραπείας. Αυτή η προσέγγιση βοηθά τους ιατρούς να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις, αποφεύγοντας τις ανεπιθύμητες παρενέργειες και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της θεραπείας.

- **Συνεισφορά:**

Το μοντέλο αναδεικνύει την αξία της TN στη βελτιστοποίηση της φαρμακευτικής αγωγής, παρέχοντας ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξατομικευμένη φροντίδα των ασθενών.

Χρησιμοποίησαν δεδομένα φαρμακευτικών αγωγών σε συνδυασμό με πληροφορίες διάγνωσης και κωδικούς διαδικασιών, αναπτύσσοντας ένα σύστημα πρόβλεψης με τη χρήση ταξινομητών τυχαίων δασών (random forest classifiers). Το σύστημα παρείχε εξατομικευμένες προτάσεις για την προσαρμογή της φαρμακευτικής αγωγής.

- **Younis et al. [31]:** Η ομάδα Younis υιοθέτησε τεχνικές ensemble learning, όπως οι stacking και voting classifiers, για την ανάπτυξη μοντέλων υποστήριξης αποφάσεων στη διαχείριση της ΝΠ.

- **Προσέγγιση:**

Τα μοντέλα συνδυάζουν διαφορετικούς αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, επιτρέποντας την ενσωμάτωση πληροφοριών από πολλαπλές πηγές δεδομένων, όπως η σοβαρότητα των συμπτωμάτων, η ηλικία και οι συνυπάρχουσες ασθένειες. Το stacking classifier επιτρέπει τη συνδυασμένη χρήση πολλών μοντέλων, αυξάνοντας την ακρίβεια και την ανθεκτικότητα των προβλέψεων.

- **Αποτελέσματα:**

Η τεχνική αυτή παρήγαγε μοντέλα υψηλής ακρίβειας, με ακρίβεια που ξεπερνά το 92.2%. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη δυνατότητα των μοντέλων να βοηθούν τους ιατρούς στη λήψη αποφάσεων, μειώνοντας τον χρόνο αξιολόγησης και ενισχύοντας την αξιοπιστία των θεραπειών.

- **Συνεισφορά:**

Η προσέγγιση αυτή προσφέρει μια νέα διάσταση στη διαχείριση της ΝΠ, επιτρέποντας τη δυναμική παρακολούθηση και την προσαρμογή της θεραπείας σε πραγματικό χρόνο.

Εφάρμοσαν τεχνικές ensemble learning (stacking και voting classifiers) για τη δημιουργία μοντέλων υψηλής ακρίβειας, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν τους ιατρούς στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση της ΝΠ.

Η Δύναμη της Εξατομικευμένης Θεραπείας

Οι μελέτες αυτές αναδεικνύουν τη σημασία της εξατομικευμένης θεραπείας για τη ΝΠ. Τα εργαλεία που βασίζονται στην ΤΝ επιτρέπουν:

1. **Ανάλυση** **Μεγάλων** **Δεδομένων:**
Η ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλές πηγές (ιατρικές σημειώσεις, βιοδείκτες, κινητικά δεδομένα) οδηγεί σε πιο εμπειριστατωμένες αποφάσεις.
2. **Εξατομίκευση** **Θεραπειών:**
Οι θεραπευτικές παρεμβάσεις προσαρμόζονται στις ατομικές ανάγκες κάθε ασθενούς, λαμβάνοντας υπόψη την ετερογένεια της νόσου.
3. **Βελτίωση** **της** **Απόκρισης** **στις** **Θεραπείες:**
Η πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας των αγωγών και η προσαρμογή των θεραπευτικών σχεδίων εξασφαλίζουν τη μεγιστοποίηση της απόκρισης και τη μείωση των παρενεργειών.

Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Οι τεχνικές ΤΝ έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώσουν το μέλλον της διαχείρισης της ΝΠ. Με την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων μοντέλων και την ενσωμάτωσή τους στην κλινική πρακτική, οι ιατροί θα αποκτήσουν ισχυρότερα εργαλεία για την αντιμετώπιση της νόσου. Η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων σε φορητές συσκευές και πλατφόρμες τηλεϊατρικής αναμένεται να ενισχύσει την προσβασιμότητα και τη φροντίδα, παρέχοντας στους ασθενείς τη δυνατότητα για δυναμική και εξατομικευμένη διαχείριση της νόσου.

Παρακολούθηση Συμπτωμάτων σε Πραγματικό Χρόνο

Η παρακολούθηση των συμπτωμάτων της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) σε πραγματικό χρόνο αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο για τη βελτίωση της διαχείρισης της νόσου. Η χρήση φορητών συσκευών, αισθητήρων και τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) έχει ανοίξει νέους δρόμους στην κατανόηση και παρακολούθηση της προόδου της ΝΠ, παρέχοντας στους ιατρούς και στους ασθενείς τη δυνατότητα για έγκαιρες και στοχευμένες παρεμβάσεις:

- **Abdulhay et al. [24]:** Η μελέτη Abdulhay et al. ανέλυσε δεδομένα από αισθητήρες που παρακολουθούσαν τον κύκλο βάδισης των ασθενών με ΝΠ. Οι αισθητήρες αυτοί

κατέγραφαν κρίσιμες παραμέτρους όπως η διάρκεια, το μέγιστο πλάτος και οι διακυμάνσεις των παλμών κατά τη διάρκεια της βάρδισης.

- ο **Αποτελέσματα:**

Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε την ανίχνευση κινητικών ανωμαλιών, όπως η βραδυκινησία και οι τρόμοι, με ακρίβεια 92.7%. Τα δεδομένα αυτά προσφέρουν ακριβείς μετρήσεις της σοβαρότητας των κινητικών συμπτωμάτων, παρέχοντας στους ιατρούς τη δυνατότητα για στοχευμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις.

- ο **Συνεισφορά:**

Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης φορητών αισθητήρων για τη συνεχή παρακολούθηση των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την εξάρτηση από τις περιοδικές επισκέψεις σε κλινικές.

Χρησιμοποίησαν αισθητήρες βάρδισης για την ανάλυση του κύκλου βάρδισης και τον εντοπισμό ανωμαλιών. Τα δεδομένα επέτρεψαν την αξιολόγηση της σοβαρότητας των κινητικών συμπτωμάτων, όπως η βραδυκινησία και οι τρόμοι.

- **Mittal et al. [28]:** Η μελέτη Mittal et al. εστίασε στην ανάλυση δεδομένων κινητικότητας μέσω τεχνικών PCA (Principal Component Analysis). Με τη μείωση της διαστασιμότητας των δεδομένων και την επιλογή των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών, οι ερευνητές ανέπτυξαν μοντέλα για την παρακολούθηση και πρόβλεψη της εξέλιξης των συμπτωμάτων.

- ο **Αποτελέσματα:**

Τα μοντέλα αυτά πέτυχαν υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη των κινητικών συμπτωμάτων, προσφέροντας τη δυνατότητα για δυναμική προσαρμογή της θεραπείας. Η δυνατότητα πρόβλεψης της εξέλιξης των συμπτωμάτων επιτρέπει στους ιατρούς να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα, όπως η τροποποίηση της φαρμακευτικής αγωγής ή η ενίσχυση των φυσιοθεραπευτικών παρεμβάσεων.

- ο **Συνεισφορά:**

Η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνικών στην κλινική πρακτική μπορεί να μειώσει τις αιφνίδιες επιδεινώσεις των συμπτωμάτων και να ενισχύσει τη συνολική ποιότητα ζωής των ασθενών.

Εφάρμοσαν τεχνικές PCA για την ανάλυση δεδομένων κινητικότητας, δημιουργώντας μοντέλα που βοηθούν στη διαχείριση των συμπτωμάτων μέσω της ακριβούς πρόβλεψης της εξέλιξής τους.

Συνεχής Παρακολούθηση μέσω Φορητών Συσκευών

Η χρήση φορητών συσκευών και αισθητήρων για την παρακολούθηση της ΝΠ έχει ήδη αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η διαχείριση της νόσου:

- Οι φορητές συσκευές καταγράφουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, όπως τα μοτίβα βάδισης, τη δραστηριότητα και τη φυσιολογική λειτουργία των ασθενών.
- Τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται μέσω δικτύων σε κλινικές βάσεις δεδομένων, όπου επεξεργάζονται με τη χρήση ΤΝ και αναλύονται για την ανίχνευση αλλαγών στην κατάσταση του ασθενούς.
- Οι ιατροί λαμβάνουν ειδοποιήσεις για τυχόν σημαντικές αποκλίσεις, επιτρέποντας την έγκαιρη λήψη μέτρων.

Οφέλη για Ασθενείς και Ιατρούς

• Ασθενείς:

Οι ασθενείς αποκτούν μεγαλύτερο έλεγχο στη διαχείριση της νόσου τους, καθώς μπορούν να παρακολουθούν τα συμπτώματά τους και να προσαρμόζουν τη θεραπεία τους σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η δυνατότητα για απομακρυσμένη παρακολούθηση μειώνει την ανάγκη για συχνές επισκέψεις στις κλινικές, βελτιώνοντας την καθημερινότητά τους.

• Ιατροί:

Οι ιατροί αποκτούν πρόσβαση σε μεγάλα και ακριβή σύνολα δεδομένων που αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση των ασθενών σε καθημερινές συνθήκες. Αυτό επιτρέπει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών παρεμβάσεων.

Μελλοντικές Εξελίξεις

Η περαιτέρω ανάπτυξη και ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών αναμένεται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη διαχείριση της ΝΠ. Η χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε συνδυασμό με εξελιγμένους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς προβλέψεις, καλύτερη παρακολούθηση των συμπτωμάτων και, τελικά, βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Ψηφιακοί Βιοδείκτες και Διαχείριση Δεδομένων

Οι ψηφιακοί βιοδείκτες αποτελούν μια επαναστατική εξέλιξη στη διαχείριση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ), παρέχοντας νέες δυνατότητες κατανόησης και αντιμετώπισης της νόσου. Μέσω της συλλογής δεδομένων από αισθητήρες, φορητές συσκευές και άλλες τεχνολογίες,

είναι πλέον εφικτό να δημιουργηθούν δυναμικά προφίλ για τους ασθενείς, να προβλεφθεί η εξέλιξη της νόσου και να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της θεραπείας σε πραγματικό χρόνο:

- **Frasca et al. [27]:** Η μελέτη Frasca et al. χρησιμοποίησε δεδομένα από την Πρωτοβουλία Δεικτών Εξέλιξης της ΝΠ (PMI), εφαρμόζοντας αλγορίθμους clustering για την κατηγοριοποίηση των ασθενών.

- **Διαδικασία** **και** **Αποτελέσματα:**

Οι ασθενείς ταξινομήθηκαν σε ομάδες βάσει κρίσιμων χαρακτηριστικών, όπως κινητικά και μη κινητικά συμπτώματα, προσφέροντας τη δυνατότητα δημιουργίας εξατομικευμένων θεραπευτικών προφίλ. Το σύστημα παρείχε προγνωστικές πληροφορίες για την πορεία της νόσου και την ανταπόκριση στη θεραπεία, επιτρέποντας στους ιατρούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις.

- **Συνεισφορά:**

Αυτή η μέθοδος προάγει τη χρήση των ψηφιακών βιοδεικτών ως ένα κρίσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της εξέλιξης της ΝΠ, μειώνοντας την εξάρτηση από παραδοσιακές, στατικές μεθόδους διάγνωσης και διαχείρισης.

Χρησιμοποίησαν αλγορίθμους clustering για την ταξινόμηση ασθενών και τη δημιουργία προφίλ θεραπείας με βάση δεδομένα από την Πρωτοβουλία Δεικτών Εξέλιξης της ΝΠ (PMI). Το σύστημα παρείχε προγνωστικές πληροφορίες σχετικά με την πορεία της νόσου.

- **Wasif et al. [29]:** Η προσέγγιση του Wasif et al. επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη του RFE, μιας τεχνικής επιλογής χαρακτηριστικών, για την απομόνωση των πιο σημαντικών δεδομένων από μεγάλους όγκους πληροφοριών.

- **Διαδικασία** **και** **Αποτελέσματα:**

Το RFE χρησιμοποίησε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, όπως το XGBoost, για την επιλογή χαρακτηριστικών με τη μεγαλύτερη διαγνωστική και προγνωστική αξία. Η ακρίβεια πρόβλεψης που επιτεύχθηκε έφτασε το 97.43%, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στη δημιουργία μοντέλων υψηλής ακρίβειας για τη διαχείριση της ΝΠ.

- **Συνεισφορά:**

Το RFE επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη νόσο, παρέχοντας τη βάση για πιο στοχευμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις.

Ανέπτυξαν το Recursive Feature Elimination (RFE) για την επιλογή κρίσιμων χαρακτηριστικών, βελτιώνοντας την ακρίβεια πρόβλεψης στο 97.43%.

Ο Ρόλος των Ψηφιακών Βιοδεικτών

Οι ψηφιακοί βιοδείκτες, όπως δεδομένα κινητικότητας, καρδιακού ρυθμού, και φυσιολογικών λειτουργιών, παρέχουν πλούσιες πληροφορίες για την κατάσταση του ασθενούς:

- **Μη Επεμβατική Παρακολούθηση:**
Τα δεδομένα συλλέγονται με τη χρήση φορητών συσκευών, όπως έξυπνα ρολόγια και αισθητήρες, χωρίς την ανάγκη για επεμβατικές διαδικασίες. Αυτό μειώνει το άγχος και την ταλαιπωρία των ασθενών, ενώ παράλληλα παρέχει συνεχείς πληροφορίες.
- **Εξατομίκευση της Θεραπείας:**
Οι ψηφιακοί βιοδείκτες επιτρέπουν την προσαρμογή της θεραπείας με βάση την πραγματική κατάσταση του ασθενούς, εξαλείφοντας τη γενική προσέγγιση που συχνά δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες των ατόμων με ΝΠ.
- **Προγνωστικές Δυνατότητες:**
Με τη χρήση αλγορίθμων TN, οι ψηφιακοί βιοδείκτες μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια την εξέλιξη της νόσου, παρέχοντας στους ιατρούς τη δυνατότητα για έγκαιρες παρεμβάσεις.

Οφέλη και Μελλοντικές Εξελίξεις

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών βιοδεικτών στη διαχείριση της ΝΠ προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα:

1. **Αύξηση της Ακρίβειας:**
Οι ψηφιακοί βιοδείκτες προσφέρουν λεπτομερή και ακριβή δεδομένα, μειώνοντας τα περιθώρια σφάλματος.
2. **Μείωση του Κόστους Φροντίδας:**
Με τη χρήση τεχνολογιών απομακρυσμένης παρακολούθησης, μειώνεται η ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε κλινικές και νοσοκομεία.
3. **Υποστήριξη Ιατρικών Αποφάσεων:**
Οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε βιοδείκτες μπορούν να παρέχουν πληροφορίες που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων, μειώνοντας την υποκειμενικότητα.

Μελλοντικά, η περαιτέρω ανάπτυξη των ψηφιακών βιοδεικτών αναμένεται να περιλαμβάνει τη χρήση μεγάλων δεδομένων και πιο εξελιγμένων αλγορίθμων TN για τη βελτιστοποίηση

της διαχείρισης της ΝΠ. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στην καθημερινή κλινική πρακτική θα οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Απομακρυσμένη Υγειονομική Περίθαλψη

Η απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη έχει φέρει επανάσταση στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων, όπως η Νόσος του Parkinson (ΝΠ), προσφέροντας συνεχή υποστήριξη και παρακολούθηση των ασθενών χωρίς την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε κλινικές ή νοσοκομεία. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους ασθενείς να λαμβάνουν υψηλής ποιότητας φροντίδα ακόμη και σε απομακρυσμένες περιοχές, ενώ παρέχει στους ιατρούς αξιόπιστα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων:

- **Park et al. [25]:** Η μελέτη των Park et al. χρησιμοποίησε δεδομένα από την Ενοποιημένη Κλίμακα για τη ΝΠ (UPDRS) για την ανάπτυξη ενός συστήματος που βασίζεται στη μηχανική μάθηση, το οποίο παρακολουθεί τα συμπτώματα των ασθενών.

- **Κύρια**

- **Ευρήματα:**

Το σύστημα αξιολόγησε την απόκριση των ασθενών σε θεραπείες, όπως η λεβοντόπα, και παρείχε προτάσεις για προσαρμογές της φαρμακευτικής αγωγής. Οι προσαρμογές βασίστηκαν σε πραγματικά δεδομένα, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της θεραπείας και μειώνοντας τις ανεπιθύμητες ενέργειες.

- **Επίδραση:**

Αυτή η προσέγγιση παρέχει εξατομικευμένη φροντίδα, λαμβάνοντας υπόψη τις μοναδικές ανάγκες κάθε ασθενούς και μειώνοντας τα περιθώρια σφάλματος που σχετίζονται με τις γενικευμένες θεραπείες.

Χρησιμοποίησαν δεδομένα από το Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) για την ανάπτυξη ενός συστήματος που παρακολουθεί τα συμπτώματα μέσω μηχανικής μάθησης. Το σύστημα αξιολόγησε την απόκριση των ασθενών στη θεραπεία και πρότεινε προσαρμογές.

- **Digital Biomarkers [32]:** Οι ψηφιακοί βιοδείκτες, όπως δεδομένα από αισθητήρες καρπού και έξυπνες συσκευές, χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση συμπτωμάτων όπως η δυσκινησία, οι τρόμοι και η βραδυκινησία.

- **Ανάλυση**

- **Δεδομένων:**

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε πραγματικό χρόνο και συγκρίθηκαν με κλινικές αξιολογήσεις από εξειδικευμένους ιατρούς. Αυτή η προσέγγιση

επέτρεψε τη συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου, ενώ τα δεδομένα ενίσχυσαν την αξιοπιστία των ιατρικών αποφάσεων.

- ο **Αποτελεσματικότητα:**

Τα δεδομένα από τους ψηφιακούς βιοδείκτες έδειξαν υψηλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα των παραδοσιακών μεθόδων κλινικής αξιολόγησης, αποδεικνύοντας τη δυνατότητα των φορητών συσκευών να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν τις παραδοσιακές μεθόδους παρακολούθησης.

Αισθητήρες καρπού και φορητές συσκευές χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση συμπτωμάτων όπως η δυσκινησία και οι τρόμοι. Τα δεδομένα επιβεβαιώθηκαν με κλινικές αξιολογήσεις, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους.

Πλεονεκτήματα της Απομακρυσμένης Φροντίδας

Η ενσωμάτωση της απομακρυσμένης φροντίδας στη διαχείριση της ΝΠ προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα:

1. **Μειωμένη Ανάγκη για Φυσικές Επισκέψεις:**
Οι ασθενείς μπορούν να παρακολουθούνται στο σπίτι τους, μειώνοντας τις ταλαιπωρίες και το κόστος μεταφοράς.
2. **Συνεχής Παρακολούθηση:**
Τα δεδομένα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας στους ιατρούς μια ολοκληρωμένη εικόνα της καθημερινής ζωής και των συμπτωμάτων των ασθενών.
3. **Βελτίωση της Πρόσβασης:**
Οι απομακρυσμένες περιοχές επωφελούνται ιδιαίτερα, καθώς οι ασθενείς μπορούν να λαμβάνουν φροντίδα υψηλού επιπέδου χωρίς να χρειάζεται να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις.

Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί περαιτέρω μέσω της χρήσης πιο προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και της ενσωμάτωσης της τεχνητής νοημοσύνης στις φορητές συσκευές. Επιπλέον, η ανάπτυξη συστημάτων που συνδυάζουν δεδομένα από πολλαπλές πηγές, όπως κινητικά δεδομένα, καρδιολογικά σήματα και φωνητικές αναλύσεις, θα επιτρέψει τη δημιουργία πιο ολοκληρωμένων και δυναμικών προσεγγίσεων διαχείρισης.

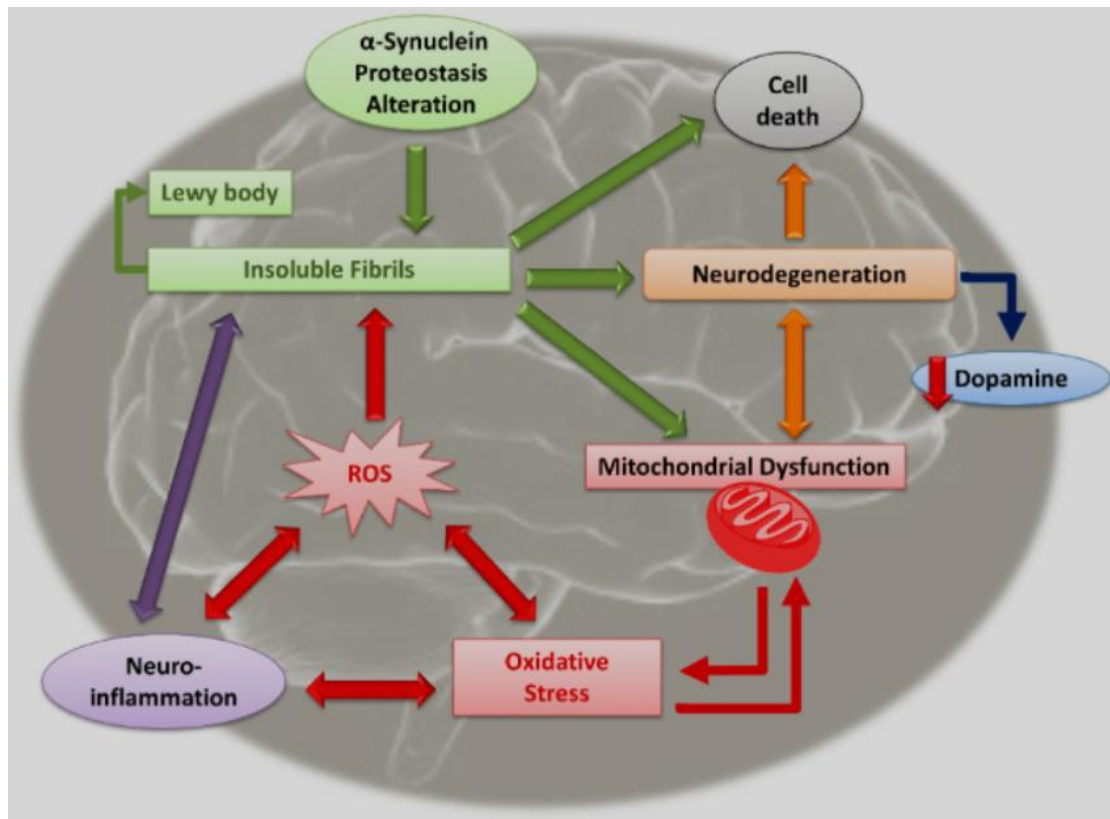
Η απομακρυσμένη φροντίδα είναι ένας βασικός παράγοντας για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών με ΝΠ, προσφέροντας εξατομικευμένες και αποτελεσματικές λύσεις στη διαχείριση της νόσου.

Ψυχοκοινωνική Υποστήριξη μέσω TN

Η ψυχοκοινωνική υποστήριξη αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισης της ΝΠ, και η TN έχει συμβάλει σημαντικά σε αυτόν τον τομέα:

- Εφαρμογές συνομιλίας και εικονικοί βοηθοί βασισμένοι σε TN προσφέρουν στους ασθενείς εξατομικευμένες πληροφορίες για τη διαχείριση της νόσου.
- Η ανάλυση συναισθηματικής κατάστασης μέσω TN βοηθά τους ιατρούς να εντοπίσουν ασθενείς που διατρέχουν κίνδυνο κατάθλιψης ή άγχους.

Η νόσος του Parkinson (ΝΠ) είναι μια προοδευτική νευροεκφυλιστική διαταραχή που επηρεάζει την κίνηση και συνοδεύεται από κινητικά και μη κινητικά συμπτώματα, τα οποία προκαλούνται κυρίως από την απώλεια ντοπαμινεργικών νευρώνων και τη συσσώρευση της παθολογίας της α-συνουκλεΐνης [41]. Παρά τις τρέχουσες φαρμακευτικές θεραπείες, όπως η λεβοντόπα, που παραμένει η πιο αποτελεσματική επιλογή για τη βελτίωση των κινητικών συμπτωμάτων, η μακροχρόνια χρήση της μπορεί να οδηγήσει σε κινητικές επιπλοκές, όπως δυσκινησία και διακυμάνσεις κινητικότητας. Στρατηγικές όπως η συνεχής ντοπαμινεργική θεραπεία και η λεβοντόπα με εξοικονόμηση παραμένουν σημαντικές για τη διαχείριση αυτών των επιπλοκών [42].



Εικόνα 9: Αλληλεπίδραση μεταξύ του κύριου μοριακού μηχανισμού που εμπλέκεται στην παθογένεση της νόσου του Πάρκινσον (PD) (<https://www.mdpi.com/2218-273X/9/7/271>)

Η εικόνα αναπαριστά ένα σύνολο παθοφυσιολογικών μηχανισμών που συνδέονται με τη Νόσο του Parkinson (NΠ). Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών μοριακών και κυτταρικών παραγόντων, οδηγώντας στην εξέλιξη της νόσου. Ακολουθεί η περιγραφή των βασικών στοιχείων της εικόνας:

1. Αλλαγές στην πρωτεόσταση της α-συνουκλεΐνης (α-Synuclein Proteostasis Alteration):

- Η παθολογική συσσώρευση της α-συνουκλεΐνης οδηγεί στο σχηματισμό αδιάλυτων ινιδίων (Insoluble Fibrils) και στη δημιουργία Lewy bodies, τα οποία είναι χαρακτηριστικά της NΠ.
- Αυτές οι δομές συνδέονται με την κυτταρική δυσλειτουργία και τελικά με το θάνατο των κυττάρων.

2. Νευροεκφύλιση (Neurodegeneration):

- Η συσσώρευση των αδιάλυτων ινιδίων προάγει τον εκφυλισμό των νευρώνων.

- Η νευροεκφύλιση συνδέεται με την απώλεια νευρώνων που παράγουν ντοπαμίνη, οδηγώντας σε μείωση των επιπέδων της ντοπαμίνης (Dopamine), η οποία είναι κρίσιμη για την κινητική λειτουργία.

3. Δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων (Mitochondrial Dysfunction):

- Οι μιτοχονδριακές δυσλειτουργίες παίζουν κεντρικό ρόλο στη νόσο, καθώς επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας και αυξάνουν το οξειδωτικό στρες (Oxidative Stress).
- Το οξειδωτικό στρες προάγει τη δημιουργία αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS), τα οποία συμβάλλουν περαιτέρω στη βλάβη των μιτοχονδρίων και των κυττάρων.

4. Οξειδωτικό Στρες (Oxidative Stress) και Νευροφλεγμονή (Neuro-inflammation):

- Το οξειδωτικό στρες και η παραγωγή ROS ενισχύουν τη φλεγμονή στο νευρικό σύστημα, επιδεινώνοντας τη νευροεκφύλιση.
- Η νευροφλεγμονή, με τη σειρά της, τροφοδοτεί τον κύκλο του οξειδωτικού στρες, οδηγώντας σε έναν φαύλο κύκλο κυτταρικής βλάβης.

5. Κυτταρικός Θάνατος (Cell Death):

- Η συνδυαστική δράση της δυσλειτουργίας των μιτοχονδρίων, του οξειδωτικού στρες, και της νευροφλεγμονής οδηγεί στον εκφυλισμό και τελικά στον θάνατο των νευρώνων.

Η εικόνα δείχνει πώς αυτοί οι παθολογικοί μηχανισμοί είναι αλληλένδετοι, δημιουργώντας έναν κύκλο δυσλειτουργιών που ενισχύουν την πρόοδο της ΝΠ. Η κατανόηση αυτών των διαδικασιών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη θεραπευτικών παρεμβάσεων που στοχεύουν στη διακοπή ή επιβράδυνση της νόσου.

Οι μη κινητικές εκδηλώσεις της ΝΠ, όπως οι διαταραχές ύπνου, έχουν επίσης σοβαρή επίπτωση στην ποιότητα ζωής των ασθενών. Αυτές περιλαμβάνουν τη διαταραχή συμπεριφοράς στον ύπνο REM, το σύνδρομο ανήσυχων ποδιών, την υπερβολική ημερήσια υπνηλία, και τη δυσλειτουργία του κιρκάδιου ρυθμού. Αυτές οι καταστάσεις επηρεάζουν σημαντικά τον ύπνο και πρέπει να αντιμετωπίζονται με εξατομικευμένες θεραπευτικές προσεγγίσεις [43].

Επιπλέον, οι διατροφικές παρεμβάσεις και τα συμπληρώματα διατροφής έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον για την πρόληψη και τη διαχείριση της ΝΠ. Τα φυσικά συστατικά, όπως οι φυτοχημικές ουσίες, οι βιταμίνες και τα μέταλλα, συμβάλλουν στη μείωση του οξειδωτικού

στρες, του σχηματισμού ελευθέρων ριζών και της νευροφλεγμονής, που αποτελούν βασικούς παθοφυσιολογικούς μηχανισμούς της νόσου [40].

Παράλληλα, οι σύγχρονες προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν τη χρήση μεταμοσχεύσεων ντοπαμινεργικών νευρώνων από βλαστοκύτταρα, την επεξεργασία γονιδίων και τη μεταφορά γονιδίων, παραμένουν υποσχόμενες για τη μακροπρόθεσμη διαχείριση της ΝΠ. Τα μοντέλα που μιμούνται την παθολογία της ΝΠ είναι κρίσιμα για τη μετάφραση ερευνητικών δεδομένων σε κλινικές θεραπείες, προσφέροντας εργαλεία για την ανακάλυψη νευροπροστατευτικών και θεραπευτικών παραγόντων [41].

Η συνολική προσέγγιση για τη ΝΠ περιλαμβάνει συνδυασμό φαρμακευτικών, μη φαρμακευτικών και καινοτόμων θεραπευτικών μεθόδων, καθώς και εξατομικευμένες παρεμβάσεις, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών και των φροντιστών τους.

Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές για τη διαχείριση της ΝΠ μέσω TN και MM προσφέρουν ευκαιρίες για τη βελτίωση της φροντίδας των ασθενών, την προσαρμογή των θεραπευτικών πρωτοκόλλων και την παρακολούθηση της πορείας της νόσου σε πραγματικό χρόνο. Η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών απαιτεί προσεκτική επικύρωση και κανονιστική ρύθμιση, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητά τους.

6.3 Μελέτες στην Πρόγνωση

Η πρόγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί κρίσιμο τομέα έρευνας, καθώς η κατανόηση της εξέλιξης της νόσου και η εκτίμηση μελλοντικών συμπτωμάτων μπορούν να συμβάλουν στην έγκαιρη λήψη θεραπευτικών αποφάσεων και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών. Με τη χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (TN), Μηχανικής Μάθησης (MM) και προηγμένων υπολογιστικών μοντέλων, αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο εργαλεία που παρέχουν ακριβείς προγνώσεις για την εξέλιξη της ΝΠ.

Πρόβλεψη Εξέλιξης μέσω Κλινικών Δεδομένων

Τα κλινικά δεδομένα, όπως οι βαθμολογίες στο Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της εξέλιξης της ΝΠ. Τα μοντέλα πρόβλεψης βασίζονται σε δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια κλινικών αξιολογήσεων και περιλαμβάνουν τόσο κινητικά όσο και μη κινητικά συμπτώματα:

- **Alexander et al. [33]:** Η μελέτη των Alexander et al. παρουσίασε ένα πρωτοποριακό μοντέλο παλινδρόμησης, το οποίο χρησιμοποιούσε δεδομένα από την κλίμακα UPDRS και δημογραφικά στοιχεία για την πρόβλεψη των μελλοντικών σκορ.

- ο **Κύρια**

Ευρήματα:

Το μοντέλο πέτυχε ένα ριζικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) 4.07, αναδεικνύοντας την ακρίβεια των κλινικών δεδομένων για την πρόβλεψη της πορείας της νόσου. Το RMSE δείχνει πόσο κοντά ήταν οι προβλέψεις στα πραγματικά δεδομένα, υπογραμμίζοντας τη χρησιμότητα του μοντέλου σε πραγματικές κλινικές συνθήκες.

- ο **Εφαρμογή:**

Η χρήση του μοντέλου αυτού επιτρέπει στους κλινικούς ιατρούς να εντοπίζουν ασθενείς που διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο ταχείας επιδείνωσης, παρέχοντας τη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης με εξατομικευμένες θεραπευτικές στρατηγικές.

Ανέπτυξαν ένα μοντέλο παλινδρόμησης που χρησιμοποίησε δεδομένα από την κλίμακα UPDRS και δημογραφικά στοιχεία για την πρόβλεψη των μελλοντικών σκορ. Το μοντέλο είχε ριζικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) 4.07, αναδεικνύοντας την ακρίβεια των κλινικών δεδομένων για προγνωστικούς σκοπούς.

- **Palmeri et al. [34]:** Οι Palmeri et al. διεξήγαγαν μια λεπτομερή ανάλυση των ετήσιων αυξήσεων στα σκορ της κλίμακας UPDRS, επικεντρώνοντας την προσοχή τους στις διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στα πρώιμα και τα προχωρημένα στάδια της νόσου.

- ο **Αποτελέσματα:**

Η μελέτη έδειξε ότι τα κινητικά συμπτώματα, όπως η βραδυκινησία, επιδεινώνονται με ταχύτερους ρυθμούς σε προχωρημένα στάδια, ενώ τα μη κινητικά συμπτώματα, όπως η γνωστική έκπτωση, εξελίσσονται πιο σταθερά και γραμμικά.

- ο **Συμβολή στην Κλινική Πρακτική:**

Οι πληροφορίες αυτές είναι κρίσιμες για την κατανόηση της πορείας της νόσου σε διαφορετικούς ασθενείς, επιτρέποντας τη δημιουργία πιο στοχευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων που ανταποκρίνονται στις μοναδικές ανάγκες του κάθε ασθενούς.

Μελέτησαν την ετήσια αύξηση στα επιμέρους μέρη της κλίμακας UPDRS (κινητικά, καθημερινές δραστηριότητες και μη κινητικά συμπτώματα), παρέχοντας πολύτιμες

πληροφορίες για τα διαφορετικά πρότυπα εξέλιξης σε πρώιμα και προχωρημένα στάδια της νόσου.

Εφαρμογές και Προοπτικές

Η χρήση κλινικών δεδομένων για την πρόγνωση της ΝΠ έχει ανοίξει νέες προοπτικές στην κατανόηση και διαχείριση της νόσου:

1. **Δημιουργία Στατιστικών Προτύπων:** Τα δεδομένα από την κλίμακα UPDRS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προτύπων που βοηθούν στην αξιολόγηση της προόδου της νόσου με ακρίβεια.
2. **Βελτίωση της Εξατομίκευσης:** Τα προγνωστικά μοντέλα μπορούν να καθοδηγήσουν τους ιατρούς στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις κατάλληλες θεραπείες για διαφορετικά στάδια της ΝΠ [44].
3. **Υποστήριξη Κλινικών Δοκιμών:** Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας νέων θεραπειών, προσφέροντας μια αντικειμενική βάση για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η πρόγνωση της ΝΠ μέσω κλινικών δεδομένων αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ενίσχυση της ακρίβειας στη λήψη αποφάσεων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών, καθιστώντας την ένα αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης κλινικής πρακτικής.

Προγνωστικοί Βιοδείκτες

Η αναζήτηση μοριακών βιοδεικτών που σχετίζονται με την εξέλιξη της ΝΠ έχει οδηγήσει στη χρήση προηγμένων τεχνικών ανάλυσης, όπως η πρωτεομική και η μεταγραφωματική. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την αναγνώριση συγκεκριμένων δεικτών που σχετίζονται με τη νευροεκφύλιση:

- **Jang et al. [26]:** Η μελέτη των Jang et al. επικεντρώθηκε στη χρήση πρωτεομικής ανάλυσης για τον εντοπισμό σημαντικών μοριακών δεικτών στο εγκεφαλικό υγρό ασθενών με ΝΠ.
 - **Κύρια Ευρήματα:**
 - Εντοπίστηκαν πρωτεΐνες όπως το DJ-1 και η α -συνουκλεΐνη, που σχετίζονται με την εμφάνιση οξειδωτικού στρες και τη μιτοχονδριακή δυσλειτουργία.
 - Αυτοί οι δείκτες είναι γνωστό ότι διαδραματίζουν καίριο ρόλο στις διεργασίες νευροεκφύλισης που χαρακτηρίζουν την ΝΠ.

- ο **Εφαρμογές** **στην** **Πρόγνωση:**
Οι δείκτες αυτοί μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση της εξέλιξης της νόσου και την πρόβλεψη των επιπτώσεών της σε επίπεδο κυτταρικής λειτουργίας. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων φαρμακευτικών παρεμβάσεων που στοχεύουν στη μείωση του οξειδωτικού στρες και τη βελτίωση της λειτουργίας των μιτοχονδρίων.

Εντόπισαν μοριακούς δείκτες στο εγκεφαλικό υγρό, όπως DJ-1 και α-συνουκλεΐνη, οι οποίοι σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες και τη δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων, υποδεικνύοντας τη σημασία αυτών των μηχανισμών στην πρόγνωση της νόσου [45].

- **Frasca et al. [27]:** Η μελέτη των Frasca et al. συνδύασε μοριακά και κλινικά δεδομένα για την ανάπτυξη αλγορίθμων clustering, οι οποίοι κατηγοριοποιούν ασθενείς με βάση τα χαρακτηριστικά τους.

- ο **Μεθοδολογία και Ευρήματα:**
- ο Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν δεδομένα από την Πρωτοβουλία Δεικτών Εξέλιξης της ΝΠ (PMI) για να ταξινομήσουν ασθενείς σε διακριτές ομάδες με βάση τη σοβαρότητα και την πορεία της νόσου.
- ο Οι κατηγορίες αυτές επέτρεψαν την πρόβλεψη της εξέλιξης της νόσου με βάση συγκεκριμένα μοριακά πρότυπα και κλινικές παρατηρήσεις.
- ο **Σημασία** **στην** **Κλινική** **Πρακτική:**
Η δυνατότητα ομαδοποίησης ασθενών με αυτόν τον τρόπο παρέχει μια νέα διάσταση στην εξατομικευμένη ιατρική, επιτρέποντας στους κλινικούς γιατρούς να προσαρμόζουν τις θεραπείες με βάση τις μοναδικές ανάγκες κάθε ομάδας ασθενών.

Εφάρμοσαν αλγόριθμους clustering για την κατηγοριοποίηση ασθενών με βάση μοριακά και κλινικά δεδομένα, επιτρέποντας την πρόβλεψη της εξέλιξης της νόσου και την εξατομίκευση της θεραπείας.

Η Σημασία των Προγνωστικών Βιοδεικτών

Η ενσωμάτωση των μοριακών βιοδεικτών στην πρόγνωση της ΝΠ έχει πολλαπλά οφέλη:

1. **Αναγνώριση Κρίσιμων Μηχανισμών:** Οι δείκτες όπως το DJ-1 και η α-συνουκλεΐνη παρέχουν πληροφορίες για τους κυτταρικούς μηχανισμούς που

επηρεάζουν την εξέλιξη της νόσου, διευκολύνοντας την έγκαιρη διάγνωση και παρέμβαση.

2. **Βελτίωση της Ακρίβειας:** Μέσω της χρήσης προηγμένων αλγορίθμων, τα δεδομένα από βιοδείκτες μπορούν να ενισχύσουν την ακρίβεια της πρόγνωσης, μειώνοντας την πιθανότητα σφαλμάτων στην κλινική αξιολόγηση.
3. **Ανάπτυξη Στοχευμένων Θεραπειών:** Οι μοριακοί βιοδείκτες ανοίγουν τον δρόμο για τη δημιουργία φαρμάκων που στοχεύουν σε συγκεκριμένα παθοφυσιολογικά μονοπάτια, προσφέροντας καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα [46].
4. **Εξατομικευμένη Ιατρική:** Η κατηγοριοποίηση ασθενών με βάση μοριακά δεδομένα επιτρέπει την προσαρμογή των θεραπευτικών παρεμβάσεων στις ανάγκες κάθε ασθενούς, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της θεραπείας.

Η αναζήτηση και χρήση προγνωστικών βιοδεικτών στη ΝΠ αποτελεί θεμέλιο για τη βελτίωση της κατανόησης και διαχείρισης της νόσου, παρέχοντας στους ερευνητές και κλινικούς ιατρούς ισχυρά εργαλεία για την αντιμετώπιση αυτής της περίπλοκης νευροεκφυλιστικής διαταραχής.

Προγνωστικά Μοντέλα Βασισμένα σε Αισθητήρες

Η χρήση φορητών συσκευών και αισθητήρων επιτρέπει την ανάλυση κινητικών και μη κινητικών δεδομένων για την πρόγνωση της ΝΠ:

- **Park et al. [25]:** Η ομάδα των Park et al. ανέπτυξε ένα σύστημα πρόγνωσης βασισμένο σε μηχανική μάθηση, το οποίο χρησιμοποίησε δεδομένα από αισθητήρες για την παρακολούθηση βασικών κινητικών συμπτωμάτων, όπως η βραδυκίνησια και οι τρόμοι.
 - **Κύρια Χαρακτηριστικά του Μοντέλου:**
 - Χρήση αισθητήρων κίνησης για τη συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο.
 - Ανάλυση των δεδομένων μέσω προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη της εξέλιξης των συμπτωμάτων.
 - **Ευρήματα και Εφαρμογές:**
 - Το μοντέλο κατέδειξε υψηλή ακρίβεια στην ανίχνευση και πρόγνωση των κινητικών συμπτωμάτων, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση από τους κλινικούς ιατρούς.

- Παρείχε μια βάση για τη δημιουργία εξατομικευμένων προγνωστικών εργαλείων που μπορούν να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη θεραπεία.

Ανέπτυξαν ένα σύστημα βασισμένο σε μηχανική μάθηση, χρησιμοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες για την παρακολούθηση της βραδυκινησίας και των τρόμων. Το μοντέλο έδειξε υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη της εξέλιξης των κινητικών συμπτωμάτων.

- **Mittal et al. [28]:** Η μελέτη των Mittal et al. χρησιμοποίησε δεδομένα από φορητές συσκευές, όπως έξυπνα ρολόγια και αισθητήρες, για τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων που εκτιμούν την εξέλιξη της ΝΠ σε ατομικό επίπεδο.

- **Προσεγγίσεις και Μεθοδολογία:**

- Εφαρμόστηκαν τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA), για τη μείωση της πολυπλοκότητας των δεδομένων.
- Δημιουργήθηκαν μοντέλα πρόβλεψης που βασίζονται σε μηχανική μάθηση, τα οποία συνδύασαν δεδομένα κινητικότητας και φυσιολογικών λειτουργιών.

- **Συμπεράσματα και Επιπτώσεις:**

- Τα μοντέλα έδειξαν εξαιρετική ακρίβεια στην πρόβλεψη της πορείας της νόσου, προσφέροντας στους κλινικούς ιατρούς την ευκαιρία να προσαρμόσουν τις θεραπείες ανάλογα με την πρόβλεψη των συμπτωμάτων.
- Η χρήση δεδομένων από φορητές συσκευές διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη διαχείριση της νόσου μακροπρόθεσμα.

Η Σημασία των Αισθητήρων στην Πρόγνωση της ΝΠ

Η αξιοποίηση αισθητήρων και φορητών συσκευών προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα στην πρόγνωση της ΝΠ:

1. **Συνεχής Παρακολούθηση:** Οι αισθητήρες επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πληροφορίες που δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμες σε μια κλασική κλινική επίσκεψη [47].
2. **Εξατομίκευση Θεραπείας:** Τα προγνωστικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προσαρμοσμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων, βασισμένων στις μοναδικές ανάγκες κάθε ασθενούς.

3. **Προσαρμογή της Θεραπείας σε Πραγματικό Χρόνο:** Οι πληροφορίες από τους αισθητήρες μπορούν να βοηθήσουν τους γιατρούς να προσαρμόσουν τις θεραπείες με βάση την τρέχουσα κατάσταση του ασθενούς.
4. **Βελτίωση της Ποιότητας Ζωής:** Η χρήση αυτών των εργαλείων μειώνει την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε ιατρικές εγκαταστάσεις, επιτρέποντας στους ασθενείς να παρακολουθούν τη νόσο από την άνεση του σπιτιού τους.

Η χρήση φορητών συσκευών και αισθητήρων αποτελεί έναν καινοτόμο τομέα που υπόσχεται να μεταμορφώσει την πρόγνωση της ΝΠ, παρέχοντας στους ασθενείς και τους κλινικούς ιατρούς τη δυνατότητα για πιο έγκαιρη και ακριβή διαχείριση της νόσου.

Προγνωστικές Τεχνικές Βασισμένες στη Φωνή και την Κίνηση

Η ανάλυση φωνής και κίνησης με τη χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και Μηχανικής Μάθησης (MM) έχει εξελιχθεί σε έναν βασικό τομέα πρόγνωσης της Νόσου του Parkinson (ΝΠ), παρέχοντας ακριβείς και μη επεμβατικές λύσεις. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στη συλλογή δεδομένων από φωνητικά χαρακτηριστικά και κινητικά πρότυπα, τα οποία συσχετίζονται με την εξέλιξη της νόσου:

- **Karabayir et al. [23]:** Η ομάδα των Karabayir et al. ανέπτυξε ένα μοντέλο πρόγνωσης βασισμένο στη φωνή, το οποίο χρησιμοποίησε προηγμένους αλγόριθμους, όπως το Light Gradient Boosting (LGB), για την ανάλυση ακουστικών χαρακτηριστικών.
 - **Χαρακτηριστικά του Μοντέλου:**
 - Εξέταση γραμμικών και μη γραμμικών χαρακτηριστικών της φωνής, όπως η ένταση, η συχνότητα, και οι διακυμάνσεις της.
 - Εστίαση σε μη επεμβατικά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται εύκολα και χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένου εξοπλισμού.
 - **Αποτελέσματα:**
 - Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια έως 95.5%, υποδεικνύοντας ότι οι φωνητικές αλλαγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ισχυροί δείκτες για την πρόγνωση της ΝΠ.
 - Προσέφερε δυνατότητα έγκαιρης πρόγνωσης, ειδικά για ασθενείς με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης της νόσου.

Χρησιμοποίησαν δεδομένα φωνής για την πρόβλεψη της ΝΠ, επιτυγχάνοντας ακρίβεια έως 95.5%. Τα δεδομένα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την έγκαιρη πρόγνωση της νόσου σε άτομα με αυξημένο κίνδυνο.

- **Abdulhay et al. [24]:** Στη μελέτη των Abdulhay et al., η ανάλυση βάδισης ενσωματώθηκε σε ένα προγνωστικό μοντέλο που βασίζεται σε χαρακτηριστικά κίνησης.
 - **Μεθοδολογία και Χρήση Δεδομένων:**
 - Χρησιμοποίησαν αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη διάρκεια, την ένταση και τη σταθερότητα του βήματος.
 - Οι πληροφορίες αυτές υποβλήθηκαν σε ανάλυση με τη χρήση MM, με στόχο την κατανόηση των κινητικών προτύπων που σχετίζονται με την εξέλιξη της ΝΠ.
 - **Συμπεράσματα:**
 - Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια 92.7%, υποδεικνύοντας ότι η ανάλυση κινητικότητας μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την πρόγνωση.
 - Ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανίχνευση αλλαγών σε πρώιμα στάδια της νόσου, όπου τα συμπτώματα είναι ακόμα περιορισμένα.

Ενσωμάτωσαν αναλύσεις βάδισης σε ένα προγνωστικό μοντέλο, χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά όπως η διάρκεια και η ένταση του βήματος. Το μοντέλο είχε ακρίβεια 92.7%, υποδεικνύοντας τη χρησιμότητα των δεδομένων κινητικότητας.

Η Σημασία της Ανάλυσης Φωνής και Κίνησης στην Πρόγνωση της ΝΠ

1. **Έγκαιρη Ανίχνευση:** Οι τεχνικές που βασίζονται στη φωνή και την κίνηση επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση της ΝΠ, παρέχοντας τη δυνατότητα για ταχύτερη έναρξη θεραπευτικών παρεμβάσεων.
2. **Ευκολία Εφαρμογής:** Η συλλογή δεδομένων είναι μη επεμβατική και μπορεί να γίνει σε περιβάλλοντα εκτός κλινικής, όπως στο σπίτι του ασθενούς, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε ιατρικές εγκαταστάσεις.
3. **Εξατομικευμένη Πρόγνωση:** Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή των προβλέψεων στις ατομικές ανάγκες του κάθε ασθενούς, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ηλικία και το στάδιο της νόσου.

4. **Ενσωμάτωση TN και MM:** Οι προηγμένοι αλγόριθμοι επιτρέπουν την εξαγωγή λεπτομερών χαρακτηριστικών από μεγάλα σύνολα δεδομένων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των προβλέψεων.

Η ανάλυση φωνής και κίνησης αποτελεί έναν από τους πιο υποσχόμενους τομείς για την πρόγνωση της ΝΠ, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις που μπορούν να ενσωματωθούν στις κλινικές πρακτικές και να υποστηρίξουν τη μακροπρόθεσμη διαχείριση της νόσου.

Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης στην Πρόγνωση

Η χρήση της Μηχανικής Μάθησης (MM) στην πρόγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) αποτελεί ένα από τα πιο καινοτόμα και αποτελεσματικά εργαλεία για την κατανόηση της εξέλιξης της νόσου. Οι αλγόριθμοι MM δίνουν τη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων και εξαγωγής προγνωστικών μοντέλων που μπορούν να αξιοποιηθούν από τους επαγγελματίες υγείας για τη βελτίωση της φροντίδας των ασθενών:

- **Wasif et al. [29]:** Οι Wasif et al. επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη ενός προγνωστικού μοντέλου υψηλής ακρίβειας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Recursive Feature Elimination (RFE) για την επιλογή κρίσιμων χαρακτηριστικών.
 - **Διαδικασία:**
 - Η RFE χρησιμοποιείται για την ιεράρχηση και την επιλογή των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών από μεγάλα δεδομένα, μειώνοντας έτσι το θόρυβο που μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των προβλέψεων.
 - Ο ταξινομητής XGBoost ενσωματώθηκε στη διαδικασία, επιτρέποντας την ακριβέστερη πρόβλεψη της πορείας της νόσου.
 - **Αποτελέσματα:**
 - Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια 97.43%, καταδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της μεθόδου RFE και την ισχυρή απόδοση του XGBoost στην επεξεργασία δεδομένων πολλών διαστάσεων.
 - Τα χαρακτηριστικά που αναγνωρίστηκαν ως σημαντικά περιλαμβάνουν κινητικά δεδομένα, μη κινητικά συμπτώματα, και βιοδείκτες.

Εφάρμοσαν τη μέθοδο Recursive Feature Elimination (RFE) για την επιλογή των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών, επιτυγχάνοντας ακρίβεια 97.43% με τον ταξινομητή XGBoost.

- **Younis et al. [31]:** Η μελέτη των Younis et al. εστίασε στην ενσωμάτωση διαφορετικών τεχνικών Ensemble Learning για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων που χρησιμοποιούν συνδυασμό δεδομένων από ποικίλες πηγές.

- **Τεχνικές:**
- Το **stacking classifier** συνδυάζει προβλέψεις από πολλαπλά υπομοντέλα, επιτρέποντας την αξιοποίηση των δυνατοτήτων κάθε αλγορίθμου για τη δημιουργία ενός ισχυρότερου τελικού μοντέλου.
- Το **voting classifier** χρησιμοποιεί την ψήφο πλειοψηφίας για την επιλογή της πιο πιθανής πρόγνωσης, εξασφαλίζοντας σταθερότητα στα αποτελέσματα.
- **Αποτελέσματα:**
- Τα μοντέλα πέτυχαν ακρίβεια άνω του 92%, αποδεικνύοντας τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σύνθετων δεδομένων σε ένα λειτουργικό και αποτελεσματικό προγνωστικό σύστημα.
- Η χρήση αυτών των τεχνικών ενίσχυσε την ικανότητα πρόβλεψης της εξέλιξης της νόσου σε διαφορετικά στάδια.

Ανέπτυξαν μοντέλα πρόβλεψης που χρησιμοποιούν μεθόδους stacking και voting, παρέχοντας ακριβείς εκτιμήσεις για την πορεία της νόσου.

Ενσωμάτωση Πολλαπλών Πηγών Δεδομένων

Τα προγνωστικά μοντέλα που βασίζονται στη MM έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων:

- **Ιατρικών αρχείων:** Δεδομένα από το ιστορικό ασθενών, όπως βαθμολογίες UPDRS και δημογραφικά στοιχεία.
- **Φορητών συσκευών:** Κινητικά και φυσιολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.
- **Μοριακών αναλύσεων:** Βιοδείκτες από εργαστηριακές εξετάσεις και αναλύσεις εγκεφαλικού υγρού.

Η ενσωμάτωση αυτών των πηγών δεδομένων σε προγνωστικά μοντέλα ενισχύει την κατανόηση της πορείας της ΝΠ και παρέχει στους επαγγελματίες υγείας τη δυνατότητα να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες και εξατομικευμένες αποφάσεις για τη φροντίδα των ασθενών.

Προοπτικές και Εφαρμογές

Η χρήση των τεχνικών MM στη ΝΠ παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές:

1. **Βελτιωμένη πρόγνωση:** Η ακρίβεια των μοντέλων συμβάλλει στην έγκαιρη ανίχνευση των αλλαγών στην εξέλιξη της νόσου.

2. **Εξατομίκευση θεραπειών:** Τα μοντέλα προσφέρουν τη δυνατότητα προσαρμογής των θεραπευτικών παρεμβάσεων στις ανάγκες κάθε ασθενούς.
3. **Ενίσχυση της φροντίδας:** Η συνεχής εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών μπορεί να μειώσει το κόστος και να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος υγείας.

Η συνδυασμένη χρήση τεχνικών MM και σύγχρονων τεχνολογιών δεδομένων ενισχύει τη δυνατότητα αντιμετώπισης της ΝΠ σε όλα τα στάδια της, προσφέροντας ελπίδα για βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές για την πρόγνωση της ΝΠ αποτελούν ένα δυναμικό και συνεχώς αναπτυσσόμενο πεδίο. Η ενσωμάτωση της TN και της MM παρέχει νέα εργαλεία για την κατανόηση της εξέλιξης της νόσου και την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων. Καθώς οι τεχνολογίες αυτές εξελίσσονται, αναμένεται να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στη βελτίωση της πρόγνωσης και της φροντίδας των ασθενών.

7. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (TN) στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ) προσφέρει ένα νέο πλαίσιο κατανόησης και αντιμετώπισης της νόσου. Το κεφάλαιο αυτό συνοψίζει τα κύρια ευρήματα της εργασίας, αναδεικνύει τις μελλοντικές προοπτικές και παρουσιάζει προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στον τομέα.

7.1 Σύνοψη Κύριων Ευρημάτων

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τις πολυδιάστατες δυνατότητες της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της Νόσου του Parkinson (ΝΠ), προσφέροντας νέες προσεγγίσεις που βελτιώνουν τη φροντίδα των ασθενών και συμβάλλουν στη βαθύτερη κατανόηση της νόσου.

Διάγνωση

Η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (MM) και βαθιάς μάθησης (BM) έχει βελτιώσει δραματικά την ακρίβεια στη διάγνωση της ΝΠ. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε πολυτροπικά δεδομένα, όπως απεικονίσεις του εγκεφάλου (MRI, PET, SPECT), δεδομένα κινητικότητας και βιολογικούς δείκτες, επιτρέπουν την ανίχνευση της νόσου στα πρώιμα στάδια της. Ιδιαίτερα, τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την ανάλυση φωνής και βάδισης παρέχουν μη επεμβατικές λύσεις για τον έλεγχο μεγάλων πληθυσμών και τη διάγνωση ατόμων με αυξημένο κίνδυνο [48].

Η δυνατότητα χρήσης φορητών συσκευών και αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενισχύει περαιτέρω την έγκαιρη διάγνωση, μειώνοντας την ανάγκη για επεμβατικές και χρονοβόρες κλινικές διαδικασίες. Τα εργαλεία αυτά βελτιώνουν όχι μόνο την ευαισθησία και την ειδικότητα της διάγνωσης, αλλά και την ποιότητα ζωής των ασθενών, καθώς αποτρέπουν καθυστερήσεις στη θεραπεία.

Διαχείριση

Η TN παρέχει τη βάση για εξατομικευμένες θεραπευτικές παρεμβάσεις που λαμβάνουν υπόψη την ποικιλομορφία των ασθενών και την ετερογένεια της νόσου. Με τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες, φορητές συσκευές και βιοδείκτες, η παρακολούθηση της πορείας της ΝΠ καθίσταται πιο ακριβής και προσαρμόσιμη στις ανάγκες του κάθε ασθενούς.

Για παράδειγμα, η αξιοποίηση αλγορίθμων MM για την ανάλυση μοτίβων βάδισης και κινητικότητας έχει οδηγήσει σε βελτιώσεις στην κατανόηση των επιπτώσεων των θεραπειών

[49]. Επιπλέον, η χρήση συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο παρέχει τη δυνατότητα στους κλινικούς ιατρούς να εντοπίσουν αλλαγές στην πορεία της νόσου και να προσαρμόσουν τη θεραπεία εγκαίρως. Τέτοιες προσεγγίσεις μειώνουν την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε κλινικές, προσφέροντας στους ασθενείς μεγαλύτερη αυτονομία.

Πρόγνωση

Η μηχανική μάθηση έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη για την πρόβλεψη της εξέλιξης της ΝΠ, επιτρέποντας στους κλινικούς ιατρούς να προετοιμαστούν για μελλοντικές προκλήσεις και να σχεδιάσουν μακροπρόθεσμες στρατηγικές φροντίδας [50]. Τα προγνωστικά μοντέλα, βασισμένα σε κλινικά δεδομένα και βιοδείκτες, μπορούν να εκτιμήσουν τη μελλοντική σοβαρότητα της νόσου, την απόκριση στις θεραπείες, αλλά και την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων συμπτωμάτων.

Η ανάλυση δεδομένων από κλίμακες όπως το UPDRS, σε συνδυασμό με δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, έχει οδηγήσει σε μοντέλα πρόβλεψης που προσφέρουν υψηλή ακρίβεια [51]. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών όπως οι νευρωνικοί δίκτυα και τα μοντέλα αναγνώρισης μοτίβων επιτρέπει την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων για την ανίχνευση πρόδρομων σημείων που σχετίζονται με την εξέλιξη της νόσου.

Περιορισμοί και Μελλοντικές Προκλήσεις

Παρά τις σημαντικές προόδους, η χρήση της ΤΝ στη ΝΠ δεν στερείται προκλήσεων. Ορισμένα από τα σημαντικότερα ζητήματα περιλαμβάνουν:

- **Έλλειψη διαφάνειας:** Οι αλγόριθμοι λειτουργούν συχνά ως "μαύρα κουτιά," δημιουργώντας αμφιβολίες για τη βάση λήψης των αποφάσεων.
- **Ελλιπής επικύρωση:** Η ανάπτυξη και χρήση αλγορίθμων εξαρτάται από την ποιότητα και την ποικιλία των δεδομένων, με αρκετά μοντέλα να μην έχουν επικυρωθεί επαρκώς σε μεγάλα και ποικιλόμορφα δείγματα [52].
- **Ηθικές και κανονιστικές ανησυχίες:** Η χρήση δεδομένων ασθενών εγείρει ζητήματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας, ενώ η ενσωμάτωση της ΤΝ στις κλινικές πρακτικές απαιτεί κανονιστικές εγκρίσεις και ευρεία αποδοχή από την ιατρική κοινότητα.

Συμπέρασμα

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης υπογραμμίζουν τη δυναμική της ΤΝ στη βελτίωση της φροντίδας ασθενών με ΝΠ. Με την ενσωμάτωση της ΤΝ στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση, δημιουργείται ένα πιο ολοκληρωμένο και προσαρμοσμένο σύστημα φροντίδας,

ικανό να ανταποκριθεί στις πολυδιάστατες ανάγκες των ασθενών. Ωστόσο, για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό της TN, απαιτείται περαιτέρω έρευνα, επικύρωση και ανάπτυξη κανονιστικών πλαισίων που να υποστηρίζουν την ασφαλή και αποτελεσματική ενσωμάτωσή της στην κλινική πράξη.

7.2 Μελλοντικές Προοπτικές για τη Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στη Νόσο του Parkinson

Οι μελλοντικές προοπτικές για τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη Νόσο του Parkinson (ΝΠ) παρουσιάζουν συναρπαστικές δυνατότητες για τη βελτίωση της διάγνωσης, διαχείρισης και πρόγνωσης της νόσου. Η συνεχιζόμενη εξέλιξη των αλγορίθμων και η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος ανοίγουν νέους δρόμους για καινοτόμες εφαρμογές που μπορούν να μετασχηματίσουν την υγειονομική περίθαλψη.

Πολυτροπική Ενσωμάτωση Δεδομένων

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους για το μέλλον είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων TN που θα ενσωματώνουν δεδομένα από πολλαπλές πηγές, όπως:

- **Γενετικοί δείκτες:** Ανάλυση DNA για τον εντοπισμό γενετικών προδιαθέσεων και μεταλλάξεων που σχετίζονται με τη ΝΠ.
- **Κινητικά δεδομένα:** Δεδομένα από αισθητήρες που καταγράφουν κινητικά πρότυπα, όπως βάδιση, τρόμος και ακαμψία.
- **Απεικονιστικές μετρήσεις:** MRI, PET και άλλες τεχνικές που παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τις αλλαγές στη δομή και λειτουργία του εγκεφάλου [53].

Η συνδυαστική ανάλυση αυτών των δεδομένων μέσω TN μπορεί να προσφέρει μια ολιστική εικόνα της νόσου, επιτρέποντας στους κλινικούς ιατρούς να λαμβάνουν εξατομικευμένες αποφάσεις με βάση τις μοναδικές ανάγκες κάθε ασθενούς.

Ενσωμάτωση TN σε Φορητές Συσκευές και Παρακολούθηση στο Σπίτι

Η χρήση φορητών συσκευών και συστημάτων παρακολούθησης στο σπίτι, σε συνδυασμό με αλγορίθμους TN, αναμένεται να βελτιώσει την ποιότητα φροντίδας και τη ζωή των ασθενών [54].

- **Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο:** Τα δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνες συσκευές, όπως έξυπνα ρολόγια και αισθητήρες, μπορούν να παρέχουν συνεχή ανατροφοδότηση για την πορεία της νόσου.

- **Αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις:** Συστήματα TN μπορούν να αναγνωρίζουν αλλαγές που απαιτούν άμεση ιατρική παρέμβαση, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές επισκέψεις σε ιατρικά κέντρα.
- **Βελτιστοποίηση θεραπειών:** Οι ασθενείς μπορούν να λαμβάνουν εξατομικευμένες προτάσεις θεραπείας που βασίζονται στα δεδομένα που συλλέγονται καθημερινά.

Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων και Ανακάλυψη Νέων Βιοδεικτών

Η δυνατότητα της TN να επεξεργάζεται και να αναλύει μεγάλα δεδομένα (big data) από κλινικές μελέτες, πραγματικούς ασθενείς και αισθητήρες παρέχει νέες προοπτικές για:

- **Ανακάλυψη νέων βιοδεικτών:** Η ταυτοποίηση βιοδεικτών που σχετίζονται με την πρόοδο της ΝΠ μπορεί να βελτιώσει τη διάγνωση και τη θεραπεία.
- **Κατανόηση της παθογένειας:** Η βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών της νόσου μπορεί να οδηγήσει σε νέες θεραπευτικές στρατηγικές.
- **Δημιουργία προβλεπτικών μοντέλων:** Η ανάλυση δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των προγνωστικών μοντέλων.

Εφαρμογές Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (NLP)

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP) μπορεί να διευκολύνει τη διαχείριση μη δομημένων δεδομένων, όπως οι σημειώσεις ιατρών, οι αναφορές ασθενών και οι επιστημονικές δημοσιεύσεις [55]:

- **Ανάλυση ιατρικών σημειώσεων:** Η αυτοματοποιημένη ανάλυση σημειώσεων μπορεί να εντοπίσει κρίσιμες πληροφορίες που αφορούν τη θεραπεία.
- **Βελτίωση της λήψης αποφάσεων:** Οι κλινικοί ιατροί μπορούν να λαμβάνουν καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις με βάση πληροφορίες που εξάγονται από μεγάλα κείμενα.
- **Μείωση διοικητικών βαρών:** Τα συστήματα NLP μπορούν να αυτοματοποιήσουν διοικητικές εργασίες, επιτρέποντας στους επαγγελματίες υγείας να επικεντρωθούν στους ασθενείς.

Προκλήσεις και Επόμενα Βήματα

Παρόλο που οι μελλοντικές δυνατότητες της TN είναι εντυπωσιακές, υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν [56]:

- **Ηθικά ζητήματα:** Η προστασία της ιδιωτικότητας και η διαφάνεια στη χρήση των δεδομένων παραμένουν κρίσιμα ζητήματα.

- **Επικύρωση και κανονιστική συμμόρφωση:** Οι αλγόριθμοι πρέπει να επικυρωθούν σε ευρεία κλίμακα και να ενσωματωθούν σε κανονιστικά πλαίσια.
- **Προσβασιμότητα και κόστος:** Η ανάπτυξη τεχνολογιών που είναι οικονομικά προσιτές και διαθέσιμες σε όλους είναι απαραίτητη για την πλήρη υιοθέτηση της TN στην υγεία.

Συμπέρασμα

Οι μελλοντικές προοπτικές για τη χρήση της TN στη ΝΠ είναι τεράστιες. Με την κατάλληλη επένδυση στην έρευνα, την ανάπτυξη και την κανονιστική συμμόρφωση, η TN μπορεί να προσφέρει λύσεις που θα βελτιώσουν τη ζωή των ασθενών και θα αναβαθμίσουν τη φροντίδα στη ΝΠ. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής στην καθημερινή ιατρική πρακτική μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μια νέα εποχή στην υγειονομική περίθαλψη, όπου η πρόληψη, η διάγνωση και η θεραπεία θα είναι πιο αποδοτικές, προσβάσιμες και εξατομικευμένες.

7.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Παρά τις προόδους, παραμένουν κενά γνώσης που πρέπει να καλυφθούν μέσω μελλοντικής έρευνας. Μια σημαντική κατεύθυνση είναι η βελτίωση της διαφάνειας και της επεξηγησιμότητας των αλγορίθμων TN. Η έλλειψη κατανόησης του τρόπου με τον οποίο οι αλγόριθμοι λαμβάνουν αποφάσεις αποτελεί εμπόδιο για την υιοθέτησή τους στην κλινική πρακτική. Η ανάπτυξη επεξηγήσιμων μοντέλων TN (explainable AI) θα επιτρέψει στους κλινικούς ιατρούς να εμπιστευτούν περισσότερο αυτά τα εργαλεία.

Η έρευνα θα πρέπει επίσης να επικεντρωθεί στην επικύρωση των αλγορίθμων TN σε μεγάλα και διαφοροποιημένα σύνολα δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των μοντέλων συχνά δεν είναι επαρκώς αντιπροσωπευτικά, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε προκαταλήψεις και ανακρίβειες. Η διεθνής συνεργασία για τη δημιουργία κοινών βάσεων δεδομένων μπορεί να επιλύσει αυτό το πρόβλημα.

Η ηθική διάσταση της χρήσης TN στη ΝΠ αποτελεί επίσης ένα σημαντικό πεδίο έρευνας. Οι μελέτες θα πρέπει να εστιάζουν στον αντίκτυπο της TN στην ιδιωτικότητα των δεδομένων, καθώς και στη διασφάλιση ότι οι τεχνολογίες αυτές είναι προσιτές και δίκαιες για όλους τους ασθενείς, ανεξαρτήτως κοινωνικοοικονομικής κατάστασης.

Τέλος, είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση της εκπαίδευσης για την TN στο πλαίσιο της ιατρικής κατάρτισης. Οι επαγγελματίες υγείας πρέπει να εξοικειωθούν με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αυτών των τεχνολογιών, ώστε να μπορούν να τις χρησιμοποιούν αποτελεσματικά και με ασφάλεια [57].

Η ΤΝ προσφέρει τεράστιες δυνατότητες στη διάγνωση, διαχείριση και πρόγνωση της ΝΠ. Ωστόσο, για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό της, απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία, συνεχιζόμενη έρευνα και ηθική προσέγγιση. Η υγειονομική περίθαλψη βρίσκεται σε ένα σημείο καμπής, όπου η τεχνολογία και η επιστήμη μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν ένα καλύτερο μέλλον για τους ασθενείς με ΝΠ.

Βιβλιογραφία

- [1] Roberto Cilia, Emanuele Cereda, Albert Akpalu, Fred Stephen Sarfo, Momodou Cham, Ruth Laryea, Vida Obese, Kenneth Oppon, Francesca Del Sorbo, Salvatore Bonvegna, Anna Lena Zecchinelli, Gianni Pezzoli, Natural history of motor symptoms in Parkinson's disease and the long-duration response to levodopa, *Brain*, Volume 143, Issue 8, August 2020, Pages 2490–2501, <https://doi.org/10.1093/brain/awaa181>
- [2] Foley, P.B., Hare, D.J. & Double, K.L. A brief history of brain iron accumulation in Parkinson disease and related disorders. *J Neural Transm* **129**, 505–520 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00702-022-02505-5>
- [3] Saravanan, S., Ramkumar, K., Adalarasu, K. *et al.* A Systematic Review of Artificial Intelligence (AI) Based Approaches for the Diagnosis of Parkinson's Disease. *Arch Computat Methods Eng* **29**, 3639–3653 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09710-1>
- [4] Aananya Reddy, Ruhananhad P. Reddy, Aryan Kia Roghani, Ricardo Isaiah Garcia, Sachi Khemka, Vasanthkumar Pattoor, Michael Jacob, P. Hemachandra Reddy, Ujala Sehar, Artificial intelligence in Parkinson's disease: Early detection and diagnostic advancements, *Ageing Research Reviews*, Volume 99, 2024, 102410, ISSN 1568-1637, <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102410>.
- [5] PRISMA Statement, <https://www.prisma-statement.org/>
- [6] Michiel F. Dirkx, Matteo Bologna, The pathophysiology of Parkinson's disease tremor, *Journal of the Neurological Sciences*, Volume 435, 2022, 120196, ISSN 0022-510X, <https://doi.org/10.1016/j.jns.2022.120196>.
- [7] Warnecke, T., Schäfer, KH., Claus, I. *et al.* Gastrointestinal involvement in Parkinson's disease: pathophysiology, diagnosis, and management. *npj Parkinsons Dis*. **8**, 31 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41531-022-00295-x>
- [8] Armstrong, M. J., & Okun, M. S. (2020). Diagnosis and treatment of Parkinson disease: a review. *Jama*, *323*(6), 548-560.
- [9] Tolosa, E., Garrido, A., Scholz, S. W., & Poewe, W. (2021). Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, *20*(5), 385-397.
- [10] Weintraub, D., Aarsland, D., Chaudhuri, K. R., Dobkin, R. D., Leentjens, A. F., Rodriguez-Violante, M., & Schrag, A. (2022). The neuropsychiatry of Parkinson's disease: advances and challenges. *The Lancet Neurology*, *21*(1), 89-102.
- [11] Bloem, B. R., Henderson, E. J., Dorsey, E. R., Okun, M. S., Okubadejo, N., Chan, P., ... & Munneke, M. (2020). Integrated and patient-centred management of

- Parkinson's disease: a network model for reshaping chronic neurological care. *The Lancet Neurology*, 19(7), 623-634.
- [12] Belić, M., Bobić, V., Badža, M., Šolaja, N., Đurić-Jovičić, M., & Kostić, V. S. (2019). Artificial intelligence for assisting diagnostics and assessment of Parkinson's disease—A review. *Clinical neurology and neurosurgery*, 184, 105442.
- [13] Paul, S., Maindarkar, M., Saxena, S., Saba, L., Turk, M., Kalra, M., Krishnan, P. R., & Suri, J. S. (2022). Bias Investigation in Artificial Intelligence Systems for Early Detection of Parkinson's Disease: A Narrative Review. *Diagnostics*, 12(1), 166. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010166>
- [14] Subramanian, M., Wojtusciszyn, A., Favre, L. *et al.* Precision medicine in the era of artificial intelligence: implications in chronic disease management. *J Transl Med* 18, 472 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02658-5>
- [15] Battineni, G., Sagaro, G. G., Chinatalapudi, N., & Amenta, F. (2020). Applications of Machine Learning Predictive Models in the Chronic Disease Diagnosis. *Journal of Personalized Medicine*, 10(2), 21. <https://doi.org/10.3390/jpm10020021>
- [16] Perju-Dumbrava, L., Barsan, M., Leucuta, D.C., Popa, L., Pop, C., Tohanean, N., & Popa, S. (2022). Artificial intelligence applications and robotic systems in Parkinson's disease (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 23, 153. <https://doi.org/10.3892/etm.2021.11076>
- [17] Fröhlich, H., Bontridder, N., Petrovska-Delacréta, D., Glaab, E., Kluge, F., Yacoubi, M. E., ... & Klucken, J. (2022). Leveraging the potential of digital technology for better individualized treatment of Parkinson's disease. *Frontiers in neurology*, 13, 788427.
- [18] Mall, P., Raina, D., Choudhury, T., Kotecha, K., & Sar, A. (2024, March). An Insight on Role of Artificial Intelligence for Detection of Parkinson's Disease. In *International Conference On Emerging Trends In Expert Applications & Security* (pp. 117-125). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [19] V. Sharma, S. Kaur, J. Kumar and A. K. Singh, "A Fast Parkinson's Disease Prediction Technique using PCA and Artificial Neural Network," *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, Madurai, India, 2019, pp. 1491-1496, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065876.
- [20] T. Bhattacharya, K. T. Thomas and L. Mathew, "Parkinsons Disease Progression Prediction using Advanced Machine Learning Techniques," *2024 International Conference on Electrical Electronics and Computing Technologies (ICEECT)*, Greater Noida, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEECT61758.2024.10739044.

- [21] C. H. Reddy and M. Kanchana, "Artificial Intelligence towards Parkinson's disease Diagnosis: A systematic Review of Contemporary Literature," *2022 IEEE 4th International Conference on Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications (ICCCMLA)*, Goa, India, 2022, pp. 31-37, doi: 10.1109/ICCCMLA56841.2022.9988755.
- [22] Zhang, J., Gao, Y., Gao, Y., Munsell, B. C., & Shen, D. (2016). Detecting anatomical landmarks for fast Alzheimer's disease diagnosis. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(12), 2524-2533.
- [23] Karabayir, I., Goldman, S. M., Pappu, S., & Akbilgic, O. (2020). Gradient boosting for Parkinson's disease diagnosis from voice recordings. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20, 1-7.
- [24] Abdulhay, E., Arunkumar, N., Narasimhan, K., Vellaippan, E., & Venkatraman, V. (2018). Gait and tremor investigation using machine learning techniques for the diagnosis of Parkinson disease. *Future Generation Computer Systems*, 83, 366-373.
- [25] Park, K. W., Lee, E. J., Lee, J. S., Jeong, J., Choi, N., Jo, S., ... & Chung, S. J. (2021). Machine learning-based automatic rating for cardinal symptoms of Parkinson disease. *Neurology*, 96(13), e1761-e1769.
- [26] Jang, Y., Pletnikova, O., Troncoso, J. C., Pantelyat, A. Y., Dawson, T. M., Rosenthal, L. S., & Na, C. H. (2023). Mass spectrometry-based proteomics analysis of human substantia nigra from Parkinson's disease patients identifies multiple pathways potentially involved in the disease. *Molecular & Cellular Proteomics*, 22(1).
- [27] Frasca, M., & Tortora, G. (2022). Visualizing correlations among Parkinson biomedical data through information retrieval and machine learning techniques. *Multimedia Tools and Applications*, 81(11), 14685-14703.
- [28] Mittal, V., & Sharma, R. K. (2021). Machine learning approach for classification of Parkinson disease using acoustic features. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 7(3), 233-239.
- [29] Wasif, T., Hossain, M. I. U., & Mahmud, A. (2021, July). Parkinson disease prediction using feature selection technique in machine learning. In *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [30] Warden, M. N., Searles Nielsen, S., Camacho-Soto, A., Garnett, R., & Racette, B. A. (2021). A comparison of prediction approaches for identifying prodromal Parkinson disease. *PloS one*, 16(8), e0256592.

- [31] Thanoun, M. Y., Yaseen, M. T., & Aleesa, A. M. (2021). Development of intelligent Parkinson disease detection system based on machine learning techniques using speech signal. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, 11(1), 388-392.
- [32] Coravos, A., Khozin, S., & Mandl, K. D. (2019). Developing and adopting safe and effective digital biomarkers to improve patient outcomes. *NPJ digital medicine*, 2(1), 14.
- [33] Alexander, T. D., Nataraj, C., & Wu, C. (2023). A machine learning approach to predict quality of life changes in patients with Parkinson's Disease. *Annals of clinical and translational neurology*, 10(3), 312-320.
- [34] Bhattacharya, T., Thomas, K. T., & Mathew, L. (2024, August). Parkinsons Disease Progression Prediction using Advanced Machine Learning Techniques. In *2024 International Conference on Electrical Electronics and Computing Technologies (ICEECT)* (Vol. 1, pp. 1-5). IEEE.
- [35] Senturk, Z. K. (2020). Early diagnosis of Parkinson's disease using machine learning algorithms. *Medical hypotheses*, 138, 109603.
- [36] Tolosa, E., Garrido, A., Scholz, S. W., & Poewe, W. (2021). Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 20(5), 385-397.
- [37] Ali, L., Zhu, C., Zhou, M., & Liu, Y. (2019). Early diagnosis of Parkinson's disease from multiple voice recordings by simultaneous sample and feature selection. *Expert Systems with Applications*, 137, 22-28.
- [38] Schrag, A., Anastasiou, Z., Ambler, G., Noyce, A., & Walters, K. (2019). Predicting diagnosis of Parkinson's disease: a risk algorithm based on primary care presentations. *Movement Disorders*, 34(4), 480-486.
- [39] Wang, W., Lee, J., Harrou, F., & Sun, Y. (2020). Early detection of Parkinson's disease using deep learning and machine learning. *IEEE Access*, 8, 147635-147646.
- [40] Ciulla, M., Marinelli, L., Cacciatore, I., & Stefano, A. D. (2019). Role of dietary supplements in the management of Parkinson's disease. *Biomolecules*, 9(7), 271.
- [41] Raza, C., & Anjum, R. (2019). Parkinson's disease: Mechanisms, translational models and management strategies. *Life sciences*, 226, 77-90.
- [42] Aradi, S. D., & Hauser, R. A. (2020). Medical management and prevention of motor complications in Parkinson's disease. *Neurotherapeutics*, 17(4), 1339-1365.
- [43] Zuzúárregui, J. R. P., & Doring, E. H. (2020). Sleep issues in Parkinson's disease and their management. *Neurotherapeutics*, 17(4), 1480-1494.

- [44] De Pablo-Fernández, E., Lees, A. J., Holton, J. L., & Warner, T. T. (2019). Prognosis and neuropathologic correlation of clinical subtypes of Parkinson disease. *JAMA neurology*, 76(4), 470-479.
- [45] Tsiouris, K. M., Konitsiotis, S., Koutsouris, D. D., & Fotiadis, D. I. (2020). Prognostic factors of rapid symptoms progression in patients with newly diagnosed Parkinson's disease. *Artificial intelligence in medicine*, 103, 101807.
- [46] Leung, K. H., Rowe, S. P., Pomper, M. G., & Du, Y. (2021). A three-stage, deep learning, ensemble approach for prognosis in patients with Parkinson's disease. *EJNMMI research*, 11, 1-14.
- [47] Prange, S., Metereau, E., & Thobois, S. (2019). Structural imaging in Parkinson's disease: new developments. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 19, 1-13.
- [48] Yang, W., Hamilton, J. L., Kopil, C., Beck, J. C., Tanner, C. M., Albin, R. L., ... & Thompson, T. (2020). Current and projected future economic burden of Parkinson's disease in the US. *npj Parkinson's Disease*, 6(1), 15.
- [49] Chen, K. H. S., & Chen, R. (2019). Invasive and noninvasive brain stimulation in Parkinson's disease: clinical effects and future perspectives. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 106(4), 763-775.
- [50] Lau, Y. H., Podlowska, A., Ocloo, J., Gupta, A., Gonde, C., Bloem, B. R., & Chaudhuri, K. R. (2022). Does ethnicity influence recruitment into clinical trials of Parkinson's disease?. *Journal of Parkinson's Disease*, 12(3), 975-981.
- [51] Tan, E. K., Chao, Y. X., West, A., Chan, L. L., Poewe, W., & Jankovic, J. (2020). Parkinson disease and the immune system—associations, mechanisms and therapeutics. *Nature Reviews Neurology*, 16(6), 303-318.
- [52] Potashkin, J., Huang, X., Becker, C., Chen, H., Foltynie, T., & Marras, C. (2020). Understanding the links between cardiovascular disease and Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 35(1), 55-74.
- [53] Barker, R. A., Björklund, A., Gash, D. M., Whone, A., Van Laar, A., Kordower, J. H., ... & Lang, A. E. (2020). GDNF and Parkinson's disease: where next? A summary from a recent workshop. *Journal of Parkinson's disease*, 10(3), 875-891.
- [54] Zafeiropoulos, N., Bitilis, P., Tsekouras, G. E., & Kotis, K. (2024). Evaluating ontology-based pd monitoring and alerting in personal health knowledge graphs and graph neural networks. *Information*, 15(2), 100.
- [55] Ntetsika, T., Papathoma, P. E., & Markaki, I. (2021). Novel targeted therapies for Parkinson's disease. *Molecular Medicine*, 27, 1-20.

- [56] Kamran, I., Naz, S., Razzak, I., & Imran, M. (2021). Handwriting dynamics assessment using deep neural network for early identification of Parkinson's disease. *Future Generation Computer Systems*, 117, 234-244.
- [57] Lenka, A., Pagonabarraga, J., Pal, P. K., Bejr-Kasem, H., & Kulisvesky, J. (2019). Minor hallucinations in Parkinson disease: a subtle symptom with major clinical implications. *Neurology*, 93(6), 259-266.