



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ψηφιακές λύσεις στην πρόιμη παρέμβαση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΛΙΑΠΑΚΗ. Ι. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα Ιούνιος 2025

Αυτή η σελίδα είναι σκόπιμα λευκή



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

Ψηφιακές λύσεις στην πρώτημη παρέμβαση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΔΙΑΠΑΚΗ Ι. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27 Ιουνίου 2025.

.....
(Υπογραφή)

Γ. Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
(Υπογραφή)

Α. Παναγόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
(Υπογραφή)

Ο. Πετροπούλου
ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2025

.....
(Υπογραφή)

Λιαπάκης Ι. Κωνσταντίνος

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

Copyright © Λιαπάκης Ι. Κωνσταντίνος, 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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αναπτυξιακές διαταραχές στην παιδική ηλικία αποτελούν μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις δημόσιας υγείας, επηρεάζοντας περίπου 15-20% των παιδιών παγκοσμίως. Η πολυπλοκότητα αυτών των διαταραχών, που περιλαμβάνουν τον αυτισμό, την εγκεφαλική παράλυση, τη νοητική αναπηρία και άλλες νευροαναπτυξιακές καταστάσεις, δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για την έγκαιρη διάγνωση, την αποτελεσματική παρέμβαση και τη μακροπρόθεσμη υποστήριξη. Παρά τη σημασία της πρώιμης παρέμβασης για τη μεγιστοποίηση της νευροπλαστικότητας και τη βελτίωση των αναπτυξιακών αποτελεσμάτων, πολλές οικογένειες αντιμετωπίζουν εμπόδια πρόσβασης σε εξειδικευμένες υπηρεσίες.

Στο επίκεντρο της προσπάθειας αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων βρίσκονται οι ψηφιακές τεχνολογίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματίσουν ριζικά το τοπίο της πρώιμης παιδικής παρέμβασης. Μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, της ρομποτικής, της εικονικής πραγματικότητας, των φορετών αισθητήρων και της τηλεϊατρικής, αναδύονται νέες δυνατότητες για πρώιμη ανίχνευση, εξατομικευμένη θεραπεία και συνεχή παρακολούθηση. Αυτές οι τεχνολογίες υπόσχονται να καταστήσουν τις παρεμβάσεις πιο προσβάσιμες, αποτελεσματικές και προσαρμοσμένες στις μοναδικές ανάγκες κάθε παιδιού και οικογένειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να χαρτογραφήσει και να αξιολογήσει συστηματικά το ευρύ φάσμα των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παιδική παρέμβαση. Μέσω της ανάλυσης υψηλής ποιότητας μελετών, εξετάζεται η συνεισφορά των ψηφιακών λύσεων στη διάγνωση, θεραπεία και παρακολούθηση παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές. Παράλληλα, διερευνώνται τα κρίσιμα ερευνητικά κενά, οι μεθοδολογικές προκλήσεις και οι μελλοντικές κατευθύνσεις που θα διαμορφώσουν την εξέλιξη του πεδίου.

Με την ολοκλήρωση αυτής της συστηματικής ανασκόπησης, στοχεύουμε να συμβάλουμε στον διάλογο γύρω από τη βέλτιστη αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παρέμβαση, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των τρεχουσών εξελίξεων και δυνατοτήτων. Ευελπιστούμε ότι τα ευρήματα αυτής της εργασίας θα καθοδηγήσουν τους κλινικούς, τους ερευνητές και τους φορείς χάραξης πολιτικής στην ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων που θα βελτιώσουν ουσιαστικά τη ζωή των παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές και των οικογενειών τους, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και κλινικής πράξης.

Λέξεις κλειδιά: Πρώιμη Παιδική Παρέμβαση, Ψηφιακές Τεχνολογίες, Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, Ρομποτική, Εικονική Πραγματικότητα, Φορετές Τεχνολογίες, Τηλεϊατρική, Αναπτυξιακές Διαταραχές

ABSTRACT

Developmental disabilities in childhood represent one of the most significant public health challenges, affecting approximately 15-20% of children worldwide. The complexity of these disorders, including autism spectrum disorder, cerebral palsy, intellectual disabilities, and other neurodevelopmental conditions, creates substantial challenges for early diagnosis, effective intervention, and long-term support. Despite the critical importance of early intervention for maximizing neuroplasticity and improving developmental outcomes, many families face significant barriers in accessing specialized services.

At the forefront of efforts to address these challenges are digital technologies, which have the potential to fundamentally transform the landscape of early childhood intervention. Through artificial intelligence, robotics, virtual reality, wearable sensors, and telehealth, new possibilities emerge for early detection, personalized therapy, and continuous monitoring. These technologies promise to make interventions more accessible, effective, and tailored to the unique needs of each child and family.

This thesis undertakes a systematic mapping and evaluation of the broad spectrum of digital technologies in early childhood intervention. Through the analysis of 77 high-quality studies, it examines the contribution of digital solutions to the diagnosis, treatment, and monitoring of children with developmental disabilities. Additionally, it investigates critical research gaps, methodological challenges, and future directions that will shape the evolution of the field.

Through the completion of this systematic review, we aim to contribute to the discourse surrounding the optimal utilization of digital technologies in early intervention, providing a comprehensive picture of current developments and possibilities. We hope that the findings of this work will guide clinicians, researchers, and policymakers in developing innovative solutions that will substantially improve the lives of children with developmental disabilities and their families, bridging the gap between technological innovation and clinical practice.

Keywords: Early Childhood Intervention, Digital Technologies, Artificial Intelligence, Machine Learning, Robotics, Virtual Reality, Wearable Technologies, Telehealth, Developmental Disabilities

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην πραγματοποίησή της.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Γεώργιο Ματσόπουλο για την επιλογή του θέματος και την γενικότερη καθοδήγηση του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στη συνεπιβλέπουσα κα. Ουρανία Πετροπούλου ΕΔΙΠ για την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπονήσεως της διπλωματικής αλλά και στον μεταδιδάκτορα κ. Ιωάννη Κάκκο για τις σημαντικές επισημάνσεις του.

Θερμά ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Α. Παναγόπουλο για τη συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και τις εποικοδομητικές του παρατηρήσεις που συνέβαλαν στη βελτίωση του τελικού αποτελέσματος.

Ευχαριστώ την οικογένεια μου, τους φίλους και όλους τους συμφοιτητές μου που με στήριξαν μέχρι την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Λιαπάκης Ι. Κωνσταντίνος

Αθήνα, Ιούνιος 2025

Πίνακας Περιεχομένων

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	15
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	15
1.1 Προσέγγιση Διπλωματικής Εργασίας.....	15
1.2 Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας	15
1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	16
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	16
Κεφάλαιο 2: Ιστορική Εξέλιξη και Θεωρητικό Υπόβαθρο	17
2.1 Η Εξέλιξη της ΠΠ: Από Θεραπευτικά Μοντέλα σε Οικογενειοκεντρικές Προσεγγίσεις	17
2.2 Η Ψηφιακή Επανάσταση στην Παιδική Υγεία	18
2.3 Σημασία της ΠΠ στον Σύγχρονο Κόσμο	18
2.4 Προκλήσεις και Ευκαιρίες στην Ψηφιακή Εποχή.....	19
Κεφάλαιο 3: Εννοιολογικό Πλαίσιο	20
3.1 Πρώιμη Παιδική Παρέμβαση (ορισμός, αρχές)	20
3.2 Αναπτυξιακές και Νευρολογικές Διαταραχές.....	21
3.3 Ταξινόμηση Ψηφιακών Τεχνολογιών στην ΠΠ.....	23
3.4 Θεωρητικά Μοντέλα Ψηφιακής Παρέμβασης	24
ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	26
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία Συστηματικής Ανασκόπησης.....	26
4.1 Διαδικασίες (PRISMA guidelines).....	26
4.2 Αναγνώριση (Identification)	26
4.2 Έλεγχος (Screening).....	28
4.3 Αξιολόγηση Καταλληλότητας (Eligibility).....	28
4.4 Τελική Ένταξη (Included)	28
4.5 Διάγραμμα Ροής Prisma.....	29
ΜΕΡΟΣ Γ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΠ	30
Κεφάλαιο 5: Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης για Πρώιμη Ανίχνευση και Διάγνωση	30

5.1.1 Υβριδικά Μοντέλα Βαθιάς Μάθησης.....	30
5.1.2 Προκλήσεις Γενικευσιμότητας	31
5.2 Αυτοματοποίηση Κλινικών Αξιολογήσεων	31
5.2.1 Ταχεία Διαγνωστικά Εργαλεία	31
5.2.2 Πολυτροπικές Διαγνωστικές Προσεγγίσεις	31
5.3 Βιοδείκτες και Μοριακές Διαγνωστικές Προσεγγίσεις	32
5.3.1 Γονιδιακή Έκφραση και Μηχανική Μάθηση.....	32
5.3.2 Υποκατηγοριοποίηση και Εξατομικευμένη Θεραπεία	32
5.4 Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εγκεφαλική Παράλυση	32
5.5 Αυτοματοποίηση Αναπτυξιακών Αξιολογήσεων	33
5.6 Τεχνολογίες Υποστήριξης και Θεραπευτικές Παρεμβάσεις	33
5.7 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Τρέχον Ερευνητικό Τοπίο	34
Κεφάλαιο 6: Ψηφιακές Εφαρμογές και Πλατφόρμες Κινητών	36
6.1 Εφαρμογές Κινητών Συσκευών για Παρακολούθηση Αναπτυξιακής Προόδου	37
6.2 Θεραπευτικές Εφαρμογές με Τεχνητή Νοημοσύνη.....	37
6.3 Εργαλεία Διαλογής και Διάγνωσης	37
6.4 Εφαρμογές Ενδυνάμωσης Γονέων.....	38
6.5 Εκπαίδευση Γονέων μέσω Πλατφορμών Κινητών Συσκευών	38
6.6 Εφαρμογές Ανάλυσης Συμπεριφοράς	39
6.7 Εκπαιδευτικές Εφαρμογές και Ψηφιακά Παιχνίδια	39
6.8 Μακροπρόθεσμη Αποτελεσματικότητα και Διατήρηση Οφελών	39
6.9 Συστηματικές Ανασκοπήσεις Ψηφιακών Παρεμβάσεων.....	40
6.10 Σύνοψη Ψηφιακών Τεχνολογιών και Οφέλη.....	40
Κεφάλαιο 7: Σοβαρά Παιχνίδια και Παιχνιδιοποίηση.....	42
7.1 Σοβαρά Παιχνίδια για Κοινωνικές και Συναισθηματικές Δεξιότητες.....	42
7.2 Παιχνίδια Διαχείρισης Άγχους και Στρες	42
7.2.1 Νευροανάδραση και Παιχνιδιοποίηση	42
7.2.2 Απλές Τεχνικές Χαλάρωσης σε Παιγνιώδη Μορφή	43

7.4 Εξειδικευμένες Τεχνολογικές Καινοτομίες.....	44
7.5 Εφαρμογές σε Ειδικές Αναπτυξιακές Διαταραχές.....	44
7.6 Χαρτογράφηση Υπαρχουσών Εφαρμογών και Κενά	45
7.7 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλυτικά Δεδομένα	45
7.8 Συμπεράσματα	46
Κεφάλαιο 8: Εικονική και Επαυξημένη Πραγματικότητα (VR/AR).....	47
8.1 Εικονική Πραγματικότητα στη Νευροψυχοκινητική Αποκατάσταση.....	48
8.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση	48
8.3 Εικονική Πραγματικότητα για Κοινωνικές Δεξιότητες και Γνωσιακή- Συμπεριφορική Θεραπεία.....	48
8.4 Εικονική Πραγματικότητα για Φυσική Δραστηριότητα και Κινητικές Δεξιότητες	49
8.5 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλυτικά Δεδομένα	49
8.5.1 Ανασκοπήσεις Επαυξημένης Πραγματικότητας	49
8.5.2 Ανασκοπήσεις Εικονικής Πραγματικότητας	50
Κεφάλαιο 9: Ρομποτική και Διαδραστικές Τεχνολογίες	52
9.1 Κοινωνικά Υποστηρικτικά Ρομπότ και Σοβαρά Παιχνίδια	52
9.2 Ασφάλεια και Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός	53
9.2.1 Ευπροσάρμοστη Ρομποτική Αρχιτεκτονική	53
9.2.2 Συστηματική Μεθοδολογία Σχεδιασμού.....	53
9.2.3 Εξελικτική Ανάπτυξη	53
9.3 Ρομπότ ως Συν-θεραπευτές	54
9.4 Εξατομικευμένες Παρεμβάσεις και Προσαρμοστικότητα	54
9.5 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλύσεις	55
Κεφάλαιο 10: Φορετές Τεχνολογίες και Συστήματα Συνεχούς Παρακολούθησης	59
10.1 Βιοαισθητήρες για Συναισθηματική Ρύθμιση και Στρες	60
10.3 Συστήματα Παρακολούθησης Ύπνου και Αναπνοής	61
10.8 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Ρυθμιστικά Θέματα.....	64
Κεφάλαιο 11: Τηλεϊατρική και Απομακρυσμένες Υπηρεσίες.....	67
11.1 Γνωστική Αποκατάσταση και Οικιακές Παρεμβάσεις	67

11.2 Βιντεο-ανατροφοδότηση και Γονεϊκή Εκπαίδευση	67
11.3 Συστηματικές Προσεγγίσεις Τηλε-Πρώιμης Παρέμβασης	68
11.4 Προσαρμοστικές Ψηφιακές Πλατφόρμες	69
11.5 Προ-διαγνωστικές Παρεμβάσεις.....	70
11.6 Βιολογικοί Δείκτες και Επιγενετικές Αλλαγές.....	71
ΜΕΡΟΣ Δ: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
Κεφάλαιο 12: Συμπεράσματα, Ερευνητικά Κενά και Μελλοντικές Κατευθύνσεις	74
12.1 Σύνοψη Κύριων Ευρημάτων.....	74
12.2 Κρίσιμα Ερευνητικά Κενά.....	75
12.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις	77
12.4 Περιορισμοί της Παρούσας Ανασκόπησης	79
12.5 Πρακτικές Συστάσεις	79
12.6 Επίλογος.....	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Προσέγγιση Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη διασταύρωση δύο ταχέως εξελισσόμενων πεδίων: της πρώιμης παιδικής παρέμβασης και των ψηφιακών τεχνολογιών. Σε μια εποχή όπου η τεχνολογική καινοτομία μεταμορφώνει κάθε πτυχή της ανθρώπινης ζωής, οι ψηφιακές λύσεις αναδεικνύονται ως καταλύτες αλλαγής στον τομέα της παιδικής υγείας και ανάπτυξης. Η προσέγγιση αυτής της εργασίας βασίζεται στην κριτική ανάλυση και σύνθεση της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης, με στόχο την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν, να συμπληρώσουν ή ακόμη και να επαναπροσδιορίσουν τις παραδοσιακές μεθόδους πρώιμης παρέμβασης.

Η επιλογή του θέματος προκύπτει από την αναγνώριση ενός κρίσιμου κενού στη βιβλιογραφία: ενώ υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που εξετάζουν μεμονωμένες ψηφιακές τεχνολογίες στην πρώιμη παρέμβαση, λείπει μια ολοκληρωμένη, συστηματική ανάλυση του ευρύτερου τοπίου των ψηφιακών λύσεων και της συγκριτικής τους αποτελεσματικότητας. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να καλύψει αυτό το κενό, παρέχοντας μια πανοραμική θεώρηση του πεδίου που θα είναι χρήσιμη τόσο για ερευνητές όσο και για κλινικούς.

1.2 Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας

Οι κύριοι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Συστηματική χαρτογράφηση του τοπίου των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παρέμβαση

Αναγνώριση και κατηγοριοποίηση του πλήρους φάσματος των ψηφιακών λύσεων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την υποστήριξη παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές, από απλές εφαρμογές κινητών τηλεφώνων έως σύνθετα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και ρομποτικής.

2. Κριτική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ψηφιακών παρεμβάσεων

Ανάλυση των διαθέσιμων ερευνητικών δεδομένων για την αποτελεσματικότητα κάθε κατηγορίας ψηφιακών τεχνολογιών, με έμφαση στην ποιότητα των μελετών, το μέγεθος της επίδρασης και τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων.

3. Εντοπισμός βέλτιστων πρακτικών και κατευθυντήριων γραμμών

Σύνθεση των ευρημάτων για τη διαμόρφωση πρακτικών συστάσεων σχετικά με την επιλογή, εφαρμογή και αξιολόγηση ψηφιακών λύσεων στην κλινική πράξη αλλά και των ερευνητικών κενών.

1.3 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η διπλωματική εργασία καθοδηγείται από τα ακόλουθα κεντρικά ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες κατηγορίες ψηφιακών τεχνολογιών εφαρμόζονται σήμερα στην πρώιμη παιδική παρέμβαση και ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους;
- Ποια είναι η αποτελεσματικότητα των διαφόρων ψηφιακών παρεμβάσεων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους;
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την επιτυχή υλοποίηση και διατήρηση των ψηφιακών παρεμβάσεων στην κλινική πράξη;

1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε τρία κύρια μέρη και 12 κεφάλαια:

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ (Κεφάλαια 1-3)

Το πρώτο μέρος θέτει τις βάσεις της μελέτης, παρουσιάζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο, την ιστορική εξέλιξη και το εννοιολογικό πλαίσιο της πρώιμης παρέμβασης και των ψηφιακών τεχνολογιών.

ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ (Κεφάλαιο 4)

Το δεύτερο μέρος περιγράφει λεπτομερώς τη μεθοδολογία της συστηματικής ανασκόπησης, ακολουθώντας τις κατευθυντήριες γραμμές PRISMA.

ΜΕΡΟΣ Γ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΠ (Κεφάλαια 5-11)

Το τρίτο και κύριο μέρος της εργασίας παρουσιάζει συστηματικά τις διάφορες κατηγορίες ψηφιακών τεχνολογιών, από τεχνητή νοημοσύνη και εφαρμογές κινητών έως ρομποτική και τηλεϊατρική.

ΜΕΡΟΣ Δ: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (Κεφάλαιο 12)

Το τελευταίο μέρος συνθέτει τα ευρήματα, παρουσιάζει τα ερευνητικά κενά ή πιθανή μεροληψία και προτείνει μελλοντικές κατευθύνσεις για το πεδίο.

Κεφάλαιο 2: Ιστορική Εξέλιξη και Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Η Εξέλιξη της ΠΠ: Από Θεραπευτικά Μοντέλα σε Οικογενειοκεντρικές Προσεγγίσεις

Η ιστορία της πρώιμης παιδικής παρέμβασης (ΠΠ) αντανακλά μια σταδιακή μετάβαση από ιατροκεντρικά μοντέλα αποκατάστασης σε ολιστικές, οικογενειοκεντρικές προσεγγίσεις. Στις αρχές του 20ού αιώνα, η παρέμβαση για παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές περιοριζόταν κυρίως σε ιδρυματική φροντίδα, με ελάχιστη έμφαση στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ή την κοινωνική ένταξη.

Η δεκαετία του 1960 σηματοδότησε μια κρίσιμη καμπή με την ανάπτυξη των πρώτων δομημένων προγραμμάτων πρώιμης παρέμβασης. Το πρόγραμμα Head Start στις ΗΠΑ (1965) και παρόμοιες πρωτοβουλίες σε άλλες χώρες αναγνώρισαν για πρώτη φορά τη σημασία της πρώιμης εκπαίδευσης για παιδιά από μειονεκτικά περιβάλλοντα. Παράλληλα, η πρωτοποριακή έρευνα των Skeels και Dye (1939) για τη νευροπλαστικότητα και την επίδραση του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη έθεσε τις επιστημονικές βάσεις για την πρώιμη παρέμβαση.

Η δεκαετία του 1970 χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη εξειδικευμένων θεραπευτικών προσεγγίσεων. Η Εφαρμοσμένη Ανάλυση Συμπεριφοράς (ABA) του Lovaas για παιδιά με αυτισμό και η αισθητηριακή ολοκλήρωση της Ayres για παιδιά με αισθητηριακές διαταραχές επεξεργασίας αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της περιόδου.

Η δεκαετία του 1980 έφερε μια παραδειγματική μετατόπιση προς την οικογενειοκεντρική φροντίδα. Η έκδοση του νόμου P.L. 99-457 στις ΗΠΑ (1986) θεσμοθέτησε την Εξατομικευμένη Οικογενειακή Υπηρεσία (IFSP) και αναγνώρισε επίσημα την οικογένεια ως κεντρικό παράγοντα στην πρώιμη παρέμβαση. Αυτή η μετάβαση αντανακλούσε την αυξανόμενη κατανόηση ότι η ανάπτυξη του παιδιού είναι αδιαχώριστη από το οικογενειακό του περιβάλλον.

Οι δεκαετίες του 1990 και 2000 χαρακτηρίστηκαν από την ανάπτυξη φυσικών περιβαλλόντων μάθησης και την έμφαση στην ένταξη. Το μοντέλο των "φυσικών περιβαλλόντων" προώθησε την παροχή υπηρεσιών στο σπίτι, την κοινότητα και τα τυπικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, αντί των κλινικών.

Η σύγχρονη εποχή (2010-σήμερα) χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση αρχών βασισμένων σε αποδείξεις και την υιοθέτηση των Φυσιολογικών Αναπτυξιακών

Συμπεριφορικών Παρεμβάσεων (NDBI). Αυτές οι προσεγγίσεις συνδυάζουν στοιχεία από την αναπτυξιακή επιστήμη, τη συμπεριφορική ανάλυση και τη νευροεπιστήμη, δημιουργώντας ολοκληρωμένα μοντέλα παρέμβασης.

2.2 Η Ψηφιακή Επανάσταση στην Παιδική Υγεία

Η είσοδος των ψηφιακών τεχνολογιών στον τομέα της παιδικής υγείας αντιπροσωπεύει μια από τις πιο σημαντικές εξελίξεις του 21ου αιώνα. Αυτή η μετάβαση δεν συνέβη απότομα, αλλά ακολούθησε μια σταδιακή πορεία που αντανάκλα την ευρύτερη τεχνολογική εξέλιξη της κοινωνίας.

Η πρώτη φάση (1980-1999) χαρακτηρίστηκε από την εισαγωγή βασικών υπολογιστικών συστημάτων στην κλινική πράξη. Τα πρώτα προγράμματα υπολογιστή για παιδιά με μαθησιακές δυσκολίες και η ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού αντιπροσωπεύουν τις πρώτες προσπάθειες ψηφιοποίησης της θεραπευτικής διαδικασίας.

Η δεύτερη φάση (2000-2009) σηματοδοτήθηκε από την ευρεία διάδοση του διαδικτύου και την ανάπτυξη των πρώτων διαδικτυακών πλατφορμών για γονείς και θεραπευτές. Η εμφάνιση των πρώτων ψηφιακών εργαλείων αξιολόγησης και η ανάπτυξη τηλεϊατρικών υπηρεσιών άνοιξαν νέους δρόμους για την παροχή υπηρεσιών σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η τρίτη φάση (2010-2019) χαρακτηρίστηκε από την έκρηξη των κινητών τεχνολογιών και την ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών για παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές. Η εμφάνιση των κινητών τηλεφώνων και γενικότερα φορητών συσκευών (tablet, laptop) δημιούργησε νέες δυνατότητες για προσβάσιμες, φορητές παρεμβάσεις. Παράλληλα, η ανάπτυξη των πρώτων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης άρχισε να διαμορφώνει νέες προσεγγίσεις στη διάγνωση και θεραπεία.

Η τέταρτη και τρέχουσα φάση (2020-σήμερα) επιταχύνθηκε δραματικά από την πανδημία COVID-19, η οποία κατέστησε τις ψηφιακές λύσεις όχι απλώς χρήσιμες αλλά απαραίτητες. Η ραγδαία υιοθέτηση της τηλεθεραπείας, η ανάπτυξη προηγμένων αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης για πρόωμη ανίχνευση, και η ενσωμάτωση τεχνολογιών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας αντιπροσωπεύουν τις τρέχουσες τάσεις του πεδίου.

2.3 Σημασία της ΠΠ στον Σύγχρονο Κόσμο

Η σημασία της πρόωξης παρέμβασης στον σύγχρονο κόσμο δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Οι επιστημονικές ανακαλύψεις των τελευταίων δεκαετιών έχουν αποδείξει ότι τα πρώτα χρόνια ζωής αποτελούν κρίσιμη περίοδο για την ανάπτυξη του εγκεφάλου, με περίπου 700-

1000 νευρικές συνάψεις να σχηματίζονται κάθε δευτερόλεπτο κατά τα πρώτα τρία έτη ζωής.

Από επιδημιολογική άποψη, εκτιμάται ότι περίπου 15-20% των παιδιών παγκοσμίως αντιμετωπίζουν κάποια μορφή αναπτυξιακής διαταραχής ή καθυστέρησης [1]. Ο αριθμός αυτός μεταφράζεται σε εκατομμύρια παιδιά που χρειάζονται υποστήριξη, καθιστώντας την πρώιμη παρέμβαση ζήτημα δημόσιας υγείας πρώτης προτεραιότητας.

Από οικονομική σκοπιά, οι επενδύσεις στην πρώιμη παρέμβαση έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποδοτικές. Μελέτες δείχνουν ότι κάθε 1 ευρώ που επενδύεται σε ποιοτικά προγράμματα πρώιμης παρέμβασης μπορεί να αποφέρει απόδοση 7-13 ευρώ μέσω της μείωσης των μελλοντικών αναγκών για ειδική εκπαίδευση, υγειονομική περίθαλψη και κοινωνικές υπηρεσίες [2].

Από κοινωνική οπτική, η πρώιμη παρέμβαση συμβάλλει στη δημιουργία πιο συμπεριληπτικών κοινωνιών. Παιδιά που λαμβάνουν έγκαιρη υποστήριξη έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να ενταχθούν επιτυχώς στο εκπαιδευτικό σύστημα, να αναπτύξουν κοινωνικές σχέσεις και να συμμετέχουν ενεργά στην κοινότητα.

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών ενισχύει περαιτέρω τη σημασία της πρώιμης παρέμβασης, προσφέροντας:

- Αυξημένη προσβασιμότητα σε υπηρεσίες, ιδιαίτερα για οικογένειες σε απομακρυσμένες περιοχές
- Εξατομικευμένες παρεμβάσεις βασισμένες σε δεδομένα και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης
- Συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή των θεραπευτικών στόχων
- Ενδυνάμωση των γονέων μέσω εκπαιδευτικών εργαλείων και πόρων

2.4 Προκλήσεις και Ευκαιρίες στην Ψηφιακή Εποχή

Η ψηφιακή εποχή φέρνει τόσο πρωτοφανείς ευκαιρίες όσο και σημαντικές προκλήσεις για την πρώιμη παρέμβαση.

Ευκαιρίες

Δημοκρατικοποίηση της Πρόσβασης: Οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να εξαλείψουν γεωγραφικούς και οικονομικούς φραγμούς, παρέχοντας πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες σε οικογένειες που παραδοσιακά ήταν υποεξυπηρετούμενες.

Εξατομίκευση σε Κλίμακα: Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπουν την ανάπτυξη εξατομικευμένων προγραμμάτων παρέμβασης που προσαρμόζονται δυναμικά στις ανάγκες κάθε παιδιού, κάτι που θα ήταν αδύνατο με παραδοσιακές μεθόδους.

Συνεχής Παρακολούθηση και Δεδομένα: Οι φορητές συσκευές και οι αισθητήρες IoT παρέχουν συνεχή ροή δεδομένων για την ανάπτυξη του παιδιού, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων και την προσαρμογή των παρεμβάσεων.

Ενδυνάμωση Γονέων: Οι ψηφιακές πλατφόρμες παρέχουν στους γονείς εργαλεία και γνώσεις που τους επιτρέπουν να γίνουν ενεργοί συμμετέτοχοι στη θεραπευτική διαδικασία.

Προκλήσεις

Ψηφιακό Χάσμα: Παρά τις δυνατότητες για αυξημένη πρόσβαση, το ψηφιακό χάσμα παραμένει σημαντικό εμπόδιο, με πολλές οικογένειες να στερούνται της απαραίτητης τεχνολογίας ή των δεξιοτήτων για την αξιοποίησή της.

Ποιότητα και Τεκμηρίωση: Η ραγδαία ανάπτυξη ψηφιακών εφαρμογών συχνά προηγείται της επιστημονικής τεκμηρίωσης της αποτελεσματικότητάς τους, δημιουργώντας κινδύνους για τη χρήση μη αποδεδειγμένων παρεμβάσεων.

Ηθικά Ζητήματα: Η συλλογή και χρήση δεδομένων από παιδιά εγείρει σημαντικά ηθικά ζητήματα σχετικά με την ιδιωτικότητα, τη συγκατάθεση και τη μακροπρόθεσμη χρήση των πληροφοριών.

Ανθρώπινη Σύνδεση: Υπάρχει ο κίνδυνος η υπερβολική εξάρτηση από την τεχνολογία να υποβαθμίσει τη σημασία της ανθρώπινης σύνδεσης και της θεραπευτικής σχέσης.

Εκπαίδευση και Υποστήριξη: Η αποτελεσματική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών απαιτεί σημαντική επένδυση στην εκπαίδευση τόσο των επαγγελματιών όσο και των οικογενειών.

Η επιτυχής πλοήγηση σε αυτό το σύνθετο τοπίο απαιτεί μια ισορροπημένη προσέγγιση που αξιοποιεί τις δυνατότητες της τεχνολογίας διατηρώντας παράλληλα τις θεμελιώδεις αρχές της ανθρωποκεντρικής φροντίδας. Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει να συμβάλει σε αυτή την προσπάθεια, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση του τρέχοντος τοπίου και προτάσεις για το μέλλον.

Κεφάλαιο 3: Εννοιολογικό Πλαίσιο

3.1 Πρώιμη Παιδική Παρέμβαση (ορισμός, αρχές)

Η Πρώιμη Παιδική Παρέμβαση (ΠΠ) ορίζεται ως το σύνολο των υπηρεσιών και υποστηρικτικών δράσεων που παρέχονται σε βρέφη και μικρά παιδιά (συνήθως από τη γέννηση έως την ηλικία των 6 ετών) που παρουσιάζουν αναπτυξιακές καθυστερήσεις ή

διαταραχές, καθώς και στις οικογένειές τους. Ο ορισμός αυτός, αν και φαινομενικά απλός, εμπεριέχει πολλαπλές διαστάσεις που αξίζει να αναλυθούν.

Πολυδιάστατος Χαρακτήρας της ΠΠ

Η ΠΠ δεν αποτελεί μια μεμονωμένη θεραπευτική προσέγγιση, αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης που περιλαμβάνει:

- ❖ Υπηρεσίες ανίχνευσης και διάγνωσης
- ❖ Θεραπευτικές παρεμβάσεις (λογοθεραπεία, εργοθεραπεία, φυσικοθεραπεία)
- ❖ Εκπαιδευτική υποστήριξη
- ❖ Ψυχολογική υποστήριξη παιδιού και οικογένειας
- ❖ Συντονισμό υπηρεσιών και διεπιστημονική συνεργασία
- ❖ Υποστήριξη μετάβασης σε επόμενα αναπτυξιακά στάδια

Θεμελιώδεις Αρχές της ΠΠ

- Οικογενειοκεντρική Προσέγγιση: Η οικογένεια αναγνωρίζεται ως ο κύριος παράγοντας στη ζωή του παιδιού και ως ισότιμος εταίρος στη διαδικασία παρέμβασης. Οι επαγγελματίες συνεργάζονται με τους γονείς, σεβόμενοι τις αξίες, τις προτεραιότητες και τις επιλογές τους.
- Φυσικά Περιβάλλοντα: Οι παρεμβάσεις παρέχονται κατά προτίμηση στα φυσικά περιβάλλοντα του παιδιού (σπίτι, παιδικός σταθμός, κοινότητα) όπου συμβαίνει η καθημερινή μάθηση και ανάπτυξη.
- Διεπιστημονική Συνεργασία: Η πολυπλοκότητα των αναπτυξιακών διαταραχών απαιτεί τη συνεργασία επαγγελματιών από διάφορους τομείς (παιδιάτροι, θεραπευτές, εκπαιδευτικοί, ψυχολόγοι) σε μια ενιαία ομάδα.
- Εξατομίκευση: Κάθε παρέμβαση σχεδιάζεται με βάση τις μοναδικές ανάγκες, δυνατότητες και προκλήσεις του κάθε παιδιού και της οικογένειάς του.
- Βασισμένη σε Αποδείξεις Πρακτική: Οι παρεμβάσεις πρέπει να βασίζονται σε επιστημονικά τεκμηριωμένες μεθόδους με αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα.
- Αναπτυξιακά Κατάλληλη: Οι παρεμβάσεις σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη το αναπτυξιακό στάδιο του παιδιού και τις τυπικές αναπτυξιακές τροχιές.
- Συνέχεια και Συντονισμός: Εξασφαλίζεται η συνέχεια των υπηρεσιών καθώς το παιδί μεγαλώνει και οι ανάγκες του εξελίσσονται.

3.2 Αναπτυξιακές και Νευρολογικές Διαταραχές

Οι αναπτυξιακές και νευρολογικές διαταραχές που αποτελούν αντικείμενο της πρώιμης παρέμβασης περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων που επηρεάζουν την τυπική

ανάπτυξη του παιδιού. Η κατανόηση αυτών των διαταραχών είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό αποτελεσματικών παρεμβάσεων.

Κύριες Κατηγορίες Αναπτυξιακών Διαταραχών:

- Διαταραχές Αυτιστικού Φάσματος (ΔΑΦ):

Χαρακτηρίζονται από δυσκολίες στην κοινωνική επικοινωνία και αλληλεπίδραση, καθώς και περιορισμένα, επαναλαμβανόμενα μοτίβα συμπεριφοράς. Η συχνότητα εμφάνισης εκτιμάται σε 1 στα 36-44 παιδιά, με αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια.

- Εγκεφαλική Παράλυση:

Ομάδα μόνιμων διαταραχών της κίνησης και της στάσης που οφείλονται σε μη προοδευτική βλάβη του αναπτυσσόμενου εγκεφάλου. Επηρεάζει περίπου 2-3 ανά 1000 γεννήσεις ζώντων.

- Νοητική Αναπηρία:

Χαρακτηρίζεται από σημαντικούς περιορισμούς τόσο στη νοητική λειτουργία όσο και στην προσαρμοστική συμπεριφορά. Η συχνότητα εμφάνισης κυμαίνεται από 1-3% του πληθυσμού.

- Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής/Υπερκινητικότητας (ΔΕΠΥ):

Χαρακτηρίζεται από επίμονα μοτίβα απροσεξίας ή/και υπερκινητικότητας-παρορμητικότητας που παρεμβαίνουν στη λειτουργικότητα. Επηρεάζει περίπου 5-7% των παιδιών σχολικής ηλικίας.

- Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες:

Περιλαμβάνουν δυσλεξία, δυσαριθμησία και δυσγραφία. Επηρεάζουν περίπου 5-15% του μαθητικού πληθυσμού.

- Γλωσσικές Διαταραχές:

Δυσκολίες στην κατανόηση ή/και έκφραση του λόγου που δεν οφείλονται σε άλλες αναπτυξιακές διαταραχές. Επηρεάζουν περίπου 7% των παιδιών προσχολικής ηλικίας.

- Γενετικά Σύνδρομα:

Περιλαμβάνουν το Σύνδρομο Down, το Σύνδρομο Rett, το Εύθραυστο X και άλλα. Κάθε σύνδρομο έχει μοναδικό προφίλ αναπτυξιακών προκλήσεων.

Νευροβιολογική Βάση

Οι σύγχρονες νευροεπιστήμες έχουν αποκαλύψει ότι πολλές αναπτυξιακές διαταραχές έχουν κοινές νευροβιολογικές βάσεις:

- Διαταραχές στη νευρωνική μετανάστευση και οργάνωση
- Ανωμαλίες στη συναπτική λειτουργία
- Διαταραχές στα νευροδιαβιβαστικά συστήματα
- Επιγενετικές τροποποιήσεις

Αυτή η κατανόηση έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη στοχευμένων παρεμβάσεων που επιδιώκουν να αξιοποιήσουν τη νευροπλαστικότητα του αναπτυσσόμενου εγκεφάλου.

3.3 Ταξινόμηση Ψηφιακών Τεχνολογιών στην ΠΠ

Η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει δημιουργήσει ένα πολύπλοκο οικοσύστημα εργαλείων και εφαρμογών για την πρόωπη παρέμβαση. Για την καλύτερη κατανόηση και αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών, είναι απαραίτητη μια συστηματική ταξινόμηση.

Ταξινόμηση με βάση τη Λειτουργία:

1. **Τεχνολογίες Αξιολόγησης και Διάγνωσης:** Εργαλεία screening βασισμένα σε τεχνητή νοημοσύνη, Συστήματα ανάλυσης κίνησης και βλέμματος, Νευροαπεικονιστικές τεχνολογίες με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης
2. **Τεχνολογίες Παρέμβασης:** Θεραπευτικές εφαρμογές και παιχνίδια, Συστήματα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, Ρομποτικές πλατφόρμες
3. **Τεχνολογίες Παρακολούθησης:** Φορητοί αισθητήρες και φορετές τεχνολογίες, Συστήματα IoT για οικιακή παρακολούθηση, Πλατφόρμες συλλογής και ανάλυσης δεδομένων
4. **Τεχνολογίες Επικοινωνίας και Συντονισμού:** Πλατφόρμες τηλεθεραπείας, Συστήματα διαχείρισης περιστατικών, Εργαλεία συνεργασίας για διεπιστημονικές ομάδες

Ταξινόμηση με βάση το Επίπεδο Τεχνολογικής Πολυπλοκότητας:

1. **Χαμηλής Τεχνολογίας (Low-tech):** Απλές εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα και τάμπλετ, Βασικά εκπαιδευτικά λογισμικά, Ψηφιακά βιβλία και οπτικοακουστικό υλικό
2. **Μέσης Τεχνολογίας (Mid-tech):** Διαδραστικά παιχνίδια με προσαρμοστικότητα, Απλά συστήματα βιοανάδρασης, Βασικές πλατφόρμες τηλεθεραπείας

3. **Υψηλής Τεχνολογίας (High-tech):** Συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, Προηγμένη ρομποτική, Καταδυτικά περιβάλλοντα VR/AR, Διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή

Ταξινόμηση με βάση τον Τελικό Χρήστη:

1. **Τεχνολογίες για Παιδιά:** Άμεση αλληλεπίδραση του παιδιού με την τεχνολογία, Προσαρμοσμένες στο αναπτυξιακό επίπεδο
2. **Τεχνολογίες για Γονείς:** Εκπαιδευτικές πλατφόρμες, Εργαλεία παρακολούθησης και καταγραφής
3. **Τεχνολογίες για Επαγγελματίες:** Κλινικά εργαλεία αξιολόγησης, Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων
4. **Τεχνολογίες για το Σύστημα:** Πλατφόρμες διαχείρισης δεδομένων, Εργαλεία έρευνας και ανάλυσης

3.4 Θεωρητικά Μοντέλα Ψηφιακής Παρέμβασης

Η αποτελεσματική ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώτη παρέμβαση απαιτεί στέρεα θεωρητική θεμελίωση. Διάφορα θεωρητικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να καθοδηγήσουν το σχεδιασμό και την εφαρμογή ψηφιακών παρεμβάσεων.

1. Το Μοντέλο SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition)

Αυτό το μοντέλο, αναπτυγμένο από τον Puentedura, περιγράφει τέσσερα επίπεδα ενσωμάτωσης τεχνολογίας:

- **Αντικατάσταση (Substitution):** Η τεχνολογία αντικαθιστά παραδοσιακά εργαλεία χωρίς λειτουργική αλλαγή (π.χ. ψηφιακές κάρτες αντί έντυπων)
- **Επαύξηση (Augmentation):** Η τεχνολογία αντικαθιστά με λειτουργική βελτίωση (π.χ. διαδραστικές κάρτες με ήχο και κίνηση)
- **Τροποποίηση (Modification):** Η τεχνολογία επιτρέπει σημαντικό επανασχεδιασμό της δραστηριότητας (π.χ. συνεργατικά online παιχνίδια)
- **Επαναπροσδιορισμός (Redefinition):** Η τεχνολογία επιτρέπει νέες, προηγουμένως αδύνατες δραστηριότητες (π.χ. εικονική πραγματικότητα για εξάσκηση κοινωνικών δεξιοτήτων)

2. Το Μοντέλο TAM (Technology Acceptance Model)

Το TAM εξετάζει τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή και χρήση τεχνολογίας:

- **Αντιληπτή Χρησιμότητα:** Ο βαθμός στον οποίο ο χρήστης πιστεύει ότι η τεχνολογία θα βελτιώσει την απόδοσή του
- **Αντιληπτή Ευκολία Χρήσης:** Ο βαθμός στον οποίο ο χρήστης πιστεύει ότι η χρήση θα είναι χωρίς προσπάθεια
- **Στάση προς τη Χρήση:** Η συνολική αξιολόγηση του χρήστη
- **Πρόθεση Χρήσης:** Η πρόθεση να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία
- **Πραγματική Χρήση:** Η τελική υιοθέτηση και χρήση

3. Το Οικοσυστημικό Μοντέλο Ψηφιακής Παρέμβασης

Αυτό το μοντέλο αναγνωρίζει ότι οι ψηφιακές παρεμβάσεις λειτουργούν εντός πολύπλοκων συστημάτων:

- **Μικροσύστημα:** Το άμεσο περιβάλλον του παιδιού (οικογένεια, σχολείο)
- **Μεσοσύστημα:** Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικροσυστημάτων
- **Εξωσύστημα:** Έμμεσες επιρροές (πολιτικές υγείας, διαθεσιμότητα τεχνολογίας)
- **Μακροσύστημα:** Πολιτισμικές αξίες και στάσεις απέναντι στην τεχνολογία
- **Χρονοσύστημα:** Αλλαγές στο χρόνο στην τεχνολογία και τις ανάγκες

4. Το Μοντέλο Διπλής Διαδρομής (Dual-Path Model)

Αυτό το μοντέλο προτείνει ότι οι ψηφιακές παρεμβάσεις λειτουργούν μέσω δύο παράλληλων διαδρομών:

- **Άμεση Διαδρομή:** Η τεχνολογία επιδρά απευθείας στο παιδί μέσω της αλληλεπίδρασης
- **Έμμεση Διαδρομή:** Η τεχνολογία επιδρά μέσω της ενδυνάμωσης γονέων και θεραπειών

5. Το Μοντέλο Προσαρμοστικής Εξατομίκευσης

Βασισμένο σε αρχές της μηχανικής μάθησης, αυτό το μοντέλο περιγράφει πώς οι ψηφιακές παρεμβάσεις μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά:

- **Συλλογή Δεδομένων:** Συνεχής καταγραφή της απόδοσης και προόδου
- **Ανάλυση Προτύπων:** Εντοπισμός μοτίβων επιτυχίας και δυσκολίας

- **Προσαρμογή Περιεχομένου:** Αυτόματη ρύθμιση δυσκολίας και τύπου δραστηριοτήτων
- **Βελτιστοποίηση:** Συνεχής βελτίωση της αποτελεσματικότητας

Αυτά τα θεωρητικά μοντέλα παρέχουν το απαραίτητο πλαίσιο για την κατανόηση και αξιολόγηση των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παρέμβαση, καθοδηγώντας τόσο την έρευνα όσο και την κλινική πράξη.

ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία Συστηματικής Ανασκόπησης

4.1 Διαδικασίες (PRISMA guidelines)

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση διεξήχθη σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020 [3], οι οποίες αποτελούν το χρυσό πρότυπο για τη διεξαγωγή και αναφορά συστηματικών ανασκοπήσεων. Η τήρηση αυτών των κατευθυντήριων γραμμών εξασφαλίζει τη διαφάνεια, την αναπαραγωγιμότητα και την ποιότητα της ανασκόπησης.

4.2 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 ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παιδική παρέμβαση. 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 ΤΝ, ρομποτική και ψηφιακές εφαρμογές, παρέχοντας πρόσβαση σε εξειδικευμένες μελέτες από τον τομέα της πληροφορικής και της μηχανικής.

- **PubMed/MEDLINE:** Εστίασε σε βιοϊατρικές και κλινικές μελέτες, παρέχοντας πρόσβαση σε αρχεία που σχετίζονται με αναπτυξιακές διαταραχές και θεραπευτικές παρεμβάσεις.
- **ScienceDirect:** Παρείχε πρόσβαση σε άρθρα που εστιάζουν σε τεχνολογικές εφαρμογές στην υγεία και την εκπαίδευση.
- **Web of Science:** Χρησιμοποιήθηκε για την αναζήτηση άρθρων σε περιοδικά υψηλού κύρους που καλύπτουν ευρύ φάσμα θεμάτων, από τη νευροεπιστήμη έως την εκπαιδευτική τεχνολογία.
- **PsycINFO:** Ανέδειξε δημοσιεύσεις σχετικές με την ψυχολογική και αναπτυξιακή διάσταση των παρεμβάσεων.
- **ERIC:** Παρείχε πληροφορίες από εκπαιδευτικές μελέτες και παρεμβάσεις.
- **Scopus:** Συμπλήρωσε την έρευνα με άρθρα που εστιάζουν σε διεπιστημονικές προσεγγίσεις για την πρόληψη παρέμβαση.

Η αναζήτηση βασίστηκε σε συγκεκριμένα keywords, όπως:

"Early Childhood Intervention"		"Digital Technologies"
"Artificial Intelligence"		"Mobile Applications"
"Virtual Reality"		"Augmented Reality"
"Robotics"		"Wearable Technologies"
"Telehealth"		"Autism Spectrum Disorder"
"Cerebral Palsy"		"Developmental Disabilities"

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

Συνολικά, από τις παραπάνω πλατφόρμες εντοπίστηκαν 287 αρχεία από τις βάσεις δεδομένων και 18 αρχεία από μητρώα ερευνών, όπως το ClinicalTrials.gov, φτάνοντας σε ένα σύνολο 305 μελετών. Αυτές οι μελέτες αποτέλεσαν τη βάση για την ανάλυση που ακολούθησε, με στόχο τη διερεύνηση των εφαρμογών των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρόληψη παιδική παρέμβαση.

Απομάκρυνση Διπλών Εγγραφών

Από τα 305 συνολικά αρχεία, 41 αφαιρέθηκαν λόγω επαναλήψεων. Επιπλέον, 17 αρχεία απορρίφθηκαν αυτόματα ως ακατάλληλα από εργαλεία αυτοματοποίησης, ενώ 23 αρχεία απορρίφθηκαν για άλλους λόγους, όπως ακατάλληλη μορφή, γλώσσα εκτός

Αγγλικών/Ελληνικών ή έλλειψη σχετικότητας. Το τελικό σύνολο των αρχείων που προχώρησαν στην επόμενη φάση ανήλθε σε 224 εγγραφές.

4.2 Έλεγχος (Screening)

Αρχικός Έλεγχος

Από τις 224 εγγραφές, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής έλεγχος τίτλων και περιλήψεων, κατά τον οποίο αποκλείστηκαν 11 επιπλέον αρχεία, καθώς δεν πληρούσαν βασικά κριτήρια, όπως η συνάφεια με τα keywords ή η επιστημονική εγκυρότητα.

Αναζήτηση Αναφορών

Τα υπόλοιπα 213 αρχεία μετακινήθηκαν στη φάση αναζήτησης πλήρους κειμένου. Ωστόσο, 45 αρχεία δεν ήταν δυνατόν να ανακτηθούν (π.χ., λόγω περιορισμένης πρόσβασης, paywall ή διαγραφής από τις βάσεις δεδομένων).

4.3 Αξιολόγηση Καταλληλότητας (Eligibility)

Αξιολόγηση Περιεχομένου

Στο στάδιο αυτό, αξιολογήθηκαν 168 εγγραφές για την καταλληλότητά τους βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων. Οι εγγραφές που αποκλείστηκαν χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες:

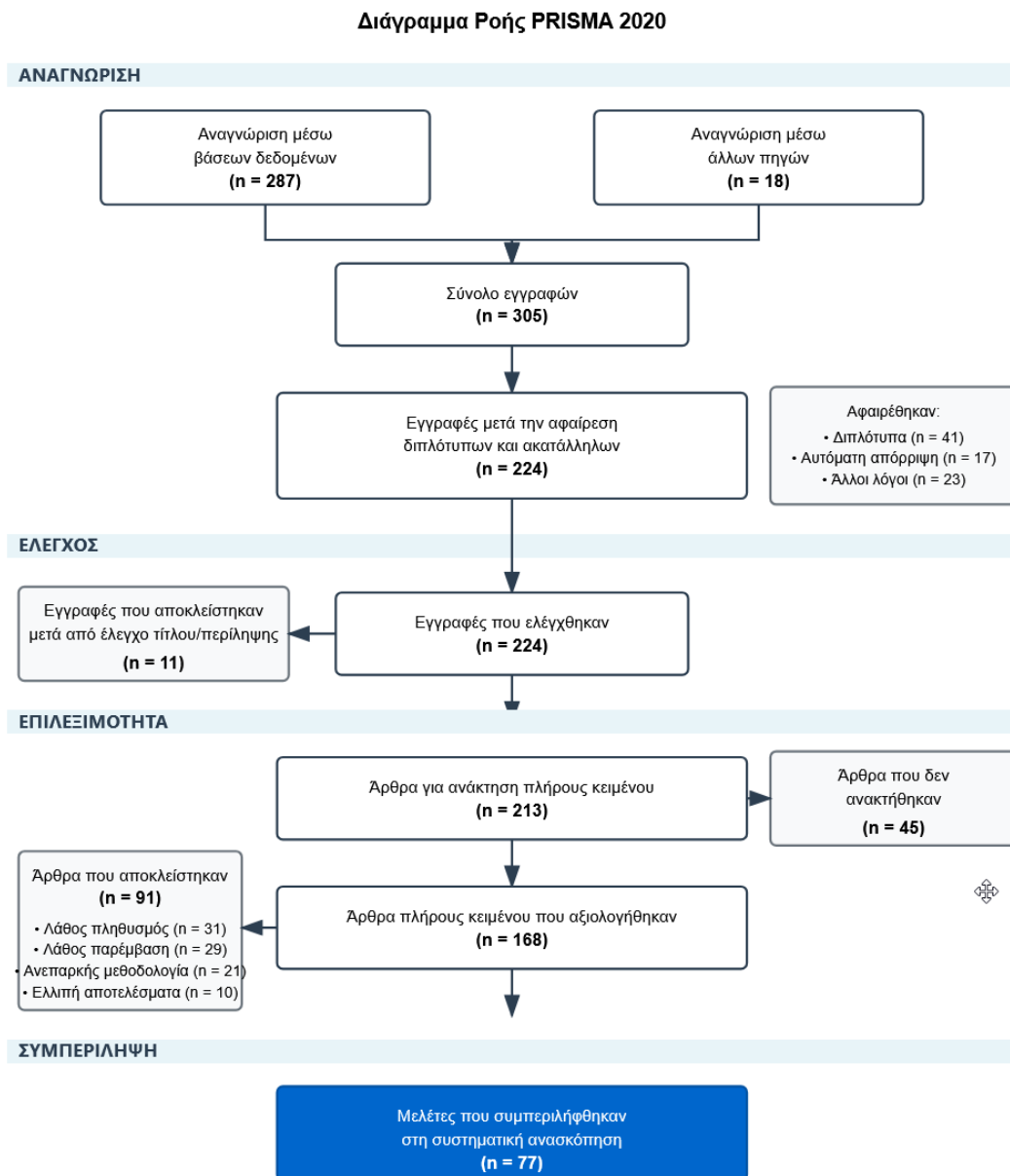
- **Λάθος πληθυσμός (31 εγγραφές):** Μελέτες που εστίαζαν σε ενήλικες.
- **Λάθος παρέμβαση (29 εγγραφές):** Μελέτες χωρίς ψηφιακό/τεχνολογικό στοιχείο.
- **Ανεπαρκής μεθοδολογία (21 εγγραφές):** Μεθοδολογικά σφάλματα ή ανεπαρκής ανάλυση δεδομένων.
- **Ελλιπή αποτελέσματα (8 εγγραφές):** Μελέτες χωρίς επαρκή δεδομένα αποτελεσμάτων ή μόνο πρωτόκολλα χωρίς αποτελέσματα.

4.4 Τελική Ένταξη (Included)

Τελική Επιλογή Μελετών

Στη φάση αυτή, εντάχθηκαν συνολικά **77 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.

4.5 Διάγραμμα Ροής Prisma



Εικόνα 1 : Διαδικασία Συστηματικής Ανασκόπησης (<https://www.prisma-statement.org/>)

ΜΕΡΟΣ Γ: ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΠ

Κεφάλαιο 5: Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης για Πρώιμη Ανίχνευση και Διάγνωση

Η επανάσταση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της υγείας έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στη διάγνωση και θεραπεία παιδικών αναπτυξιακών διαταραχών. Οι σύγχρονες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης προσφέρουν καινοτόμες λύσεις που μπορούν να μεταμορφώσουν τον τρόπο προσέγγισης της πρώιμης διάγνωσης, της αξιολόγησης και της παρέμβασης, παρέχοντας εργαλεία αντικειμενικότητας, ταχύτητας και ακρίβειας που ξεπερνούν τα όρια των παραδοσιακών μεθόδων.

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στις εφαρμογές των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης στη διάγνωση και θεραπεία παιδικών αναπτυξιακών διαταραχών και πώς συμβάλουν στην πρώιμη παρέμβαση. Εξετάζονται οι νευροαπεικονιστικές προσεγγίσεις, η αυτοματοποίηση κλινικών αξιολογήσεων, οι βιοδείκτες, καθώς και οι τεχνολογίες υποστήριξης και παρέμβασης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις διαταραχές του αυτιστικού φάσματος (ΔΑΦ), την εγκεφαλική παράλυση όμως και σε άλλες σημαντικές αναπτυξιακές καταστάσεις, αναλύοντας την αποτελεσματικότητα, τους περιορισμούς και τις προοπτικές κλινικής εφαρμογής των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI).

5.1.1 Υβριδικά Μοντέλα Βαθιάς Μάθησης

Η αξιοποίηση δεδομένων νευροαπεικόνισης με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα υποσχόμενη για τη διάγνωση του αυτισμού. Οι Sewani και Kashef ανέπτυξαν ένα υβριδικό μοντέλο που συνδυάζει αυτοκωδικοποιητή (autoencoder) για μείωση διαστάσεων με συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (CNN) για την ανάλυση δεδομένων λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας ηρεμίας (rs-fMRI). Το μοντέλο επέτυχε ακρίβεια 84.05% και εμβασμό κάτω από την καμπύλη (AUC) 0.78 σε δεδομένα από 1035 άτομα [4].

Προχωρώντας σε πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές, οι Koc και συνεργάτες αξιοποίησαν υβριδικό δίκτυο από συνελκτικό νευρωνικό και – επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο (CNN-RNN) με τρεις διαφορετικές στρατηγικές συγχώνευσης δεδομένων. Η βέλτιστη εκδοχή με υβριδική συγχώνευση και ενσωμάτωση της συνολικής βαθμολογίας του Προγράμματος Διαγνωστικής Παρατήρησης Αυτισμού (ADOS) κατέγραψε εξαιρετική ακρίβεια 96.0%, ευαισθησία 92.8% και ειδικότητα 85.7% [5].

5.1.2 Προκλήσεις Γενικευσιμότητας

Ωστόσο, η γενικευσιμότητα των νευροαπεικονιστικών μοντέλων παραμένει προβληματική. Οι Thomas και συνεργάτες, εξετάζοντας τρισδιάστατα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα σε 1.162 δείγματα, επέτυχαν μόνο 66% ισορροπημένη ακρίβεια στη διασταυρωμένη επικύρωση και 56% στην επικύρωση με αφαίρεση τοποθεσίας/Κέντρου (“leave-site-out”), αναδεικνύοντας τους περιορισμούς της γενικευσιμότητας μεταξύ διαφορετικών ερευνητικών κέντρων [6]. Αυτό το εύρημα υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο ανθεκτικά και γενικευμένα μοντέλα που μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε διαφορετικά κλινικά περιβάλλοντα.

Ενώ οι νευροαπεικονιστικές προσεγγίσεις προσφέρουν πρωτοφανή βάθος κατανόησης των νευρικών μηχανισμών που υποκρύπτονται στις αναπτυξιακές διαταραχές, η κλινική πραγματικότητα απαιτεί εργαλεία που είναι ταυτόχρονα ακριβή, γρήγορα και προσβάσιμα. Η μετάβαση από το εργαστήριο στην κλινική πράξη οδήγησε στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων που μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στο θεραπευτικό περιβάλλον, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο και το κόστος διάγνωσης.

5.2 Αυτοματοποίηση Κλινικών Αξιολογήσεων

5.2.1 Ταχεία Διαγνωστικά Εργαλεία

Η μετάβαση από τα εργαστηριακά περιβάλλοντα στην κλινική πράξη αποτελεί κρίσιμο βήμα για την πρακτική εφαρμογή των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης. Οι Choi και συνεργάτες εκπαιδυσαν αλγόριθμο πολυταξικού δάσους αποφάσεων χρησιμοποιώντας 1.269 κορεατικά πρωτόκολλα της Αναθεωρημένης Διαγνωστικής Συνέντευξης Αυτισμού (ADI-R = Autism Diagnostic Interview-Revised), επιτυγχάνοντας ακρίβεια 96.3% για τη διαγνωστική ταξινόμηση. Σημαντικά, το μοντέλο κατάφερε να διατηρήσει υψηλή απόδοση (ακρίβεια 98.1%, ευαισθησία 97.6%) χρησιμοποιώντας μόνο πέντε κορυφαία στοιχεία, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα δημιουργίας ταχείας δοκιμασίας διαλογής [7].

5.2.2 Πολυτροπικές Διαγνωστικές Προσεγγίσεις

Μια ιδιαίτερα καινοτόμος προσέγγιση παρουσιάστηκε από τους Abbas και συνεργάτες, οι οποίοι ανέπτυξαν τρι-αρθρωτή προσέγγιση τεχνητής νοημοσύνης που συνδυάζει ερωτηματολόγιο γονέα, ανάλυση βίντεο και σύντομο ερωτηματολόγιο κλινικού. Το σύστημα πέτυχε εμβαδό κάτω απ’ τη καμπύλη (AUC) 0.92 με συνολική διάρκεια <10 λεπτά, υπερβαίνοντας σημαντικά τα υπάρχοντα εργαλεία όπως M-CHAT-R (Modified Checklist for Autism in Toddlers, Revised) και SRS-2 (Social Responsiveness Scale) το πρώτο είναι εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου και το δεύτερο εργαλείο αξιολόγησης [8]. Αυτή η πολυτροπική προσέγγιση αντιπροσωπεύει μια σημαντική εξέλιξη προς πιο ολοκληρωμένα και αποτελεσματικά διαγνωστικά συστήματα.

5.3 Βιοδείκτες και Μοριακές Διαγνωστικές Προσεγγίσεις

5.3.1 Γονιδιακή Έκφραση και Μηχανική Μάθηση

Η έρευνα βιοδεικτών για τον αυτισμό έχει επεκταθεί στη χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την ανάλυση προφίλ γονιδιακής έκφρασης. Οι Voinsky και συνεργάτες χρησιμοποίησαν Ποσοτική Αλυσιδωτή Αντίδραση Πολυμεράσης με Αντίστροφη Μεταγραφή (RT-qPCR) σε 73 παιδιά με ΔΑΦ και 26 νευροτυπικούς ελέγχους, αναπτύσσοντας ΑΔ που επέτυχαν ακρίβεια 82.2% και εμβαδό κάτω από την καμπύλη (AUC) 0.82. Ο συνδυασμός γονιδίων BATF2-ISG15-SERPING1-LY6E-EFHC2 αποδείχθηκε ο πιο αποτελεσματικός [80]. Αυτή η προσέγγιση παρέχει πολύτιμα εργαλεία για την ανάπτυξη αντικειμενικών, αιματολογικών εργαλείων διάγνωσης που συμπληρώνουν τις παραδοσιακές συμπεριφορικές αξιολογήσεις.

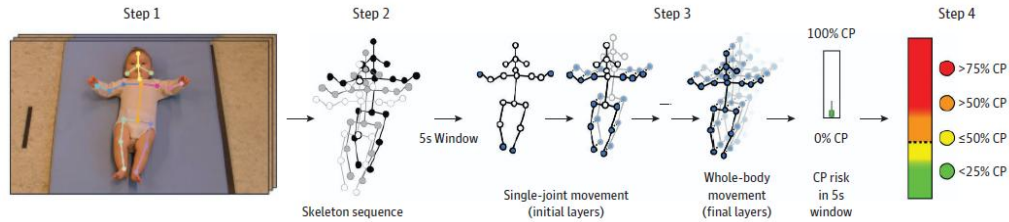
5.3.2 Υποκατηγοριοποίηση και Εξατομικευμένη Θεραπεία

Η αναγνώριση της ετερογένειας του αυτιστικού φάσματος οδήγησε στην ανάπτυξη προσεγγίσεων υποκατηγοριοποίησης. Οι Liu και συνεργάτες εφάρμοσαν ημι-επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση (HYDRA) σε 221 άνδρες με ΔΑΦ, αποκαλύπτοντας δύο διακριτές νευροανατομικές υποκατηγορίες με υψηλή αναπαραγωγιμότητα (Δείκτης Προσαρμοσμένου Rand ARI=0.82). Οι υποκατηγορίες παρουσίασαν σημαντικά βελτιωμένη διαγνωστική ακρίβεια (68% έναντι 51% για τη συνολική ομάδα ΔΑΦ) [9]. Αυτή η προσέγγιση ανοίγει νέους δρόμους για την ανάπτυξη εξατομικευμένων θεραπευτικών στρατηγικών.

5.4 Τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης στην Εγκεφαλική Παράλυση

Η επιτυχία των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης στη διάγνωση και υποκατηγοριοποίηση του αυτισμού άνοιξε νέους δρόμους για την εφαρμογή παρόμοιων προσεγγίσεων σε άλλες νευροαναπτυξιακές διαταραχές. Η εγκεφαλική παράλυση, ως μία από τις πιο συχνές κινητικές διαταραχές της παιδικής ηλικίας, αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής αλγορίθμων βαθιάς μάθησης για την έγκαιρη ανίχνευση και παρακολούθηση της εξέλιξης

Η έγκαιρη διάγνωση της εγκεφαλικής παράλυσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων. Οι Groos και συνεργάτες ανέπτυξαν αλγόριθμο βαθιάς μάθησης για την ανάλυση βίντεο αυθόρμητων κινήσεων βρεφών 9-18 εβδομάδων. Σε 557 βρέφη υψηλού κινδύνου από 13 διεθνή κέντρα, το σύστημα επέτυχε ευαισθησία 71.4%, ειδικότητα 94.1% και συνολική ακρίβεια 90.6%, υπερέχοντας σημαντικά έναντι συμβατικής μηχανικής μάθησης και βελτιώνοντας την ειδικότητα έναντι της κλινικής μεθόδου Αξιολόγησης Γενικών Κινήσεων (GMA) [10].



Εικόνα 2 : Εφαρμογή του Αλγορίθμου πάνω σε βίντεο από Groos et al.

Αυτή η τεχνολογία αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στην έγκαιρη ανίχνευση, προσφέροντας τη δυνατότητα παρέμβασης σε κρίσιμα αναπτυξιακά στάδια όπου η νευροπλαστικότητα είναι μεγιστοποιημένη.

5.5 Αυτοματοποίηση Αναπτυξιακών Αξιολογήσεων

Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών αξιολόγησης λειτουργικότητας αποτελεί σημαντική εξέλιξη στη διαχείριση της εγκεφαλικής παράλυσης. Οι Duran και συνεργάτες χρησιμοποίησαν 1.217 πλήρεις αξιολογήσεις GMFM-66 (Μέτρο Αδρής Κινητικής Λειτουργίας) για να εκπαιδεύσουν αυτοματοποιημένο μοντέλο που συντομεύει το τεστ. Το τελικό πρωτόκολλο rGMFM-66 επιτυγχάνει μέσο όρο 34.5 ερωτημάτων με εξαιρετική συμφωνία με το πλήρες GMFM-66 (Συντελεστής Ενδοτάξης Συσχέτισης ICC 0.997, Μέσο απόλυτο σφάλμα MAE $\approx$ 1 μονάδα) [11]. Αυτή η καινοτομία προσφέρει σημαντικά οφέλη στην κλινική πράξη, μειώνοντας τον χρόνο αξιολόγησης χωρίς απώλεια ακρίβειας.

Οι Ye και συνεργάτες ανέπτυξαν αλγόριθμο βαθιάς μάθησης (YOLOv5 + ευριστικούς κανόνες) για αυτόματη αξιολόγηση δοκιμασιών της Κλίμακας Baley Βρεφικής και Νηπιακής Ανάπτυξης (BSID-II). Σε 75 παιδιά 12-42 μηνών, το μοντέλο πέτυχε ευαισθησία 86.5% και ειδικότητα 100% για την εισαγωγή κυλίνδρων (“Places Pegs In”), ενώ για την αντιστοίχιση σχημάτων (“Blue Board”) ευαισθησία 96.9% και ειδικότητα 89.5% [12].

Ο παραπάνω αλγόριθμος οδηγεί στην επανάσταση των αναπτυξιακών αξιολογήσεων, προσφέροντας αντικειμενικότητα, συνέπεια και ποσοτικά δεδομένα πραγματικού χρόνου που μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την ακρίβεια και την αποδοτικότητα των διαγνωστικών διαδικασιών.

5.6 Τεχνολογίες Υποστήριξης και Θεραπευτικές Παρεμβάσεις

Η ανάπτυξη εξειδικευμένων τεχνολογιών υποστήριξης για παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές αποτελεί ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο. Οι Arunvinodh και Velmurugadass ανέπτυξαν σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων βασισμένο σε πλαίσιο για παρεμβάσεις σε άτομα με ΔΑΦ, χρησιμοποιώντας περιορισμένες μηχανές Boltzmann και βαθιά δίκτυα

πεποιθήσεων. Το σύστημα πέτυχε εντυπωσιακή βελτίωση στην ακρίβεια αναγνώρισης, με αύξηση της συμμετοχής από 77% στα 91% [13].

Στον τομέα της επικοινωνίας, οι Li και συνεργάτες ανέπτυξαν το πρώτο γενικό κινεζικό chatbot ειδικά σχεδιασμένο για παιδιά με ΔΑΦ, χρησιμοποιώντας βαθιά μάθηση συγκεκριμένα Αμφίδρομο Δίκτυο Μακράς Βραχύχρονης Μνήμης (Bi-LSTM με μηχανισμό προσοχής). Το σύστημα υπερτερούσε σημαντικά έναντι υπαρχόντων συστημάτων σε συναίσθημα, προσβασιμότητα και συνολική εντύπωση [14]. Αυτές οι καινοτομίες ανοίγουν νέους δρόμους για την ανάπτυξη προσωποποιημένων, διαδραστικών εργαλείων που μπορούν να ενισχύσουν την επικοινωνία και τη μάθηση.

5.7 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Τρέχον Ερευνητικό Τοπίο

Η συστηματική ανασκόπηση των Reinhart και συνεργατών εξέτασε 71 μελέτες για τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης στην παρακολούθηση παιδικής ανάπτυξης (1996-2022). Τα ευρήματα έδειξαν έντονη εστίαση στις περιοχές γλωσσικής (25%), γνωστικής (24%) και κοινωνικής ανάπτυξης (24%), με ιδιαίτερη έμφαση στην πρώιμη ανίχνευση ауτισμού (36% των μελετών). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ήταν Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machines), ταξινομητές Τυχαίου Δάσους και βαθιά μάθηση (DL) [15].

Αναδυόμενα Κενά και Προκλήσεις

Παρά την τεχνολογική πρόοδο, παραμένουν σημαντικά κενά στην ενσωμάτωση των τεχνολογιών ΤΝ στην κλινική πράξη. Οι Kharbat και συνεργάτες εντόπισαν σημαντικά κενά στην ενσωμάτωση υγειονομικών πληροφοριών με εκπαιδευτικά συστήματα ΤΝ για φοιτητές με νοητικές και αναπτυξιακές αναπηρίες. Οι περισσότερες εφαρμογές επικεντρώνονται σε μεμονωμένους τομείς χωρίς συνολική προσέγγιση [16]. Αυτό το εύρημα υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο ολοκληρωμένες και διεπιστημονικές προσεγγίσεις.

Η Νέα Εποχή της ΤΝ-Κατευθυνόμενης Διάγνωσης και Θεραπείας

Η εξέταση των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης στην πρώιμη παρέμβαση αποκαλύπτει ένα επαναστατικό τοπίο που αναδιαμορφώνει θεμελιωδώς τις προσεγγίσεις διάγνωσης και θεραπείας των παιδικών αναπτυξιακών διαταραχών. Τα ευρήματα συγκλίνουν σε τέσσερις κρίσιμες διαστάσεις που χαρακτηρίζουν αυτή τη νέα εποχή.

Η Πολυτροπική Επανάσταση της Διάγνωσης

Αναδεικνύεται ένα νέο παράδειγμα "πολυτροπικής διαγνωστικής σύγκλισης" όπου διαφορετικές τεχνολογίες ΤΝ συνδυάζονται για μεγιστοποίηση της διαγνωστικής ακρίβειας. Το σύστημα των Abbas και συνεργατών [8] που συνδυάζει ερωτηματολόγια,

ανάλυση βίντεο και κλινική αξιολόγηση σε <10 λεπτά με επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (AUC) 0.92, αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη μετατόπιση από τη μονοδιάστατη στην ολιστική διαγνωστική προσέγγιση. Παράλληλα, η ικανότητα διατήρησης ακρίβειας 98.1% με μόνο πέντε στοιχεία του ADI-R [7] υποδεικνύει τη δυνατότητα ραγδαίας κλινικής διαλογής χωρίς απώλεια αξιοπιστίας.

Νευροβιολογική Επικύρωση και Προβλεπτική Ακρίβεια

Οι νευροαπεικονιστικές προσεγγίσεις με υβριδικά CNN-RNN μοντέλα επιτυγχάνουν εξαιρετική ακρίβεια 96% [5], ενώ η ανάλυση γονιδιακής έκφρασης με ταξινομητές τυχαίου δάσους (Random Forest) παρέχει αντικειμενικούς βιοδείκτες με ακρίβεια 82.2% [80]. Αυτή η σύγκλιση νευροαπεικόνισης και μοριακών δεδομένων δημιουργεί ένα νέο επίπεδο διαγνωστικής βεβαιότητας που ξεπερνά τις παραδοσιακές συμπεριφορικές αξιολογήσεις. Η ανακάλυψη δύο διακριτών νευροανατομικών υποκατηγοριών στον αυτισμό [9] ανοίγει νέους ορίζοντες για εξατομικευμένη θεραπεία.

Το Φάσμα Πρώιμης Ανίχνευσης και Νευροπλαστικότητας

Η επανάσταση στην πρώιμη διάγνωση εγκεφαλικής παράλυσης μέσω ανάλυσης βίντεο αυθόρμητων κινήσεων [10] με ευαισθησία 71.4% και ειδικότητα 94.1% σε βρέφη 9-18 εβδομάδων, αντιπροσωπεύει μια παραδειγματική μετατόπιση στη χρονική παρέμβαση. Αυτή η ικανότητα ανίχνευσης σε κρίσιμα αναπτυξιακά παράθυρα όπου η νευροπλαστικότητα είναι μεγιστοποιημένη, δημιουργεί ανέλπιστες ευκαιρίες για θεραπευτική παρέμβαση.

Αυτοματοποίηση και Κλινική Αποδοτικότητα

Η αυτοματοποίηση αναπτυξιακών αξιολογήσεων όπως το BSID-II [12] και η συντόμευση του GMFM-66 [11] με διατήρηση εξαιρετικής συμφωνίας (ICC 0.997), δημιουργεί νέα πρότυπα κλινικής αποδοτικότητας. Αυτές οι τεχνολογίες δεν απλώς μειώνουν τον χρόνο αξιολόγησης, αλλά παρέχουν αντικειμενικότητα, συνέπεια και ποσοτικά δεδομένα πραγματικού χρόνου που ενισχύουν τη λήψη κλινικών αποφάσεων.

Το Παράδοξο της Γενικευσιμότητας και της Κλινικής Μεταφορά

Παρά τις εντυπωσιακές επιδόσεις σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, η μελέτη των Thomas και συνεργατών [6] αποκαλύπτει το κρίσιμο "παράδοξο της γενικευσιμότητας" με πτώση της ακρίβειας από 66% σε 56% μεταξύ διαφορετικών κέντρων. Αυτό υπογραμμίζει ότι η τεχνολογική καινοτομία πρέπει να συνδυαστεί με αυστηρές μεθοδολογίες επικύρωσης και προσαρμογής σε διαφορετικά κλινικά περιβάλλοντα.

Στρατηγικές Μελλοντικής Εξέλιξης

- 1. Πολυτροπική Ενοποίηση σε πραγματικό χρόνο:** Ανάπτυξη συστημάτων που συνδυάζουν νευροαπεικόνιση, γονιδιακούς βιοδείκτες, συμπεριφορικές αξιολογήσεις και βίντεο-ανάλυση σε ενιαίες διαγνωστικές πλατφόρμες.
- 2. Προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη με Συνεχή Μάθηση:** Δημιουργία συστημάτων που προσαρμόζονται δυναμικά σε νέα δεδομένα και διαφορετικά κλινικά περιβάλλοντα, διατηρώντας υψηλή ακρίβεια μεταξύ πληθυσμών.
- 3. Εξατομικευμένη Θεραπευτική Στρατηγική:** Αξιοποίηση των ευρημάτων υποκατηγοριοποίησης για ανάπτυξη TN-κατευθυνόμενων, εξατομικευμένων θεραπευτικών πρωτοκόλλων.
- 4. Εκδημοκρατισμός της Τεχνολογίας:** Ανάπτυξη χαμηλού κόστους, φορητών συσκευών που καθιστούν τις προηγμένες TN τεχνολογίες προσβάσιμες σε υποεξυπηρετούμενες κοινότητες.

Συνολικά, οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης αντιπροσωπεύουν μια παραδειγματική μετατόπιση από την "εμπειρική" στην "αλγοριθμική" κλινική πράξη, δημιουργώντας νέα επίπεδα διαγνωστικής ακρίβειας και θεραπευτικής εξατομίκευσης. Ωστόσο, η επιτυχής μετάβαση από τα ερευνητικά εργαστήρια στην κλινική ρουτίνα απαιτεί την αντιμετώπιση των προκλήσεων γενικευσιμότητας, την ανάπτυξη αυστηρών πρωτοκόλλων επικύρωσης και τη δημιουργία βιώσιμων μοντέλων υιοθέτησης που ισορροπούν μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και κλινικής πραγματικότητας.

Κεφάλαιο 6: Ψηφιακές Εφαρμογές και Πλατφόρμες Κινητών

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει την ανάπτυξη και εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών και πλατφόρμες κινητών για την υποστήριξη της πρώιμης παρέμβασης στα παιδιά με αναπτυξιακές δυσκολίες. Αναλύονται οι θεραπευτικές εφαρμογές που βασίζονται σε αρχές εφαρμοσμένης ανάλυσης συμπεριφοράς, τα εργαλεία παρακολούθησης ανάπτυξης, τα συστήματα εκπαίδευσης γονέων, καθώς και κάποιες εκπαιδευτικές πλατφόρμες. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αποτελεσματικότητα, την αποδοχή από τους χρήστες και τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των οφελών από τις ψηφιακές παρεμβάσεις.

6.1 Εφαρμογές Κινητών Συσκευών για Παρακολούθηση Αναπτυξιακής Προόδου

Η ανάπτυξη προσβάσιμων λύσεων για την παρακολούθηση αναπτυξιακής προόδου σε πληθυσμούς με περιορισμένους πόρους αποτελεί κρίσιμη προτεραιότητα δημόσιας υγείας. Οι Kitsao-Wekulo και συνεργάτες ανέπτυξαν εφαρμογή κινητού τηλεφώνου για την παρακολούθηση αναπτυξιακής προόδου 108 παιδιών ηλικίας 6 μηνών έως 2 ετών σε άτυπους οικισμούς του Ναϊρόμπι. Η εφαρμογή χρησιμοποιούσε ειδοποιήσεις μέσω μηνυμάτων στο κινητό (SMS) σαν ερωτηματολόγιο και σχέδιο δράσης για 12 μήνες σχετικά με πέντε αναπτυξιακούς τομείς, παρέχοντας εξατομικευμένα μηνύματα διέγερσης. Η προσκόλληση ήταν υψηλή (>90%) τους πρώτους 3 μήνες και στη συνέχεια διακυμάνθηκε μεταξύ 76-86%, επιβεβαιώνοντας την δυνατότητα χρήσης τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας για παρακολούθηση αναπτυξιακής προόδου σε ευάλωτους πληθυσμούς [17].

6.2 Θεραπευτικές Εφαρμογές με Τεχνητή Νοημοσύνη

Η ενσωμάτωση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης σε θεραπευτικές εφαρμογές παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες εξατομικευμένης παρέμβασης. Οι Panda και συνεργάτες διεξήγαγαν τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη της εφαρμογής IMPUTE ADT-1 σε 70 παιδιά με ΔΑΦ ηλικίας 2-6 ετών. Η εφαρμογή, βασισμένη στις αρχές της εφαρμοσμένης ανάλυσης συμπεριφοράς, χρησιμοποιεί αλγόριθμους TN με παρακολούθηση προσώπου, ματιών και σώματος. Η ομάδα παρέμβασης (37 παιδιά) που έλαβε 60 λεπτά/ημέρα εφαρμογής επιπλέον της τυπικής φροντίδας έδειξε στατιστικά σημαντική βελτίωση σε όλους τους τομείς του Προγράμματος Διαγνωστικής Παρατήρησης Αυτισμού (ADOS-2) ($P < 0.001$), με όλους τους συμμετέχοντες να μετακινούνται σε μέτρια σοβαρότητα συμπτωμάτων [18].

6.3 Εργαλεία Διαλογής και Διάγνωσης

Η ανάπτυξη προσβάσιμων εργαλείων διαλογής πληροφοριών που δεν απαιτούν εξειδικευμένο υλικό αποτελεί σημαντική πρόκληση. Οι Varma και συνεργάτες διεξήγαγαν την πρώτη συγκριτική μελέτη για τον εντοπισμό κοινωνικών δεικτών ΔΑΦ χρησιμοποιώντας εφαρμογή κινητού χωρίς hardware παρακολούθησης ματιών. Η μελέτη περιλάμβανε 95 παιδιά (68 ΔΑΦ, 27 νευροτυπικά) ηλικίας 2-15 ετών που συμμετείχαν σε παιχνίδι μίμησης μέσω της εφαρμογής GuessWhat. Χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένες τεχνικές όρασης υπολογιστή (Computer Vision) για την ανάλυση 11.1 ωρών από βίντεο, τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα μοτίβα στερέωσης βλέμματος ($P < 0.001$) οπτική σάρωση ($P < 0.001$). Ένα LSTM (Long short-term memory)

νευρωνικό δίκτυο επέδειξε μέτρια προγνωστική ικανότητα για την ταυτοποίηση ΔΑΦ (macro-averaged recall: 0.598) [19].

6.4 Εφαρμογές Ενδυνάμωσης Γονέων

Η χρήση οικολογικής στιγμιαίας αξιολόγησης για την παρακολούθηση καθημερινών εμπειριών και την παροχή ανατροφοδότησης στους γονείς αποτελεί καινοτόμα προσέγγιση. Οι Bonnot και συνεργάτες αξιολόγησαν την εφαρμογή Smartautism σε 65 οικογένειες με παιδιά ΔΑΦ ηλικίας 3-16 ετών για 6 μήνες. Η εφαρμογή ζητούσε από τους γονείς να απαντούν σε ερωτήσεις καθημερινής ζωής δύο φορές την εβδομάδα και παρείχε οθόνη σχολίων με γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Η έρευνα είχε στην αρχή πολύ υψηλή αρχική πρόθεση χρήσης (94.8% των 3900 περιπτώσεων), ωστόσο μόνο 46% των συμμετεχόντων διατήρησαν συνεπή χρήση με ποσοστό ολοκλήρωσης άνω του 50%. Οι χρήστες με την υψηλότερη χρήση της εφαρμογής χαρακτηρίζονται και από υψηλότερη ικανοποίηση με την οθόνη σχολίων ($P < 0.001$) [20].

6.5 Εκπαίδευση Γονέων μέσω Πλατφορμών Κινητών Συσκευών

Η μετάφραση των αρχών της εφαρμοσμένης ανάλυσης συμπεριφοράς σε mobile εφαρμογές προσφέρει προσβάσιμες λύσεις εκπαίδευσης γονέων. Οι Lee και συνεργάτες διεξήγαγαν πιλοτική τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη σε 42 παιδιά ηλικίας 36-84 μηνών, συγκρίνοντας εκπαίδευση γονέων με εφαρμογή κινητού τηλεφώνου ($n=20$) με συνήθη μη-φαρμακευτική θεραπεία ($n=22$). Το 12-εβδομάδων πρόγραμμα περιλάμβανε 2-5 συνεδρίες την εβδομάδα διάρκειας 10-15 λεπτών, καλύπτοντας εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Ανάλυση Συμπεριφοράς (ABA Applied Behavior Analysis), αναγνώριση αιτιών προβληματικών συμπεριφορών και δημιουργία πλάνου υποστήριξης συμπεριφορών. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις στην κοινωνικοποίηση ($P < 0.01$) και τις καθημερινές δεξιότητες ζωής ($P = 0.02$), παρά το ότι το ποσοστό ολοκλήρωσης των συνεδριών ήταν σχετικά χαμηλό (51.5%) [21].

Η ασύγχρονη εκπαίδευση γονέων για τη χρήση συσκευών παραγωγής ομιλίας (SGD) παρουσιάζει δυνατότητες επίλυσης προβλημάτων προσβασιμότητας υπηρεσιών. Οι Fischbacher και συνεργάτες αξιολόγησαν τις διαδικτυακές μεθόδους Εκπαίδευσης Γονέων για Επικοινωνιακή και Εναλλακτική Επικοινωνία (POWR Prepare Offer Wait Respond) σε δύο μητέρες νηπίων με αυτισμό. Κατά τη φάση παρέμβασης, η Elsa διπλασίασε τις ευκαιρίες επικοινωνίας (32/10') και μείωσε χαμένες ευκαιρίες αναμονής (20 → 6), ενώ ο Chris άρχισε να ζητά και να σχολιάζει μέσω SGD. Η Sandra αύξησε τις ευκαιρίες από 12 σε 26 και ο Antonio πέρασε από 6 σε 35 πράξεις επικοινωνίας ανά δεκάλεπτο, με παράλληλη έκρηξη λεκτικών μονολέξεων (5 → 31). Οι γονείς δήλωσαν υψηλή χρηστικότητα, υποδεικνύοντας ότι η ασύγχρονη εκπαίδευση είναι εφικτός πρώτος βαθμός

υποστήριξης για οικογένειες που περιμένουν υπηρεσίες Επικουρικής και Εναλλακτικής Επικοινωνίας (AAC - Augmentative and Alternative Communication) [22].

6.6 Εφαρμογές Ανάλυσης Συμπεριφοράς

Η μετάφραση δομημένης ανάλυσης συμπεριφοράς σε ψηφιακό περιβάλλον αποτελεί σημαντική καινοτομία. Οι Meerson και συνεργάτες αξιολόγησαν την εφαρμογή ProVIA-Kids σε 18 φροντιστές παιδιών ηλικίας 4-11 ετών (44% ΔΑΦ, 33% ΔΑΔ, 22% και τα δύο) για 8 εβδομάδες. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί αλγόριθμο ανάλυσης συμπεριφοράς που ακολουθεί την αρχή του μοντέλου Ερέθισμα-Οργανισμός-Αντίδραση-Συνέπεια-Ενδεχόμενη Σχέση (SORKC) για την ταυτοποίηση παραγόντων κινδύνου και παρέχει εξατομικευμένες ψυχοεκπαιδευτικές συστάσεις. Παρά την αύξηση του συνολικού γονεϊκού στρες ($t(17) = -2.19$, $p = 0.021$, $d = 0.52$), παρατηρήθηκαν σημαντικές βελτιώσεις σε υπερδραστικές γονεϊκές πρακτικές ($t(16) = 1.92$, $p = 0.036$, $d = 0.47$) και στατιστικά σημαντική μείωση του στρες που σχετίζεται με προκλητικές συμπεριφορές ($t(12) = 3.29$, $p = 0.003$, $d = 0.91$). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 213 αναλύσεις συμπεριφοράς, με τους φροντιστές να ταυτοποιούν θετικές συνέπειες στο 73% των καταστάσεων [23].

6.7 Εκπαιδευτικές Εφαρμογές και Ψηφιακά Παιχνίδια

Η ψηφιοποίηση κλασικών εκπαιδευτικών εργαλείων προσφέρει νέες δυνατότητες εξατομικευμένης διδασκαλίας. Οι Çubukcu και συνεργάτες ανέπτυξαν εφαρμογή Android που μετατρέπει κλασικά επιτραπέζια παζλ και παιχνίδια αντιστοίχισης σε ψηφιακή μορφή για παιδιά με Σύνδρομο Down. Η εφαρμογή, υλοποιημένη με Unity-C# και Visual Studio Code, ακολουθεί σχεδιασμό Education 4.0 και m-learning, περιλαμβάνοντας εκπαιδευτικό σκέλος όπως παράδειγμα σε ένα παιχνίδι πρέπει να στρέψεις τα κομμάτια ενός παζλ για να ολοκληρώσεις την εικόνα ή διάφορα παιχνίδια που πρέπει να ταυτίσεις διάφορες εικόνες μεταξύ τους για ενίσχυση μνήμης, οπτικοκινητικού συντονισμού και δεξιοτήτων ζωής. Η ψηφιοποίηση περιορίζει την ανάγκη μεταφοράς φυσικών υλικών και επιτρέπει εξατομικευμένη διδασκαλία, αν και απαιτείται εμπειρική αξιολόγηση για την επιβεβαίωση αποτελεσματικότητας [24].

6.8 Μακροπρόθεσμη Αποτελεσματικότητα και Διατήρηση Οφελών

Η διατήρηση των οφελών από ψηφιακές παρεμβάσεις αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη μακροπρόθεσμη κλινική αξία. Οι Parsons και συνεργάτες ακολούθησαν 15 παιδιά με ΔΑΦ από αγροτικές περιοχές Αυστραλίας ένα έτος μετά τη 3-μηνη χρήση της εφαρμογής σε iPad TOBY (Therapy Outcomes by You). Παρά τη σχεδόν καθολική διακοπή χρήσης λόγω έλλειψης χρόνου και βαρεμάρας, οι βελτιώσεις που είχαν παρατηρηθεί αμέσως μετά την παρέμβαση στην υποδοχή λόγου (MSEL), στην κοινωνική/συμβολική επικοινωνία

(CSBS) και στην πραγματολογία (POM) διατηρήθηκαν στους 12-18 μήνες. Επιπλέον, οι συμβολικές και λεκτικές δεξιότητες (CSBS) συνέχισαν να αυξάνονται, υποδηλώνοντας πιθανή γενίκευση ανάπτυξης. Οι γονείς επιβεβαίωσαν τη συντήρηση γλωσσικών και καθημερινών δεξιοτήτων παρά την παύση χρήσης [25].

6.9 Συστηματικές Ανασκοπήσεις Ψηφιακών Παρεμβάσεων

Μετα-αναλυτικά Δεδομένα Αποτελεσματικότητας

Η συνολική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των ψηφιακών παρεμβάσεων υγείας (DHIs) παρέχει σημαντικές γενικεύσιμες γνώσεις. Οι Wang και συνεργάτες διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση 33 τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών που εξέτασαν την αποτελεσματικότητα των ΨΠΥ σε 1285 συμμετέχοντες με ΔΑΦ ηλικιών 1-52 ετών. Οι τεχνολογίες περιελάμβαναν υπολογιστικά προγράμματα/εφαρμογές (45.5%), ρομποτικές παρεμβάσεις (33.3%), εικονική πραγματικότητα και φορητές συσκευές. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλο μέγεθος επίδρασης Cohen's $d = 1.89$ (95% CI: 1.26-2.52), με ιδιαίτερα μεγάλα αποτελέσματα στις ομάδες λίστας αναμονής ($d=4.27$) και καμία παρέμβαση ($d=4.52$), ενώ οι ομάδες ενεργού ελέγχου έδειξαν μη στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα ($d=0.73$). Κλινικά, οι DHIs βελτίωσαν σημαντικά την κοινωνική λειτουργία, την επικοινωνία και τη συνολική επίδοση, ενώ οι παιδιατρικοί πληθυσμοί και άτομα με $IQ \geq 70$ έδειξαν μεγαλύτερες βελτιώσεις [26].

Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται η μελέτη των Whitehouse και συνεργατών με την εφαρμογή TOBY σε 39 παιδιά 2.5-4 ετών κατέγραψε βελτιώσεις στη συνολική αυτιστική συμπτωματολογία όπως αξιολογήθηκε με το Autism Treatment Evaluation Checklist (ATEC). Παρομοίως, οι Fletcher-Watson και συνεργάτες αξιολόγησαν εξειδικευμένες iPad εφαρμογές σε 27 παιδιά 1-6 ετών, χρησιμοποιώντας το Brief Observation of Social Communication Change (BOSCC) ως μέτρο αποτελεσματικότητας.

6.10 Σύνοψη Ψηφιακών Τεχνολογιών και Οφέλη

Οι ψηφιακές εφαρμογές και πλατφόρμες κινητών παρουσιάζουν σημαντικό δυναμικό για την υποστήριξη παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές μέσω διαφόρων καινοτόμων προσεγγίσεων:

Θεραπευτικές Εφαρμογές με TN: Εφαρμογές όπως η IMPUTE ADT-1 που χρησιμοποιούν αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) με παρακολούθηση προσώπου και ματιών επιτυγχάνουν στατιστικά σημαντική βελτίωση σε όλους τους τομείς του ADOS-2 [18]. Τα οφέλη περιλαμβάνουν εξατομικευμένη παρέμβαση και αντικειμενική παρακολούθηση προόδου.

Mobile Screening Εργαλεία: Συστήματα όπως το GuessWhat παρέχουν προσβάσιμες λύσεις αξιολόγησης χωρίς απλά με χρήση κινητού τηλεφώνου, επιτυγχάνοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ανίχνευση των μοτίβων βλέμματος [19]. Τα οφέλη περιλαμβάνουν μειωμένο κόστος και αυξημένη προσβασιμότητα σε απομακρυσμένες περιοχές.

Πλατφόρμες εκπαίδευσης γονέων: Εφαρμογές κινητών για εκπαίδευση γονέων βασισμένες σε ABA αρχές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις στην κοινωνικοποίηση και καθημερινές δεξιότητες [21]. Η ασύγχρονη εκπαίδευση για χρήση μηχανημάτων παραγωγής ομιλίας (AAC) μπορεί να διπλασιάσει τις ευκαιρίες επικοινωνίας [22].

Εφαρμογές Ανάλυσης Συμπεριφοράς: Συστήματα όπως η ProVIA-Kids που ακολουθούν την αρχή SORKC μειώνουν στατιστικά σημαντικά το στρες που σχετίζεται με προκλητικές συμπεριφορές ($d = 0.91$) [23], προσφέροντας εξατομικευμένες ψυχοεκπαιδευτικές συστάσεις.

Παρακολούθηση Ανάπτυξης: Συστήματα παρακολούθησης με ειδοποιήσεις με γραπτά μηνύματα επιτυγχάνουν υψηλή προσκόλληση (>90% τους πρώτους 3 μήνες) σε περιβάλλοντα περιορισμένων πόρων [17], παρέχοντας πρόσβαση σε υπηρεσίες παρακολούθησης ανάπτυξης.

Μακροπρόθεσμη Αποτελεσματικότητα: Η βραχύχρονη χρήση εφαρμογών όπως η TOBY μπορεί να παράγει διατηρήσιμα οφέλη που συνεχίζουν να αυξάνονται ακόμη και μετά τη διακοπή χρήσης [25].

Συνολική Επίδραση: Η μετα-ανάλυση 33 Τυχαιοποιημένων Ελεγχόμενων Δοκιμών (RCT) αποδεικνύει μεγάλο μέγεθος επίδρασης ($d = 1.89$) για τις ψηφιακές παρεμβάσεις υγείας [26], με ιδιαίτερα μεγάλα αποτελέσματα στους παιδιατρικούς πληθυσμούς.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, παραμένουν προκλήσεις όπως το υψηλό ποσοστό εγκατάλειψης χρήσης (μόνο 46% διατηρούν συνεπή χρήση στη Smartautism [20]), η ανάγκη για συμπληρωματικές στρατηγικές ενίσχυσης εμπλοκής και η υψηλή ετερογένεια μεταξύ των μελετών που περιορίζει τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 7: Σοβαρά Παιχνίδια και Παιχνιδιοποίηση

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει την εφαρμογή σοβαρών παιχνιδιών (serious games) και στρατηγικών παιχνιδιοποίησης (gamification) στη θεραπεία και εκπαίδευση παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές και πως μπορούν να συμβάλουν έτσι και αυτά στην πρόωμη παρέμβαση. Αναλύονται τα παιχνίδια που στοχεύουν στην ενίσχυση κοινωνικών και συναισθηματικών δεξιοτήτων, τη διαχείριση άγχους, την ανάπτυξη κινητικών ικανοτήτων και τη γενικότερη υποστήριξη θεραπευτικών στόχων.

7.1 Σοβαρά Παιχνίδια για Κοινωνικές και Συναισθηματικές Δεξιότητες

Τα παιχνίδια που αξιοποιούν φυσικές κινήσεις και μιμητική για την ενίσχυση κοινωνικής επικοινωνίας παρουσιάζουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Οι Penev και συνεργάτες εξέτασαν την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής GuessWhat, ενός παιχνιδιού μιμήσεων, σε 72 παιδιά με ΔΑΦ ηλικίας 3-12 ετών που έπαιζαν για 4 εβδομάδες στο σπίτι (3 sessions 90 δευτερολέπτων την ημέρα, 3 ημέρες την εβδομάδα). Το παιχνίδι απαιτεί από το παιδί να υποδυθεί περιγραφές που εμφανίζονται στην οθόνη κινητού που κρατά ο γονέας. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις στο SRS-2 (-3.97 μονάδες, $p < 0.001$) και στο VABS-II το οποίο είναι μια ψυχολογική αξιολόγηση (+5.27 μονάδες, $p = 0.002$), που υπερέβαιναν τις ελάχιστες κλινικά σημαντικές διαφορές [27].

Η ενσωμάτωση γονεϊκής υποστήριξης στα σοβαρά παιχνίδια ενισχύει την αποτελεσματικότητα και τη μεταφορά δεξιοτήτων. Οι Kirst και συνεργάτες διεξήγαγαν τυχαιοποιημένη πολυκεντρική μελέτη του Zirkus Empathico σε 82 παιδιά 5-10 ετών με ΔΑΦ για έξι εβδομάδες (≥ 100 λεπτά/εβδομάδα). Η ομάδα παρέμβασης παρουσίασε σημαντική αύξηση γονεϊκά αναφερόμενης ενσυναίσθησης (GEM, $d = 0.71$) και ακρίβειας αναγνώρισης συναισθημάτων (KERMIT, $d = 0.50$) αμέσως μετά το πρόγραμμα. Αν και τα οφέλη δεν διατηρήθηκαν πλήρως στους τρεις μήνες, η επίγνωση ίδιων συναισθημάτων και η ικανότητα ρύθμισης βελτιώθηκαν μετρίως και παρέμειναν σε μελλοντική επαναξιολόγηση [28].

7.2 Παιχνίδια Διαχείρισης Άγχους και Στρες

7.2.1 Νευροανάδραση και Παιχνιδιοποίηση

Η ενσωμάτωση νευροανάδρασης σε παιχνιδιοποιημένα περιβάλλοντα αποτελεί καινοτόμα προσέγγιση για τη διαχείριση άγχους. Οι Wijnhoven και συνεργάτες

αξιολόγησαν το Mindlight, ένα σοβαρό παιχνίδι που ουσιαστικά το παιδί εγκαταλείπεται σε ένα τρομακτικό αρχοντικό και μέσω της εσωτερικής του δύναμης και το Mindlight καταφέρνει να φωτίσει το περιβάλλον του. Αυτή η "εσωτερική δύναμη" μετρήθηκε μέσω μιας συσκευής νευροανάδρασης ('Mindwave') που καταγράφει ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) με ξηρούς αισθητήρες. Οι συμμετέχοντες τυχαιοποιήθηκαν σε 6 ωριαίες συνεδρίες Mindlight ή στο ουδέτερο παιχνίδι Triple Town. Ενώ τα παιδικά αυτοαναφερόμενα συμπτώματα μειώθηκαν ισότιμα και στις δύο ομάδες, οι γονείς ανέφεραν σημαντικά μεγαλύτερη μείωση άγχους στην ομάδα Mindlight ($\beta = -1.98$ vs -1.56 , $p = .013$), με μεσαίο μέγεθος επίδρασης ($d \approx 0.5$) [29].

7.2.2 Απλές Τεχνικές Χαλάρωσης σε Παιγνιώδη Μορφή

Οι Carlier και συνεργάτες παρουσίασαν το New Horizon, ένα παιγνιώδες σύστημα χαλάρωσης που ενσωματώνει απλές τεχνικές ελεγχόμενης αναπνοής και καθοδηγούμενης απεικόνισης για παιδιά με ΔΑΦ. Σε πιλοτική δοκιμή δύο εβδομάδων με τρεις οικογένειες (παιδιά 6-10 ετών) καταγράφηκε ικανοποιητική χρήση (≥ 12 συνεδρίες/παιδί) και θετικό βίωμα, με τους γονείς να αναφέρουν λιγότερα καθημερινά ξεσπάσματα και μεγαλύτερη αυτορρύθμιση [30].

7.3 Κινητικές Δεξιότητες και Φυσική Δραστηριότητα

Στοχευμένη Βελτίωση Αδρών Κινητικών Δεξιοτήτων

Η χρήση σοβαρών παιχνιδιών για την ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων παρουσιάζει μετρήσιμα οφέλη. Οι Farsari και Nitsiou εφάρμοσαν τριμηνιαίο πρόγραμμα Kinems (1 συνεδρία/εβδομάδα, 30-40 λεπτά) σε 15 παιδιά με ΔΑΦ έναντι ομάδας ελέγχου 16 παιδιών. Η παρέμβαση βελτίωσε την ισοδύναμη ηλικία κινητικών δεξιοτήτων κατά έξι μήνες και κατέγραψε σημαντικές αυξήσεις στις δεξιότητες «τρέξιμο», «καλπασμός» και «ρίψη προς τα πάνω». Η σύγκριση ομάδων ανέδειξε υπεροχή της ομάδας παρέμβασης σε «κάλπασμα» ($p = .027$) και «διώξιμο μπάλας με δύο χέρια» ($p = .010$). Η συσχέτιση ποσοστού επιτυχίας στα παιχνίδια με την ισοδύναμη ηλικία κινητικών δεξιοτήτων ($r \approx 0,57-0,61$) υποδεικνύει ότι η πλατφόρμα μπορεί να λειτουργήσει και ως εργαλείο αξιολόγησης [31].

Φυσική Δραστηριότητα σε Χρόνιες Παθήσεις

Η αποτελεσματικότητα σοβαρών παιχνιδιών στην προώθηση φυσικής δραστηριότητας παρουσιάζει μικτά αποτελέσματα. Οι Bossen και συνεργάτες διεξήγαγαν μετα-ανάλυση 9 τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων μελετών με 886 συμμετέχοντες ηλικίας 6-18 ετών με χρόνιες παθήσεις (παχυσαρκία, εγκεφαλική παράλυση, καρκίνος). Οι παρεμβάσεις περιλάμβαναν παιχνίδια για άσκηση (Nintendo Wii, PlayStation, Xbox) διάρκειας 10-24 εβδομάδων. Η μετα-ανάλυση έδειξε μη σημαντική επίδραση στη φυσική δραστηριότητα

μέτριας-έντονης έντασης (SMD 0.30, $P=.19$), παρά τη σημαντική μείωση του Δείκτη Μάζας Σώματος (BMI) (SMD -0.24, $P=.02$) [32].

7.4 Εξειδικευμένες Τεχνολογικές Καινοτομίες

Υβριδικά Συστήματα με Φορητούς Αισθητήρες

Η ενσωμάτωση φορητών αισθητήρων σε παιγνιώδη περιβάλλοντα προσφέρει νέες δυνατότητες παρακολούθησης αλληλεπιδράσεων. Οι Macías και συνεργάτες παρουσίασαν το PuzzleAction, ένα υβριδικό σύστημα που ενσωματώνει παζλ με αναγνώριση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και γάντια αισθητήρων για την αυτόματη καταγραφή ενεργειών καθοδήγησης/παρεμπόδισης γονέων κατά τη συνεργατική επίλυση παζλ με παιδιά με Σύνδρομο Down. Δώδεκα ζεύγη συμμετείχαν σε συνεδρία Wizard-of-Oz (ο χρήστης νομίζει ότι αλληλεπιδρά με αυτοματοποιημένα συστήματα αλλά υπάρχει ο ερευνητής (wizard) που ελέγχει τις αποκρίσεις), με την εμπειρία χρήσης να βαθμολογείται θετικά (GEQ: Επάρκεια 3,5, Εμβύθιση 3,3, Θετικό Συναίσθημα 3,6) με ελάχιστο άγχος [33].

7.5 Εφαρμογές σε Ειδικές Αναπτυξιακές Διαταραχές

Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας και Πολυσυμπτωματική Αντιμετώπιση

Τα σοβαρά παιχνίδια για ΔΕΠΥ παρουσιάζουν ιδιαίτερα υποσχόμενα αποτελέσματα σε πολλαπλούς τομείς. Οι Lin και Chang διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση 35 μελετών με 1408 συμμετέχοντες ηλικίας 6-18 ετών, εξετάζοντας πέντε βασικές ικανότητες. Τα παιχνίδια αυτά περιλάμβαναν ποικιλία τεχνολογιών (3D/2D, wearables, VR, neurofeedback) με διάρκεια 10-24 εβδομάδων. Η ανάλυση έδειξε θετικά αποτελέσματα στην προσοχή (80% των μελετών), βελτιώσεις σε υπερκινητικότητα-παρορμητικότητα, κοινωνικές δεξιότητες και εκτελεστικές λειτουργίες. Το 89% των παιδιών έδειξε θετική στάση προς τις παρεμβάσεις, ενώ παρεμβάσεις με σωματοαισθητικές εισροές επέδειξαν ιδιαίτερα οφέλη για συντονισμό χεριού-ματιού[34].

Νευροαποκατάσταση και Τεχνολογίες Παιχνιδιών

Οι Iosa και συνεργάτες διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση 43 μελετών για τη χρήση τεχνολογιών παιχνιδιών στην παιδιατρική νευροαποκατάσταση. Τα κύρια ευρήματα έδειξαν μέτρια αποτελέσματα για βελτίωση της ισορροπίας και της συνολικής κινητικής ανάπτυξης, ιδιαίτερα σε παιδιά με εγκεφαλική παράλυση. Οι τεχνολογίες παιχνιδιών (Nintendo Wii, Xbox Kinect, εξειδικευμένα συστήματα VR) αύξησαν σημαντικά τη συμμετοχή των παιδιών και μείωσαν το άγχος τους κατά τη θεραπεία [35].

7.6 Χαρτογράφηση Υπαρχουσών Εφαρμογών και Κενά

Ανάλυση Σχεδιαστικών Προσεγγίσεων

Οι Kellidou και συνεργάτες χαρτογράφησαν 14 δωρεάν ψηφιακά παιχνίδια για παιδιά με ΔΑΦ, αναλύοντας στόχους, μηχανισμούς και υποκείμενες μαθησιακές θεωρίες. Τα παιχνίδια ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες δεξιοτήτων: κοινωνικές, συναισθηματικές, διαχείριση περιορισμένων ενδιαφερόντων/ρουτίνας και βασικές δεξιότητες. Το 86% υιοθετεί καθαρά συμπεριφοριστικό σχεδιασμό με μονόδρομη ροή, ερωτήματα «σωστό/λάθος» και άμεση θετική/αρνητική ενίσχυση, με ελάχιστες ευκαιρίες διερεύνησης ή επίλυσης προβλήματος. Οι συγγραφείς επισημαίνουν το ρήγμα μεταξύ θεραπευτικού σκοπού και παιγνιώδους ελκυστικότητας [36].

Gamification σε Mobile Εφαρμογές

Οι Mahmoudi και συνεργάτες διεξήγαγαν ανασκόπηση πεδίου 38 μελετών που περιλάμβαναν 32 μοναδικές παιχνιδοποιημένες εφαρμογές για παιδιά με αναπηρίες. Το 44% των εφαρμογών ήταν θεραπευτικές, 41% εκπαιδευτικές και 9% αξιολόγησης. Το 47% των μελετών αφορούσε παιδιά με ΔΑΦ. Πιο συγκεκριμένα εφαρμογές όπως η Our Story, Guess What, SideKicks!, και το Autism Assistant αξιοποιούν στρατηγικές όπως καθορισμός στόχων, ανατροφοδότηση επίδοσης, ενίσχυση, και διασκέδαση/παιγνιώδης χαρακτήρας για την ενίσχυση της κοινωνικής επικοινωνίας και της αφηγηματικής ικανότητα. Εφαρμογές όπως η TOBY (με πολλαπλές μελέτες), η LexiPal, η SMART, και η Zingo αποδεικνύουν την εξέλιξη από απλές προσεγγίσεις βασισμένες σε ανταμοιβές σε πολύπλοκα συστήματα που συνδυάζουν καθορισμό στόχων, σύγκριση προόδου, κοινωνική συνδεσιμότητα, και αφηγηματικά στοιχεία. Οι πιο συχνές στρατηγικές παιχνιδιοποίησης ήταν το διασκέδαση (72%), ανατροφοδότηση επίδοσης (53%) και ενίσχυση (53%) ωστόσο η ανάλυση επισημαίνει περιορισμένη χρήση στρατηγικών κοινωνικής συνδεσιμότητας (μόνο 12% των εφαρμογών), υποδηλώνοντας σημαντικό κενό στην ανάπτυξη εμπειριών συνεργατικού παιχνιδιού. [37].

7.7 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλυτικά Δεδομένα

Συνολική Αποτίμηση Αποτελεσματικότητας

Οι Kokol και συνεργάτες πραγματοποίησαν συστηματική ανασκόπηση 145 πρωτογενών μελετών (30 τυχαιοποιημένες) σε άτομα 2-24 ετών με νευροαναπτυξιακές διαταραχές. Μέσω βιβλιομετρικής χαρτογράφησης VOSviewer απεικόνισαν δώδεκα διαγνωστικές συστάδες, τεκμηριώνοντας ερευνητική πυκνότητα σε τομείς άγχους, αναγνώρισης συναισθήματος και κινητικής αποκατάστασης. Παρά τα ενθαρρυντικά αρχικά ευρήματα, οι συγγραφείς καταλήγουν ότι το συλλογικό επίπεδο τεκμηρίωσης παραμένει ασθενές λόγω ετερογένειας μεθόδων και μικρού αριθμού καλά σχεδιασμένων ΤΕΔ (RCT) [38].

7.8 Συμπεράσματα

Στρατηγικές Κατευθύνσεις και Θεραπευτικό Δυναμικό

Η ανάλυση του τομέα των σοβαρών παιχνιδιών και της παιχνιδιοποίησης αποκαλύπτει ένα σύνθετο τοπίο με σημαντικό θεραπευτικό δυναμικό αλλά και κρίσιμες προκλήσεις που απαιτούν στρατηγική αντιμετώπιση.

Θεραπευτικές Ευκαιρίες και Μηχανισμοί Δράσης

Τα σοβαρά παιχνίδια λειτουργούν ως "μεσολαβητές μάθησης" που αξιοποιούν την εγγενή παρωθητικότητα των παιδιών για τη δημιουργία ασφαλών περιβαλλόντων εξάσκησης. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την εσωτερική κινητοποίηση, μειώνει το άγχος απόδοσης και επιτρέπει επαναλαμβανόμενη εξάσκηση δεξιοτήτων χωρίς φόβο αποτυχίας. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπως το GuessWhat [27] και το Zirkus Empathico [28], η ενσωμάτωση γονεϊκής συμμετοχής ενισχύει τη μεταφορά δεξιοτήτων από το ψηφιακό στο φυσικό περιβάλλον.

Τεχνολογική Σύγκλιση και Καινοτομία

Η σύγκλιση νευροτεχνολογιών (όπως η νευροανάδραση στο Mindlight [29]), φορητών αισθητήρων (PuzzleAction [33]) και τεχνητής νοημοσύνης δημιουργεί νέες δυνατότητες για εξατομικευμένες και αντικειμενικά παρακολουθούμενες παρεμβάσεις. Αυτή η τεχνολογική εξέλιξη επιτρέπει τη μετάβαση από στατικά, μονόδρομα παιχνίδια σε δυναμικά, προσαρμοστικά συστήματα που ανταποκρίνονται στις ατομικές ανάγκες.

Κρίσιμα Κενά και Μεθοδολογικές Προκλήσεις

Παρά το υπάρχον ενθουσιασμό, η ερευνητική βάση παρουσιάζει σημαντικές αδυναμίες. Η πλειονότητα των μελετών (>85% σύμφωνα με την ανασκόπηση των Kokol [38]) είναι πιλοτικές μελέτες με μικρά δείγματα και σύντομη διάρκεια. Η έλλειψη τυποποιημένων μετρήσεων αποτελεσμάτων και η υψηλή ετερογένεια στους σχεδιασμούς περιορίζουν τη δυνατότητα μετα-αναλυτικής σύνθεσης και τη διατύπωση συστάσεων με επιστημονικό υπόβαθρο.

Παράδοξο Αποτελεσματικότητας και Εμπλοκής

Ένα κρίσιμο παράδοξο που αναδεικνύεται είναι η αντίφαση μεταξύ υψηλής αρχικής αποδοχής (89% θετική στάση στο ΔΕΠΥ [34]) και περιορισμένης μακροπρόθεσμης διατήρησης οφελών. Αυτό υποδηλώνει ότι η προκλητικότητα και η νευροπλαστικότητα που προκαλούν τα παιχνίδια μπορεί να είναι βραχύβια, απαιτώντας συνεχή προσαρμογή του περιεχομένου για διατήρηση της αποτελεσματικότητας.

Στρατηγικές Μελλοντικής Ανάπτυξης

1. **Θεωρητική Θεμελίωση:** Ανάγκη ενσωμάτωσης θεωριών αλλαγής συμπεριφοράς και νευροαναπτυξιακών αρχών στον σχεδιασμό παιχνιδιών, αντί της τρέχουσας εμπειρικής προσέγγισης.
2. **Προσωποποίηση και Προσαρμοστικότητα:** Ανάπτυξη βασισμένα στην ΤΝ συστημάτων που προσαρμόζουν δυναμικά τη δυσκολία, το περιεχόμενο και τους μηχανισμούς ενίσχυσης βάσει πραγματικού χρόνου δεδομένων απόδοσης.
3. **Μιγαδικές Παρεμβάσεις:** Αντί μεμονωμένων εφαρμογών, η μελλοντική κατεύθυνση πρέπει να εστιάσει σε ολοκληρωμένα οικοσυστήματα που συνδυάζουν ψηφιακά παιχνίδια, φυσικές δραστηριότητες και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις.
4. **Μετρήσιμα Αποτελέσματα:** Εστίαση σε κλινικά σημαντικούς δείκτες αποτελεσμάτων που μεταφράζονται σε βελτίωση καθημερινής λειτουργικότητας, όχι μόνο σε απόδοση παιχνιδιών.

Συνολικά, τα σοβαρά παιχνίδια αντιπροσωπεύουν μια παραδειγματική μετατόπιση από τις παραδοσιακές "top-down" θεραπευτικές προσεγγίσεις σε "bottom-up" μεθόδους που αξιοποιούν την εγγενή προθετικότητα και μαθησιακή ικανότητα των παιδιών. Ωστόσο, η επιτυχής μετάβασή τους από ερευνητικά εργαλεία σε κλινικά εργαλεία απαιτεί αυστηρότερη μεθοδολογία, μεγαλύτερη θεωρητική βάση και στρατηγική εστίαση στη μακροπρόθεσμη διατήρηση οφελών.

Κεφάλαιο 8: Εικονική και Επαυξημένη Πραγματικότητα (VR/AR)

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τις εφαρμογές της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality - VR) και της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality - AR) στη θεραπεία και εκπαίδευση παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές. Αναλύονται οι καταβυθιστικές αλλά και μη προσεγγίσεις ΕΠΠ για νευροψυχοκινητική αποκατάσταση, την ανάπτυξη κοινωνικών δεξιοτήτων και την προώθηση φυσικής δραστηριότητας. Εξετάζονται επίσης οι ΕΠΠ εφαρμογές για εκπαιδευτικούς σκοπούς και η αποτελεσματικότητα αυτών των τεχνολογιών σε διάφορες αναπτυξιακές διαταραχές, καθώς και οι περιορισμοί και προκλήσεις της κλινικής εφαρμογής τους.

8.1 Εικονική Πραγματικότητα στη Νευροψυχοκινητική Αποκατάσταση

Ημι-καταβυθιστική ΕΠΠ (VR) για Καθολική Αναπτυξιακή Καθυστέρηση

Η ενσωμάτωση της εικονικής πραγματικότητας στην παραδοσιακή αποκατάσταση παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες ενίσχυσης των θεραπευτικών αποτελεσμάτων. Οι Settimo και συνεργάτες διεξήγαγαν τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη πιλοτική μελέτη σε 37 παιδιά ηλικίας 12-66 μηνών με καθολική αναπτυξιακή καθυστέρηση. Η πειραματική ομάδα έλαβε συμβατική θεραπεία συν BTs-Nirvana (ημι-καταβυθιστική ΕΠΠ) για 48 συνεδρίες των 45 λεπτών. Η πειραματική ομάδα παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση στο Γενικό Πηλίο (p=0.02) και στην υποκλίμακα Βάσεων Μάθησης (p<0.01) της κλίμακας Griffiths-III, καθώς και στην Κλινική Γενική Εντύπωση Βελτίωσης (p=0.03). Το ποσοστό συμμόρφωσης ήταν 100% χωρίς ανεπιθύμητες ενέργειες, αποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα της έμμεσης μάθησης μέσω ελκυστικών παιχνιδιών [39].

8.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση

ΕΠΠ (AR) Εφαρμογές για Γλωσσική Μάθηση στον Αυτισμό

Η επαυξημένη πραγματικότητα προσφέρει καινοτόμες δυνατότητες για την εκπαίδευση παιδιών με αυτισμό μέσω της ενσωμάτωσης ψηφιακών στοιχείων στο φυσικό περιβάλλον. Οι Hashim και συνεργάτες ανέπτυξαν την εφαρμογή AReal-Vocab, μια εφαρμογή κινητού επαυξημένης πραγματικότητας για εκμάθηση αγγλικού λεξιλογίου σε 6 παιδιά με ελαφρύ αυτισμό ηλικίας 5-12 ετών. Η εφαρμογή χρησιμοποιεί κάρτες μνήμης που σκανάρονται με κινητό και εμφανίζουν τρισδιάστατες εικόνες και ήχους. Τα ευρήματα από 5 συνεδρίες διάρκειας 30-40 λεπτών έδειξαν ότι η εφαρμογή βοήθησε στην καλλιέργεια αυτό-ρυθμιζόμενης μάθησης στο σπίτι, εκπαίδευση σε ακρόαση και κατανόηση οδηγιών, διατήρηση προσοχής για μεγαλύτερο χρόνο, βελτίωση προφοράς και άρθρωσης, και διατήρηση ενδιαφέροντος για μάθηση λεξιλογίου [40].

8.3 Εικονική Πραγματικότητα για Κοινωνικές Δεξιότητες και Γνωσιακή-Συμπεριφορική Θεραπεία

Μη-φορητή καταβυθιστική VR-CBT για Προσχολικά Παιδιά

Η συνδυαστική χρήση εικονικής πραγματικότητας με γνωσιακή-συμπεριφορική εκπαίδευση αποτελεί προηγμένη θεραπευτική προσέγγιση. Οι Chu και συνεργάτες διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα μιας μη-φορητής καταβυθιστικής θεραπείας ΕΠΠ με ενσωματωμένη Γνωσιακή-Συμπεριφορική Εκπαίδευση (VR-CBT) σε 78 προσχολικά παιδιά με ΔΑΦ IQ > 70. Οι συμμετέχοντες τυχαιοποιήθηκαν σε VR-CBT + LSP ή LSP

μόνο για 40 συνεδρίες/20 εβδομάδες. Το συνδυαστικό σχήμα μείωσε σημαντικά τη συνολική βαθμολογία ABC [Antecedent-Behavior-Consequence](κατά 5,5 μονάδες ($P<.001$) και τη CARS κατά 1,4 μονάδες ($P=.02$), με ειδικές βελτιώσεις σε αισθητηριακή επεξεργασία, σχέση, χρήση αντικειμένων και αυτοϋπηρέτηση. Η ακρίβεια στη δοκιμασία ικανότητας αναστολής παρορμήσεων (go/no-go) αυξήθηκε (+2,9%, $P=.04$), υποδηλώνοντας ενίσχυση αναστολής αντίδρασης. Η ολοκλήρωση έφθασε το 81% χωρίς αναφερόμενες ανεπιθύμητες ενέργειες [41].

8.4 Εικονική Πραγματικότητα για Φυσική Δραστηριότητα και Κινητικές Δεξιότητες

VR-Exergaming σε Σχολικό Περιβάλλον

Εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας για την προώθηση φυσικής δραστηριότητας σε εφήβους με αναπτυξιακές διαταραχές παρουσιάζει ενδιαφέρουσες προοπτικές αλλά και προκλήσεις υλοποίησης. Οι Lai και συνεργάτες διερεύνησαν τη βιωσιμότητα ενός προγράμματος ΕΠΠ για φυσική δραστηριότητα σε περιβάλλον λυκείου για 9 εφήβους (μ. ηλικία = 17 έτη) με κινητικές ή/και νευροαναπτυξιακές διαταραχές. Οι μαθητές άσκησαν τρεις συνεδρίες εβδομαδιαίως, διάρκειας 25 λεπτών, επί έξι εβδομάδες, επιτυγχάνοντας μέση ένταση Borg (υποκειμενική εκτίμηση της δύσπνοιας κατά την διάρκεια δοκιμασιών άσκησης) 4,3. Η προσέλευση ήταν 83% όταν η άσκηση γινόταν υπό επίβλεψη στο σχολείο, αλλά μόλις 27% όταν οι μαθητές ακολούθησαν αυτόνομο πρόγραμμα κατ' οίκον, αναδεικνύοντας την ανάγκη εποπτευόμενης εφαρμογής. Ο μέσος εβδομαδιαίος χρόνος άσκησης ανήλθε σε 35,5 λεπτά ($\approx 47\%$ του προτεινόμενου) [42].

8.5 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλυτικά Δεδομένα

8.5.1 Ανασκοπήσεις Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η συνολική αποτίμηση των επαυξημένης πραγματικότητας παρεμβάσεων παρέχει σημαντικές γνώσεις για την αποτελεσματικότητα και τις εφαρμογές της τεχνολογίας. Οι Doulah και συνεργάτες διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση 25 μελετών που εξέτασαν την αποτελεσματικότητα παρεμβάσεων ΕΠΠ σε παιδιά με ΔΑΦ (2010-2022). Τα κύρια ευρήματα έδειξαν ότι οι ΕΠΠ παρεμβάσεις ήταν πιο αποτελεσματικές στη βελτίωση κοινωνικών δεξιοτήτων (8/25 μελέτες), ακολουθούμενες από μαθησιακές, συμπεριφορικές και δεξιότητες καθημερινής ζωής. Συγκεκριμένα, 18 από τις 25 μελέτες τεκμηρίωσαν σημαντικές βελτιώσεις στην κοινωνικό-συναισθηματική αμοιβαιότητα και συναισθηματική νοημοσύνη. Οι τεχνολογίες περιλάμβαναν εφαρμογές κινητών τηλεφώνων, συστήματα με τάμπλετ, έξυπνα γυαλιά και εφαρμογές ΕΠΠ βασισμένες σε δείκτες. Βασικοί περιορισμοί αφορούν τα μικρά δείγματα (14/25 μελέτες με <10

συμμετέχοντες), την έλλειψη ομάδων ελέγχου και την ανομοιογένεια στις μεθόδους αξιολόγησης [43].

8.5.2 Ανασκοπήσεις Εικονικής Πραγματικότητας

Οι Yang και συνεργάτες διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση 14 μελετών με 279 συμμετέχοντες ηλικίας 3-18 ετών για την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων ΕΠΠ στη βελτίωση κοινωνικών δεξιοτήτων παιδιών με ΔΑΦ. Χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα PEDro (Εργαλείο αξιολόγησης της μεθοδολογικής ποιότητας κλινικών δοκιμών) (μέσος όρος 5.21/10). Τα κύρια ευρήματα έδειξαν ότι οι παρεμβάσεις ΕΠΠ είχαν θετικές επιδράσεις στις κοινωνικές δεξιότητες, με σημαντικά μεγαλύτερα οφέλη για παιδιά με Αυτισμό Υψηλής Λειτουργικότητας (HFA) έναντι Αυτισμού Χαμηλής Λειτουργικότητας (LFA). Η καταβυθιστική ΕΠΠ αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική για την εκπαίδευση σύνθετων κοινωνικών δεξιοτήτων, ειδικά στα παιδιά με HFA, ενώ το η μη-καταβυθιστική ΕΠΠ προσέφερε μεγαλύτερη ευελιξία και οικονομικότητα για βασικές δεξιότητες. Η διάρκεια και συχνότητα των παρεμβάσεων επηρέαζαν σημαντικά την αποτελεσματικότητα, με τα βέλτιστα αποτελέσματα να επιτυγχάνονται με 6-15 εβδομάδες και 2-3 συνεδρίες εβδομαδιαίως [44].

Ανεπιθύμητες Ενέργειες και Περιορισμοί

Η ανασκόπηση των Yang και συνεργατών αναφέρει ανεπιθύμητες ενέργειες όπως ζάλη, κόπωση ματιών και αισθητηριακή υπερφόρτωση, κυρίως καταβυθιστική ΕΠΠ. Παρά τα θετικά αποτελέσματα, η ετερογένεια των πρωτοκόλλων παρέμβασης, τα μικρά δείγματα και η έλλειψη τυποποίησης περιορίζουν την γενικευσιμότητα των ευρημάτων [44].

Το Παράδοξο της Εμβύθισης και η Μελλοντική Εξέλιξη

Η εξέταση των τεχνολογιών Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας αποκαλύπτει ένα σύνθετο τοπίο τεχνολογικής καινοτομίας με υψηλό θεραπευτικό δυναμικό, αλλά και αντιφάσεις που χρήζουν στρατηγικής αντιμετώπισης.

Το Φάσμα της Εμβύθισης και η Εξατομικευμένη Αποτελεσματικότητα

Αναδεικνύεται ένα κρίσιμο "φάσμα εμβύθισης" όπου διαφορετικά επίπεδα immersion προσφέρουν διακριτά οφέλη ανάλογα με τις ατομικές ανάγκες. Η καταβυθιστική ΕΠΠ αποδεικνύεται βέλτιστη για παιδιά με υψηλής λειτουργικότητας αυτισμό για την εκμάθηση σύνθετων κοινωνικών δεξιοτήτων [44], ενώ το BTs-Nirvana επιτυγχάνει 100% συμμόρφωση σε παιδιά με καθολική αναπτυξιακή καθυστέρηση [39]. Αντίθετα, η επαυξημένη πραγματικότητα, που διατηρεί τη σύνδεση με το φυσικό περιβάλλον, φαίνεται ιδανική για εκπαιδευτικές εφαρμογές όπως η γλωσσική μάθηση [40].

Νευροπλαστικότητα και Μηχανισμοί Βαθιάς Μάθησης

Οι VR/AR τεχνολογίες λειτουργούν ως "νευροπλαστικοί καταλύτες" που αξιοποιούν την ικανότητα του εγκεφάλου για προσαρμογή μέσω ελεγχόμενης αισθητηριακής εμπειρίας. Η VR-CBT παρέμβαση των Chu και συνεργατών [41] που βελτίωσε την αναστολή αντίδρασης (+2,9% στο go/no-go task) υποδηλώνει άμεση επίδραση στις εκτελεστικές λειτουργίες, ενώ η σημαντική μείωση των ABC και CARS scores υποδεικνύει ευρύτερη νευροαναπτυξιακή αναδιοργάνωση.

Το Παράδοξο της Αυτονομίας και Εποπτείας

Ένα κρίσιμο εύρημα είναι η δραματική διαφορά στη συμμόρφωση μεταξύ εποπτευόμενων (83%) και αυτόνομων (27%) παρεμβάσεων [42]. Αυτό υποδηλώνει ότι παρά την τεχνολογική αυτονομία που παρέχουν αυτά τα συστήματα, η ανθρώπινη καθοδήγηση παραμένει αναντικατάστατη για τη διατήρηση εμπλοκής και την επίτευξη θεραπευτικών στόχων.

Αισθητηριακά Όρια και Προσαρμοστικότητα

Η αναφορά ανεπιθύμητων ενεργειών όπως ζάλη, κόπωση ματιών και αισθητηριακή υπερφόρτωση [44] αναδεικνύει την ανάγκη για "αισθητηριακά προσαρμοστικά" συστήματα που μπορούν να τροποποιούν δυναμικά την ένταση και τη διάρκεια της εμπειρίας βάσει πραγματικού χρόνου βιοδεικτών.

Μεθοδολογική Ανωριμότητα και Τεχνολογική Προπορεία

Παρά την τεχνολογική εξέλιξη, το μεθοδολογικό τοπίο παρουσιάζει σημαντικές ελλείψεις. Η χαμηλή μέση βαθμολογία PEDro (5.21/10) [44] και η επικράτηση μικρών δειγμάτων (14/25 μελέτες με <10 συμμετέχοντες στην AR ανασκόπηση [43]) υποδηλώνουν ότι η τεχνολογική καινοτομία προηγείται της ερευνητικής αυστηρότητας.

Στρατηγικές Μελλοντικής Ανάπτυξης

1. **Προσαρμοστική Αρχιτεκτονική:** Ανάπτυξη συστημάτων βασισμένα στην ΤΝ που προσαρμόζουν αυτόματα το επίπεδο εμπύθισης, την αισθητηριακή ένταση και τη διάρκεια βάσει φυσιολογικών και συμπεριφορικών δεικτών.
2. **Υβριδικά Μοντέλα Πραγματικότητας:** Ανάπτυξη "Mixed Reality" εμπειριών που συνδυάζουν ΕΠΠ, ΕΠΠ και φυσικά στοιχεία για μέγιστη μεταφορά δεξιοτήτων στο πραγματικό περιβάλλον.
3. **Παρακολούθηση εγκεφάλου σε πραγματικό χρόνο :** Ενσωμάτωση EEG, GSR και άλλων βιοαισθητήρων για σύγχρονη παρακολούθηση νευρικής δραστηριότητας και προσαρμογή της εμπειρίας.

4. **Κοινωνικές Πλατφόρμες:** Ανάπτυξη περιβαλλόντων για συνεργατική συμμετοχή που επιτρέπουν ασφαλείς κοινωνικές αλληλεπιδράσεις με άλλα παιδιά και θεραπευτές.

Συνολικά, οι τεχνολογίες ΕΠΠ και ΕΠΠ αντιπροσωπεύουν μια παραδειγματική μετατόπιση από τις "εξωτερικές" προς τις "εσωτερικές" θεραπευτικές παρεμβάσεις, δημιουργώντας ελεγχόμενα περιβάλλοντα όπου τα παιδιά μπορούν να εξασκήσουν δεξιότητες χωρίς τους περιορισμούς και το άγχος του πραγματικού κόσμου. Ωστόσο, η επιτυχής μετάβαση από τα ερευνητικά εργαστήρια στην κλινική πράξη απαιτεί την ανάπτυξη αυστηρότερων μεθοδολογικών προτύπων, την κατανόηση των βιολογικών μηχανισμών δράσης και τη δημιουργία βιώσιμων μοντέλων υλοποίησης που ισορροπούν μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και κλινικής πραγματικότητας.

Κεφάλαιο 9: Ρομποτική και Διαδραστικές Τεχνολογίες

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει την εφαρμογή κοινωνικών ρομπότ στη θεραπεία και εκπαίδευση παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές. Αναλύονται τα ρομπότ που λειτουργούν ως συν-θεραπευτές, οι εκπαιδευτικές ρομποτικές πλατφόρμες, και οι μεθοδολογίες ανθρωποκεντρικής σχεδίασης για την ανάπτυξη εξατομικευμένων ρομποτικών παρεμβάσεων. Εξετάζονται επίσης οι τεχνικές προδιαγραφές και περιορισμοί των διαθέσιμων ρομποτικών πλατφορμών, η αποτελεσματικότητα διαφορετικών τύπων ρομποτικών παρεμβάσεων, και οι προκλήσεις υλοποίησης στην κλινική πράξη.

9.1 Κοινωνικά Υποστηρικτικά Ρομπότ και Σοβαρά Παιχνίδια

Η συνδυαστική χρήση κοινωνικών ρομπότ με προβολικές τεχνολογίες δημιουργεί νέες δυνατότητες για διαδραστικές θεραπευτικές εμπειρίες. Οι Panceri και συνεργάτες παρουσιάζουν το MARIA T21, ένα καινοτόμο socially assistive robot με ενσωματωμένο προβολέα με δυνατότητα τα παιδιά με ΔΑΦ και σύνδρομο Down να παίζουν σοβαρά παιχνίδια σε δάπεδα ή τραπέζια. Το ρομπότ διαθέτει ρυθμιζόμενο ύψος (1.10-1.40m), επίστρωση αφής, δυνατότητα έκφρασης συναισθημάτων και φωνητικές εντολές. Σε μελέτη με 8 παιδιά (6 με ΔΑΦ, 1 με DS, 1 τυπικής ανάπτυξης, ηλικίας 4-9 ετών), τα αποτελέσματα με τη χρήση Goal Attainment Scale έδειξαν ότι τα παιδιά με ΔΑΦ είχαν επίδοση σημαντικά πάνω από τις προσδοκίες ($T=77.09$), επιδεικνύοντας θετικές αλληλεπιδράσεις

συμπεριλαμβανομένης της οπτικής επαφής, φυσικής επαφής και λεκτικής επικοινωνίας [45].

9.2 Ασφάλεια και Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός

9.2.1 Ευπροσάρμοστη Ρομποτική Αρχιτεκτονική

Η ασφάλεια στην αλληλεπίδραση παιδιού-ρομπότ αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού. Οι Casas-Bocanegra και συνεργάτες ανέπτυξαν το ρομπότ CASTOR (CompliAnt Soft Robotics), ένα κοινωνικό ρομπότ βασισμένο σε ευπροσάρμοστους μηχανισμούς (Series Elastic Actuators) που επιτρέπουν ασφαλή φυσική αλληλεπίδραση. Το ρομπότ διαθέτει 14 βαθμούς ελευθερίας, δυνατότητες έκφρασης συναισθημάτων και αισθητήρες αφής. Η μηχανική δοκιμή έδειξε ότι οι εύελικτες διαμορφώσεις άντεξαν καλύτερα από τις άκαμπτες σε συνθήκες μπλοκαρίσματος. Σε μελέτη περίπτωσης με τρία παιδιά (6.66 ± 2.49 ετών), το ρομπότ άντεξε ασφαλώς σε όλες τις φυσικές αλληλεπιδράσεις χωρίς βλάβη ή κίνδυνο [46].

9.2.2 Συστηματική Μεθοδολογία Σχεδιασμού

Οι Cano και συνεργάτες ανέπτυξαν συστηματική μεθοδολογία σχεδιασμού κοινωνικών ρομπότ για τη βελτίωση συναισθηματικής επικοινωνίας παιδιών με ΔΑΦ. Η μελέτη εφάρμοσε ανθρωποκεντρική προσέγγιση με πέντε στάδια: ανάλυση χρηστών, ηθικούς προβληματισμούς, σχεδιαστικές πτυχές, ιδέες σχεδιασμού και πρωτότυπα. Συλλέχθηκαν δεδομένα από 43 συμμετέχοντες (γονείς, θεραπευτές, ειδικούς) στη Χιλή και Κολομβία. Τα αποτελέσματα έδειξαν προτίμηση για ανθρωπομορφικά ρομπότ παιδικής εμφάνισης με δυνατότητες έκφρασης βασικών συναισθημάτων μέσω προσώπου, χεριών και φωνής. Το τελικό πρωτότυπο αξιολογήθηκε θετικά από εμπειρογνώμονες (UEQ scores: attractiveness=1.652, stimulation=2.023) [47].

9.2.3 Εξελικτική Ανάπτυξη

Οι Wood και συνεργάτες παρουσιάζουν την 15ετή εξελικτική πορεία ανάπτυξης του ανθρωπομορφικού ρομπότ Kaspar για παιδιά με ΔΑΦ. Η μελέτη τεκμηριώνει την τεχνολογική πρόοδο από την πρώτη έκδοση (K1, 2005) έως την τελευταία (K5.5, 2016), επεξηγώντας πώς κάθε γενιά βελτιώθηκε βάσει απαιτήσεων χρηστών, τεχνολογικών εξελίξεων και πρακτικής εμπειρίας. Το τελικό σύστημα διαθέτει 22 βαθμούς ελευθερίας, 15 αισθητήρες αφής, προηγμένες δυνατότητες επικοινωνίας και ημι-αυτόνομη αρχιτεκτονική Sense-Think-Act για παιχνίδια οπτικής προοπτικής. Δοκιμάστηκε επιτυχώς με πάνω από 300 παιδιά σε διάφορα περιβάλλοντα, με κόστος παραγωγής <£1600 [48].

9.3 Ρομπότ ως Συν-θεραπευτές

Ρομποτικά-Υποβοηθούμενη Ψυχοκοινωνική Παρέμβαση

Οι Holeva και συνεργάτες διεξήγαγαν τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη σε 51 παιδιά με ΔΑΦ ηλικίας 6-12 ετών για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ρομποτικά-υποβοηθούμενης ψυχοκοινωνικής παρέμβασης. Η πειραματική ομάδα (n=25) έλαβε παρέμβαση με το ανθρωποειδές ρομπότ NAO ως συν-θεραπευτή, ενώ η ομάδα ελέγχου (n=26) έλαβε την ίδια παρέμβαση μόνο από ανθρώπινο θεραπευτή. Το πρωτόκολλο περιλάμβανε 21 συνεδρίες βασισμένες σε αρχές ToM, ABA και CBT. Και οι δύο ομάδες εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις στα βασικά συμπτώματα αυτισμού (CARS-2), την κοινωνική αντίληψη (NEPSY-II AF: $F(1,36)=28.87$, $p<0.01$) και τις εκτελεστικές λειτουργίες. Η ομάδα ρομπότ εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση στην προκοινωνική συμπεριφορά (SDQ: $F(1,39)=3.05$, $p<0.05$) και υψηλότερα επίπεδα ικανοποίησης [49].

Ενίσχυση Θεραπείας Καθοριστικής Ανταπόκρισης

Οι van den Berk-Smeekens και συνεργάτες διεξήγαγαν τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη σε 73 παιδιά με ΔΑΦ ηλικίας 3-8 ετών για την αξιολόγηση της θεραπείας καθοριστικής ανταπόκρισης (PRT) με και χωρίς ρομποτική υποστήριξη. Οι συμμετέχοντες τυχαιοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες: PRT (n=25), PRT με ρομπότ NAO (n=25), και θεραπεία ως συνήθως (TAU, n=23). Παρότι δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές άμεσα μετά τη θεραπεία, στην 3μηνη παρακολούθηση η ομάδα PRT+robot εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερες βελτιώσεις στις κοινωνικο-επικοινωνιακές δεξιότητες ($F(2,68)=6.67$, $p=0.002$) και υψηλότερα ποσοστά κλινικών ανταποκριτών (50% vs 12% vs 20%). Επιπλέον, περισσότερα παιδιά στην ομάδα PRT+robot εμφάνισαν μείωση στη σοβαρότητα των συμπτωμάτων αυτισμού (ADOS-2: 63.6% vs 13.6%) [50].

9.4 Εξατομικευμένες Παρεμβάσεις και Προσαρμοστικότητα

Διαφοροποίηση Ενισχυτικών Ερεθισμάτων

Οι Ali και συνεργάτες διεξήγαγαν πειραματική μελέτη για τη σύγκριση αποτελεσματικότητας τριών διαφορετικών ενισχυτικών ερεθισμάτων σε ρομποτική θεραπεία. Δώδεκα παιδιά (4 με ήπιο και 8 με ελάχιστο αυτισμό) συμμετείχαν σε θεραπεία με το ρομπότ NAO για 2 μήνες (8 συνεδρίες). Τα ερεθίσματα περιλάμβαναν οπτικά (αλλαγή χρώματος ματιών), ακουστικά (χαιρετισμοί) και κινητικά σήματα (κινήσεις). Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p=0.0342$, $F=3.7456$) μεταξύ των ερεθισμάτων. Όλα τα παιδιά με ελάχιστο αυτισμό (100%) ανταποκρίθηκαν καλύτερα στα οπτικά ερεθίσματα, ενώ το 75% των παιδιών με ήπιο αυτισμό προτίμησαν τα κινητικά ερεθίσματα [51].

Εκπαίδευση Επικοινωνιακών Χειρονομιών

Οι Annunziata και συνεργάτες παρουσίασαν το IOGIOCO, ένα πρωτόκολλο εκπαίδευσης 17 επικοινωνιακών χειρονομιών σε προσχολικά παιδιά με ΔΑΦ μέσω τριαδικής αλληλεπίδρασης ρομπότ NAO-παιδιού-θεραπευτή. Σε 14 εβδομάδες (μία συνάντηση 20-30 λεπτών εβδομαδιαίως) τα παιδιά προχώρησαν από εξοικείωση (mirroring) σε επίπεδα διδασκαλίας και γενίκευσης χειρονομιών. Από τα 10 παιδιά, 4 κατέκτησαν τα επίπεδα εκπαίδευσης και εμφάνισαν βελτίωση στον κοινωνικό τομέα του ABAS-II ($\beta = -5,53$) και τάση ανόδου στην κλίμακα επικοινωνίας Griffiths-III έως 6 μήνες σε επανεξέταση. Η συμμόρφωση ήταν υψηλή (81%) χωρίς εγκαταλείψεις λόγω άρνησης [52].

9.5 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Μετα-αναλύσεις

Προγραμματισμός Ρομπότ από Παιδιά

Οι Pivetti και συνεργάτες διεξήγαγαν συστηματική ανασκόπηση 15 μελετών που εξέταζαν την εκπαιδευτική ρομποτική για παιδιά με νευροαναπτυξιακές διαταραχές (ΔΑΦ, ΕΠ, ΣΔ, ΔΑΔ). Η μεθοδολογία απαιτούσε προγραμματισμό ρομπότ από τα παιδιά. Τα κύρια ευρήματα έδειξαν ότι η πλειονότητα των μελετών (9/13) ανέφερε βελτίωση στους μαθησιακούς στόχους, ιδιαίτερα στις γνωστικές διαστάσεις (14/15 μελέτες), ενώ 9/11 μελέτες έδειξαν αυξημένη αλληλεπίδραση χρήστη και 6/7 βελτιωμένη κοινωνική αλληλεπίδραση. Οι πιο δημοφιλείς τεχνολογίες ήταν τα Lego Mindstorms (6 μελέτες) και NAO robots (3 μελέτες). Ωστόσο, οι μεθοδολογικοί περιορισμοί (μικρά δείγματα 1-18 παιδιά, έλλειψη ομάδων ελέγχου, βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις) περιορίζουν την αξιοπιστία των συμπερασμάτων [53].

Οι Raptouroulou και συνεργάτες πραγματοποίησαν συστηματική ανασκόπηση 32 μελετών από το σύνολο των 1805 αρχικά εντοπισμένων άρθρων (2010-2018) που εξέτασαν τη χρήση ρομπότ για κοινωνικές δεξιότητες σε παιδιά με ΔΑΦ. Τα κύρια ευρήματα δείχνουν ότι το 78% των μελετών χρησιμοποίησε ανθρωπόμορφο ρομπότ, με το NAO να κυριαρχεί (53% των μελετών). Οι στοχευόμενες δεξιότητες εστίαζαν κυρίως στην προσοχή ($N=17$), συνεργασία ($N=13$) και μίμηση ($N=13$) για τις κοινωνικές δεξιότητες, και στη λεκτική επικοινωνία ($N=9$) για τις επικοινωνιακές. Ωστόσο, αποκαλύφθηκαν σημαντικοί μεθοδολογικοί περιορισμοί: το 64% των μελετών είχε μικρό δείγμα (<12 συμμετέχοντες), το 56% δεν περιλάμβανε ομάδα ελέγχου με τυπικά αναπτυσσόμενα παιδιά, και το 50% πραγματοποίησε μόλις 1-4 συνεδρίες [54].

Πρώτη Μετα-ανάλυση Κοινωνικών Ρομπότ

Οι Kouroupa και συνεργάτες πραγματοποίησαν τη πρώτη συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση για τη χρήση κοινωνικών ρομπότ σε παιδιά με ΔΑΦ. Αναλύθηκαν 40 μελέτες με 346 συμμετέχοντες ηλικίας 2-18 ετών, εξετάζοντας κυρίως ανθρωπόμορφων

ρομπότ (67%, με το NAO να κυριαρχεί). Η μετα-ανάλυση 12 τυχαιοποιημένων μελετών έδειξε στατιστικά σημαντική βελτίωση στις κοινωνικές δεξιότητες ($g=0.35$, 95%CI 0.09-0.61), ενώ τα συναισθηματικά και κινητικά αποτελέσματα δεν ήταν σημαντικά. Η ηλικία αποτέλεσε σημαντικό συντελεστή (μεγαλύτερα οφέλη σε νεότερα παιδιά), ενώ οι παρεμβάσεις ήταν πιο αποτελεσματικές σε κλινικό περιβάλλον σε σχέση με σπίτι ή σχολείο [55].

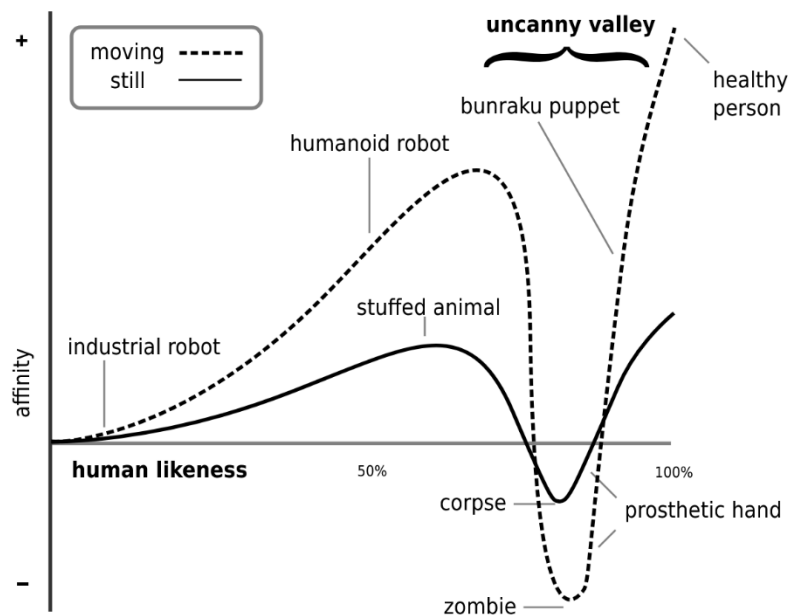
Τεχνική Ανάλυση Ρομποτικών Πλατφορμών

Οι Puglisi και συνεργάτες πραγματοποίησαν την πρώτη ολοκληρωμένη τεχνική ανάλυση και σύγκριση των κυριότερων εμπορικών ανθρωπόμορφων ρομπότ για θεραπεία παιδιών με ΔΑΦ. Η μελέτη εξέτασε πέντε ρομπότ (NAO, QTrobot, KASPAR, FACE, ZENO) αναλύοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά, την κλινική επαλήθευση και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα. Το NAO αναδεικνύεται ως το πιο κλινικά επαληθευμένο με εκτεταμένη κινητικότητα (25 DoF) αλλά περιορισμένες συναισθηματικές εκφράσεις, ενώ το QTrobot υπερέχει στην εκφραστικότητα μέσω ψηφιακής οθόνης αλλά είναι στατικό. Το KASPAR προσφέρει απλοποιημένες αλληλεπιδράσεις με αισθητήρες επαφής, το FACE εστιάζει στις ρεαλιστικές συναισθηματικές εκφράσεις χωρίς κινητικότητα, και το ZENO συνδυάζει κινητικότητα με εκφράσεις αλλά με περιορισμένη κλινική επαλήθευση [56].

Η Ισορροπία Μεταξύ Τεχνολογικής Καινοτομίας και Κλινικής Πραγματικότητας

Η ανάλυση του τομέα της κοινωνικής ρομποτικής αποκαλύπτει ένα συναρπαστικό αλλά σύνθετο τοπίο όπου η τεχνολογική καινοτομία συναντά τις πραγματικές ανάγκες των παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές. Αναδεικνύονται κρίσιμες τάσεις και παράδοξα που χρήζουν στρατηγικής προσέγγισης.

Το "Therapeutic Uncanny Valley" των Κοινωνικών Ρομπότ



Εικόνα 3: Εικόνα από Wikipedia σχετική με το φαινόμενο https://en.wikipedia.org/wiki/Uncanny_valley

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω γράφημα αναδεικνύεται ένα φαινόμενο που ονομάζεται Therapeutic Uncanny Valley όπου τα πιο σύγχρονα και ανθρωπομορφικά ρομπότ δεν αποφέρουν αναλογικά καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα και τα προβλήματα που δημιουργούν είναι μειωμένη εμπιστοσύνη στην θεραπεία, αυξημένο άγχος κατά την χρήση της τεχνολογίας, μειωμένη αποδοχή καθώς αντίσταση στην αποδοχή της θεραπείας. Το KASPAR, παρά την απλοποιημένη εμφάνισή του, έχει δοκιμαστεί επιτυχώς με >300 παιδιά [28], ενώ τα τεχνολογικά προηγμένα ρομπότ όπως το ZENO έχουν περιορισμένη κλινική επαλήθευση [56]. Αυτό υποδηλώνει ότι η θεραπευτική αποτελεσματικότητα δεν συνδέεται γραμμικά με την τεχνολογική πολυπλοκότητα.

Εξατομίκευση βάσει Βαρύτητας Συμπτωμάτων

Η έρευνα των Ali και συνεργατών [51] αποκαλύπτει ότι παιδιά με ελάχιστο αυτισμό (100%) ανταποκρίνονται καλύτερα σε οπτικά ερεθίσματα, ενώ το 75% των παιδιών με ήπιο αυτισμό προτιμούν κινητικά ερεθίσματα. Αυτή η διαφοροποίηση υποδηλώνει την ανάγκη για "προσαρμοστικούς ρομποτικούς φαινοτύπους" που μπορούν να τροποποιούν δυναμικά τις αλληλεπιδραστικές τους στρατηγικές βάσει του επιπέδου λειτουργικότητας κάθε παιδιού.

Το Παράδοξο της Άμεσης vs Μακροπρόθεσμης Αποτελεσματικότητας

Ένα κρίσιμο εύρημα είναι το χρονικό παράδοξο που αναδεικνύεται στη μελέτη των van den Berk-Smeekens [50]: ενώ δεν παρατηρήθηκαν άμεσες διαφορές μετά τη θεραπεία, στην 3μηνη παρακολούθηση η ομάδα PRT+robot εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερες βελτιώσεις (50% vs 12% κλινικοί ανταποκριτές). Αυτό υποδηλώνει ότι τα ρομπότ μπορεί να λειτουργούν ως "καταλύτες καθυστερημένης μάθησης" που επιταχύνουν τη γενίκευση δεξιοτήτων στο φυσικό περιβάλλον.

Τεχνολογική Ωριμότητα vs Κλινική Επαλήθευση

Η τεχνική ανάλυση των Puglisi [56] αποκαλύπτει ότι κανένα ρομπότ δεν ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις, δημιουργώντας ένα "τεχνολογικό δίλημμα": το NAO είναι το πιο κλινικά επαληθευμένο αλλά με περιορισμένες εκφραστικές δυνατότητες, ενώ νεότερα ρομπότ όπως το QTrobot προσφέρουν ανώτερη εκφραστικότητα αλλά περιορισμένη κλινική τεκμηρίωση.

Μεθοδολογική Ανωριμότητα του Πεδίου

Παρά τον ενθουσιασμό, η μετα-ανάλυση των Kouroupa [55] με μόλις $g=0.35$ για κοινωνικές δεξιότητες και η παρατήρηση ότι 64% των μελετών έχουν <12 συμμετέχοντες [74] υποδηλώνουν ότι το πεδίο παραμένει σε "παιδική ηλικία" από μεθοδολογική άποψη. Η κυριαρχία του NAO (53% των μελετών) δημιουργεί επίσης ερωτήματα για τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων σε άλλες ρομποτικές πλατφόρμες.

Στρατηγικές Μελλοντικής Ανάπτυξης

1. **Θεραπευτική Φαινοτυπική Ανάλυση** : Ανάπτυξη προσαρμοστικών ρομπότ που μπορούν να αλλάζουν αυτόματα τις αλληλεπιδρακτικές τους στρατηγικές βάσει σύγχρονης αξιολόγησης του επιπέδου λειτουργικότητας και των προτιμήσεων κάθε παιδιού βάσει της αλληλεπίδρασης του.
2. **Μοντέλα Καταλυτικής Καθυστερημένης Μάθησης** : Ερευνητική εστίαση στη κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων τα ρομπότ διευκολύνουν τη μακροπρόθεσμη γενίκευση δεξιοτήτων, αντί της απλής άμεσης βελτίωσης απόδοσης.
3. **Βιώσιμα Θεραπευτικά ρομπότ** : Ανάπτυξη ρομποτικών πλατφορμών που εστιάζουν στην κλινική αποτελεσματικότητα αντί της τεχνολογικής πολυπλοκότητας, βασισμένων στη φιλοσοφία "less is more".
4. **Αρχιτεκτονικές Κατανεμημένης Νοημοσύνης** : Αντί της συγκέντρωσης όλων των δυνατοτήτων σε ένα ρομπότ, ανάπτυξη συστημάτων που συνδυάζουν απλά ρομπότ με τεχνολογίες έξυπνου περιβάλλοντος για χαμηλότερο κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία.

5. **Σχεδιασμός με επιστημονική τεκμηρίωση:** Εστίαση στη συστηματική κλινική επαλήθευση νέων ρομποτικών χαρακτηριστικών πριν την τεχνολογική τους υλοποίηση, αντιστρέφοντας την τρέχουσα τάση τεχνολογικής προώθησης

Οικονομική Βιωσιμότητα και Βιώσιμη Εφαρμογή

Η επισήμανση του κόστους <£1600 για το KASPAR [48] αναδεικνύει την ανάγκη για οικονομικά βιώσιμα μοντέλα. Η μελλοντική επιτυχία της κοινωνικής ρομποτικής εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνολογική καινοτομία αλλά και από την ανάπτυξη μοντέλων βιώσιμης εφαρμογής που μπορούν να υιοθετηθούν ευρέως από κλινικά και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Συνολικά, η ρομποτική στον τομέα των αναπτυξιακών διαταραχών που συνδράμουν και στην πρόωπη παρέμβαση βρίσκεται σε μια κρίσιμη καμπή όπου η τεχνολογική ωριμότητα αρχίζει να συναντά την κλινική πραγματικότητα. Η επιτυχία της μετάβασης από τα ερευνητικά εργαστήρια στην καθημερινή θεραπευτική πράξη θα εξαρτηθεί από την ικανότητα του πεδίου να ισορροπήσει μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και κλινικής χρησιμότητας, εστιάζοντας στην ανάπτυξη λύσεων που είναι ταυτόχρονα αποτελεσματικές, προσβάσιμες και βιώσιμες.

Κεφάλαιο 10: Φορετές Τεχνολογίες και Συστήματα Συνεχούς Παρακολούθησης

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει την εφαρμογή φορετών τεχνολογιών και συστημάτων Internet of Things (IoT) στην παρακολούθηση, διάγνωση και θεραπεία παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές. Αναλύονται οι βιοαισθητήρες για συναισθηματική ρύθμιση και στρες, οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI), τα συστήματα παρακολούθησης ύπνου και αναπνοής, οι αισθητήρες κίνησης για πρόωπη ανίχνευση, και τα εξωσκελετά για αποκατάσταση. Εξετάζονται επίσης οι προκλήσεις συμμόρφωσης, τα ρυθμιστικά ζητήματα, και οι δυνατότητες real-time παρεμβάσεων μέσω ευφών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

10.1 Βιοαισθητήρες για Συναισθηματική Ρύθμιση και Στρες

Φορητοί Αισθητήρες Καρδιακού Ρυθμού για Υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο

Η ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης και παρέμβασης για τη διαχείριση προκλητικών συμπεριφορών αποτελεί κρίσιμη καινοτομία. Οι Palermo και συνεργάτες παρουσιάζουν το πρωτόκολλο της πιλοτικής τυχαιοποιημένης ελεγχόμενης μελέτης KeepCalm, που συνδυάζει φορητούς αισθητήρες παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού με εφαρμογή κινητού τηλεφώνου για υποστήριξη εκπαιδευτικών στη διαχείριση προκλητικών συμπεριφορών παιδιών με ΔΑΦ. Η μελέτη θα περιλάβει 20 εκπαιδευτικές ομάδες (δάσκαλοι-γονείς-παιδιά) σε σχεδιασμό αναμονής ελέγχου για 3 μήνες. Η εφαρμογή παρέχει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο όταν το παιδί εμφανίζει φυσιολογικά σημάδια στρες (αύξηση καρδιακού ρυθμού $>22\%$) και προτείνει εξατομικευμένες στρατηγικές ρύθμισης συναισθημάτων [57].

Έξυπνα Γυαλιά για Αναγνώριση Συναισθημάτων

Η τεχνολογία αναγνώρισης συναισθημάτων μέσω φορητών συσκευών προσφέρει νέες δυνατότητες κοινωνικής υποστήριξης. Οι Levy και συνεργάτες ανέπτυξαν τον CIT-FER, ένα ζεύγος "έξυπνων" γυαλιών που αναλύει σε πραγματικό χρόνο εκφράσεις προσώπου μέσω συνελεκτικού νευρωνικού δικτύου (CNN) και μεταφράζει τα ανιχνευθέντα συναισθήματα σε συνδυασμό χρώματος και δονήσεων στους κροτάφους. Δέκα ενήλικες με ΔΑΦ (20-40 ετών) ολοκλήρωσαν τρεις φάσεις εκμάθησης με συνολικό χρόνο 19 ± 6 λεπτά. Σε δοκιμασία αναγνώρισης πέντε αρνητικών συναισθημάτων, οι συμμετέχοντες χωρίς το σύστημα δυσκολεύθηκαν να εκτιμήσουν την ένταση (46% σωστά, 73s), ενώ με το CIT-FER πέτυχαν 100% ακρίβεια και ταχύτερη απόκριση 47s ($p = 0,02$) [58]. Παρόλο που η συγκεκριμένη εφαρμογή εξετάστηκε πάνω σε ενήλικες είναι ένα καλό βήμα προς την γενικότερη κατεύθυνση των τεχνολογικών λύσεων της πρώιμης παρέμβασης και εύκολο μπορεί να υλοποιηθεί και να μελετηθεί και σε παιδιά στο μέλλον.

10.2 Διεπαφές Εγκέφαλου-Υπολογιστή για Κινητική Αποκατάσταση

Εμπορικά Διαθέσιμα BCI Συστήματα

Η εφαρμογή brain-computer interfaces στην παιδιατρική αποκατάσταση παρουσιάζει νέες δυνατότητες για παιδιά με σοβαρές κινητικές αναπηρίες. Οι Hammond και συνεργάτες αξιολόγησαν τη βιωσιμότητα ενός εμπορικά διαθέσιμου εγκεφαλο-υπολογιστικού περιβάλλοντος (Emotiv + Think2Switch) ως εναλλακτικό μέσο πρόσβασης σε ηλεκτροκίνητη μετακίνηση για 9 παιδιά (7-17 ετών) με τετραπληγική εγκεφαλική παράλυση ή ανάλογες βαριές κινητικές αναπηρίες (GMFCS/MACS IV-V). Σε έως 12

συνεδρίες, τα παιδιά εκπαίδευσαν μία ή δύο νοητικές εντολές για έλεγχο προώθησης ή στροφής. Παρά τη μεγάλη διακύμανση στις βαθμολογίες ρύθμισης (consistency 9-77%) και μέτριο αντιλαμβανόμενο φόρτο, καταγράφηκαν κλινικώς σημαντικές αυξήσεις σε απόδοση (+6 → 7,7) και ικανοποίηση (+2,8 → 8,7) όλων των στόχων, ενώ το 89% των υποστόχων GAS (Goal Attainment Scaling) επιτεύχθηκε [59].

10.3 Συστήματα Παρακολούθησης Ύπνου και Αναπνοής

Φορητή Ανίχνευση Άπνοιας

Η ανάπτυξη μη επεμβατικών συστημάτων παρακολούθησης αναπνοής αποτελεί σημαντική καινοτομία για παιδιά με αυξημένο κίνδυνο αναπνευστικών διαταραχών. Η van Engelen ανέπτυξε φορητό σύστημα ανίχνευσης άπνοιας για εφήβους με Σύνδρομο Down. Μέσω πιλοτικής μελέτης σε τυπικά αναπτυσσόμενα παιδιά ελέγχθηκε η αξιοπιστία τριπλού φωτοπληθυσμογράφου (PPG) EmotiBit έναντι BIOPAC. Το κυματίδιο MODWT (Daubechies-6 επιπέδου 6) εξήγαγε αναπνευστικό σήμα και εντόπισε "διακοπή αναπνοής" με ακρίβεια 93%/ευαισθησία 95%. Σε δεύτερη φάση, συν-σχεδιαστική συνεδρία με τέσσερα παιδιά με Σύνδρομο Down κατέγραψε απαιτήσεις άνεσης, προτιμώντας γάντια σιλικόνης και πιο μαλακός ιμάντας αντί του αρχικού λαίκρα [60].

Φορητή Ταξινόμηση Σταδίων Ύπνου

Οι Migonich και συνεργάτες διερεύνησαν τη δυνατότητα ταξινόμησης τριών σταδίων ύπνου (αγρυπνία, Μη-REM, REM) σε κορίτσια με σύνδρομο Rett μέσω φορητού αισθητήρα Empatica E4 και αλγορίθμου Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης. Επτά συμμετέχουσες (4-16 ετών) φόρεσαν τον αισθητήρα επί δύο ημέρες και πραγματοποίησαν μία νυκτερινή πολυπνογραφία. Από 36 αρχικά χαρακτηριστικά φυσιολογίας και κίνησης επελέγησαν 23, κατασκευάζοντας εξατομικευμένα μοντέλα με στρωματοποιημένη K-πλη διασταυρωμένη επαλήθευση. Τα μοντέλα πέτυχαν μέση ακρίβεια 85,1% και F1 βαθμολογία = 84,4%, με αξιοσημείωτη βελτίωση στην αναγνώριση REM (74% έναντι 28,5% όταν χρησιμοποιήθηκαν μόνο δεδομένα επιταχυνσιόμετρου). Η συμμόρφωση ήταν πλήρης χωρίς απώλεια δεδομένων [61].

10.4 Αισθητήρες Κίνησης για Πρώιμη Ανίχνευση

Δείκτης Πολυπλοκότητας Κίνησης για Αυτισμό

Η χρήση φορητών αισθητήρων για την πρώιμη ανίχνευση αναπτυξιακών διαταραχών παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές. Οι Wilson και συνεργάτες ανέπτυξαν έναν καινοτόμο δείκτη "πολυπλοκότητας κίνησης" χρησιμοποιώντας φορητούς αισθητήρες επιτάχυνσης σε βρέφη με υψηλό οικογενειακό κίνδυνο για αυτισμό. Πέντε βρέφη φορούσαν αισθητήρες

Οραί στους αστραγάλους για όλη τη μέρα στις ηλικίες των 3, 6, 9 και 12 μηνών. Τα δύο βρέφη που διαγνώστηκαν με Διαταραχές Φάσματος Αυτισμού στους 36 μήνες εμφάνισαν συνεχώς χαμηλότερες τιμές πολυπλοκότητας ήδη από τον τρίτο μήνα. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μειωμένη πολυπλοκότητα αντανακλά περιορισμένη ποικιλία κινήσεων και αυξημένη επαναληπτικότητα, πιθανώς υποδηλώνοντας πρώιμες στερεοτυπικές συμπεριφορές [62].

Συστηματική Ανάλυση Φορητών Αισθητήρων για Πρώιμη Ανίχνευση

Οι Thelagathoti και Ali παρουσιάζουν εκτενή ανασκόπηση των ποσοτικών προσεγγίσεων για την εντόπιση πρώιμων αναπτυξιακών διαταραχών μέσω φορητών αισθητήρων. Η μελέτη αναλύει περισσότερες από 20 ερευνητικές εργασίες που χρησιμοποιούν διάφορα φορητά συστήματα (Μονάδες Αδρανειακής Μέτρησης, επιταχυνσιόμετρα) για την καταγραφή κινητικότητας σε βρέφη και παιδιά ηλικίας 0-17 ετών. Τα κύρια ευρήματα δείχνουν ότι τα παθολογικά κινητικά μοτίβα (επαναλαμβανόμενες, στερεοτυπικές, άκαμπτες κινήσεις) αποτελούν πρώιμους δείκτες νευροαναπτυξιακών διαταραχών όπως οι Διαταραχές Φάσματος Αυτισμού, η εγκεφαλική παράλυση και η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής/Υπερκινητικότητα. Οι φορητοί αισθητήρες επιτυγχάνουν ακρίβεια έως 90% στη διάκριση τυπικά αναπτυσσόμενων παιδιών από παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές [63].

10.5 Φορετά Συστήματα Ηλεκτρομυογραφίας και Μυϊκή Παρακολούθηση

Υφασμάτινα EMG Συστήματα για Καθημερινές Δραστηριότητες

Οι Michelsen και συνεργάτες διερεύνησαν για πρώτη φορά τη χρησιμότητα των φορητών υφασμάτινων συστημάτων ηλεκτρομυογραφίας για την αξιολόγηση μυϊκής δραστηριότητας σε καθημερινές δραστηριότητες παιδιών με εγκεφαλική παράλυση. Στη μελέτη συμμετείχαν 10 παιδιά με σπαστική εγκεφαλική παράλυση (Σύστημα Ταξινόμησης Αδρής Κινητικής Λειτουργίας I-II, ηλικίας 6-13 ετών) και 11 τυπικά αναπτυσσόμενα παιδιά. Η καινοτόμος τεχνολογία περιελάμβανε ειδικά παντελόνια με ενσωματωμένα υφασμάτινα ηλεκτρόδια που καταγράφουν τη δραστηριότητα οκτώ μυϊκών ομάδων. Τα κύρια ευρήματα αποκάλυψαν ότι ενώ τα παιδιά με εγκεφαλική παράλυση εμφάνιζαν χαμηλότερη απόλυτη ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα, χρησιμοποιούσαν σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό της μυϊκής τους δύναμης (120-250% έναντι 50-150%) για την εκτέλεση των ίδιων δραστηριοτήτων [64].

10.6 Εξωσκελετά και Αποκαταστατικές Τεχνολογίες

Συστηματική Ανάλυση Παιδιατρικών Εξωσκελετών

Οι Sarajchi και συνεργάτες διεξήγαγαν την πρώτη συστηματική ανασκόπηση για τα φορητά εξωσκελετά κάτω άκρων που προορίζονται ειδικά για παιδιά με εγκεφαλική παράλυση. Μέσω εφαρμογής των κατευθυντήριων γραμμών PRISMA εντοπίστηκαν 17 επιλέξιμες μελέτες που περιελάμβαναν 15 διαφορετικά εξωσκελετά. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι τα εξωσκελετά γónατος αποτελούν το 40% των συστημάτων, στοχεύοντας κυρίως στη διόρθωση της συγκαμπτικής βάδισης. Από τα 15 συστήματα, μόνο 8 έχουν δοκιμαστεί κλινικά με 184 συμμετοχές παιδιών ηλικίας 5-37 ετών. Τα κλινικά δεδομένα κατέδειξαν σταθερά θετικές ενδείξεις για βελτίωση των κινηματικών παραμέτρων βάδισης, με τα ελαφρύτερα συστήματα (1,8-3,2 kg) να εμφανίζουν καλύτερη αποδοχή [65].

Εξωσκελετική Θεραπεία Ποδοκνημικής

Οι Conner και συνεργάτες διερεύνησαν μια φορητή εξωσκελετική πλατφόρμα αντίστασης αστραγάλου σε πέντε εφήβους με σπαστική εγκεφαλική παράλυση (Σύστημα Ταξινόμησης Αδρής Κινητικής Λειτουργίας GMFCS I-II). Δέκα συνεδρίες περπατήματος 20 λεπτών με αναλογική αντίσταση στην πελματιαία κάμψη βελτίωσαν τον νευρομυϊκό συντονισμό: η συνσύσπαση γαστροκνημίου-προσθίου κνημιαίου μειώθηκε κατά 29%, ενώ η συμφωνία προφίλ ενεργοποίησης του γαστροκνημίου με τυπικό δείγμα αυξήθηκε 33%. Οι μηχανικές αλλαγές μετουσιώθηκαν σε 58% υψηλότερη ενεργειακή ανάκτηση του κέντρου μάζας και 29% χαμηλότερο καθαρό μεταβολικό κόστος μεταφοράς [66].

10.7 Επιταχυνσιομετρία για Αξιολόγηση Άνω Άκρων

Παρακολούθηση Αυθόρμητης Χρήσης Άνω Άκρων

Οι Beani και συνεργάτες διεξήγαγαν καινοτόμα μελέτη παρακολούθησης χρησιμοποιώντας φορητούς αισθητήρες (Actigraph) για τη μέτρηση αυθόρμητης χρήσης άνω άκρων σε 80 παιδιά (54 με μονόπλευρη εγκεφαλική παράλυση και 26 τυπικής ανάπτυξης). Οι συμμετέχοντες φόρεσαν επιταχυνσιόμετρα στους δύο καρπούς για μία εβδομάδα καθημερινής ζωής και κατά τη διάρκεια της Αξιολόγησης Ικανότητας Χεριού. Τα κύρια ευρήματα αποκάλυψαν ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των κλινικών βαθμολογιών της Αξιολόγησης Ικανότητας Χεριού και της ασυμμετρίας άνω άκρων τόσο κατά την κλινική αξιολόγηση ($R=-0,92$, $p<0,001$) όσο και στην καθημερινή ζωή ($R=-0,89$, $p<0,001$). Η μελέτη επιβεβαίωσε υψηλή συμμόρφωση (80,95% χρόνος φορήματος) και δημιούργησε γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης με υψηλή ακρίβεια (Προσαρμοσμένο $R^2=0,85-0,86$) [67].

Επικύρωση Επιταχυνσιομετρίας έναντι Κλινικής Αξιολόγησης

Οι Hoyt και συνεργάτες διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ πραγματικών κινήσεων μέσω επιταχυνσιομετρίας και τυποποιημένης κλινικής αξιολόγησης σε 52 παιδιά (26 με εγκεφαλική παράλυση-ημιπλήγια, 26 τυπικής ανάπτυξης) ηλικίας 1-17 ετών. Χρησιμοποίησαν διπλούς καρπιακούς επιταχυνσιόμετρα ActiGraph wGT3X για 4x25ωρες περιόδους και την Αξιολόγηση Melbourne Μονόπλευρης Λειτουργίας Άνω Άκρου-2 (MA-2) ως χρυσό πρότυπο αναφοράς. Ανέπτυξαν δύο βασικές μετρικές: τον Δείκτη Αναλογίας Χρήσης και τον Δείκτη Χρήσης Μονού Βραχίονα (MAUI) για την ποσοτικοποίηση της ασυμμετρικής κινητικής βλάβης. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις του Δείκτη Χρήσης Μονού Βραχίονα (MA-2) με όλους τους τομείς της αξιολόγησης ($r=0,44-0,53$, $p<0,05$) [68].

10.8 Συστηματικές Ανασκοπήσεις και Ρυθμιστικά Θέματα

Οι González Barral και Servais παρουσιάζουν την πρώτη ολοκληρωμένη ανασκόπηση των φορητών αισθητήρων στην παιδιατρική νευρολογία, αναλύοντας 84 μελέτες που καλύπτουν ευρύ φάσμα νευρολογικών καταστάσεων. Η μελέτη εξετάζει εφαρμογές σε εγκεφαλική παράλυση (κινητικότητα, βάδιση), επιληψία (εντόπιση κρίσεων μέσω ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας, φωτοπληθυσμογραφίας, επιταχυνσιομετρίας), αυτισμό (επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές, κινητικά μοτίβα), Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής/Υπερκινητικότητα (υπερκινητικότητα), σύνδρομο Rett (αυτόνομη δυσρρύθμιση), νευρομυϊκές διαταραχές (Μυϊκή Δυστροφία Duchenne, Νωτιαία Μυϊκή Ατροφία) και διάφορες αταξίες. Το σημαντικότερο εύρημα είναι η ρυθμιστική έγκριση του δείκτη SV95C "Ταχύτητα Βήματος 95ου Εκατοστημορίου" ως πρώτου ψηφιακού τελικού σημείου για κλινικές δοκιμές Μυϊκής Δυστροφίας Duchenne από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Φαρμάκων [69].

Από Παθητική Παρακολούθηση σε Προγνωστική Ευφυΐα

Η ανάλυση των τεχνολογιών φορητών συσκευών και IoT αποκαλύπτει μια θεμελιώδη μετάβαση από απλή παθητική παρακολούθηση σε ενεργητικά προγνωστικά συστήματα που διαμορφώνουν το μέλλον της παιδιατρικής ιατρικής. Αυτή η εξέλιξη αναδεικνύει κρίσιμες τάσεις και παράδοξα που χρήζουν στρατηγικής κατανόησης.

Το Παράδοξο της Αντικειμενικότητας

Παρά την αναμενόμενη αντικειμενικότητα των φορητών αισθητήρων, αναδεικνύεται ένα εντυπωσιακό παράδοξο: η τεχνολογική ακρίβεια δεν μεταφράζεται αυτόματα σε κλινική χρησιμότητα. Η μελέτη των Hammond [59] με συστήματα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή δείχνει συνέπεια 9-77%, ενώ παράλληλα επιτυγχάνει κλινικώς σημαντικές βελτιώσεις σε απόδοση και ικανοποίηση. Αυτό υποδηλώνει ότι η "αντιληπτή

αντικειμενικότητα" μπορεί να είναι πιο σημαντική από την απόλυτη μετρητική ακρίβεια για τη θεραπευτική επιτυχία.

Προγνωστική Ευφυΐα και Πρώιμη Ανίχνευση

Η μετάβαση από αναδρομική σε προβλεπτική ανάλυση αντιπροσωπεύει μια παραδειγματική αλλαγή. Ο δείκτης πολυπλοκότητας κίνησης των Wilson [62] που ανιχνεύει ΔΑΦ ήδη από τον 3ο μήνα ζωής, αποδεικνύει ότι οι φορητοί αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν ως "χρονικές μηχανές" που αποκαλύπτουν μελλοντικές νευροαναπτυξιακές τροχιές. Παρομοίως, η 90% ακρίβεια στη διάκριση τυπικά αναπτυσσόμενων από παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές [63] υποδηλώνει δυνατότητες μαζικού διαλογικού ελέγχου που θα μπορούσαν να επανασχεδιάσουν τα συστήματα πρωτοβάθμιας υγείας.

Το Σύνδρομο του "Digital Twin" στην Παιδιατρική

Αναδεικνύεται η έννοια του "Ψηφιακού Διδύμου" – μια ψηφιακή αναπαράσταση της φυσιολογικής κατάστασης κάθε παιδιού που ενημερώνεται συνεχώς. Η μελέτη των Beani [67] με προσαρμοσμένο $R^2=0,85-0,86$ στην πρόβλεψη κλινικών βαθμολογιών από δεδομένα επιταχυνσιομετρίας, υποδηλώνει ότι πλησιάζουμε στη δημιουργία ακριβών ψηφιακών μοντέλων που μπορούν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν παραδοσιακές κλινικές αξιολογήσεις.

Ρυθμιστική Ωριμότητα και Κλινική Μετάφραση

Η έγκριση του SV95C ως πρώτου ψηφιακού ως πρώτου ψηφιακού τελικού σημείου από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Φαρμάκων [69] αποτελεί σταθμό που σηματοδοτεί την αποδοχή των φορητών μετρικών ως κλινικώς έγκυρων δεικτών. Αυτό ανοίγει το δρόμο για μια νέα εποχή "ψηφιακών κλινικών δοκιμών" όπου τα παραδοσιακά τελικά σημεία συμπληρώνονται ή αντικαθίστανται από συνεχείς ψηφιακούς βιοδείκτες.

Το Δίλημμα της Συμμόρφωσης vs Αποκαλυπτικότητα

Υπάρχει μια αντίφαση μεταξύ της ανάγκης για υψηλή συμμόρφωση (80.95% wearing time στη μελέτη Beani [67]) και της επιθυμίας για αποκαλυπτικά δεδομένα. Τα πιο αποκαλυπτικά συστήματα (όπως το CIT-FER [58] με 100% ακρίβεια) είναι συχνά τα πιο επεμβατικά ή περίπλοκα, ενώ τα πιο φιλικά προς το χρήστη συστήματα μπορεί να έχουν χαμηλότερη διαγνωστική ισχύ.

Νευροπλαστικότητα και Real-time Modulation

Το KeepCalm σύστημα [57] που παρέχει ανατροφοδότηση πραγματικού χρόνου όταν ο καρδιακός ρυθμός αυξηθεί >22%, αντιπροσωπεύει μια νέα γενιά "νευροπλαστικών παρεμβάσεων" που αξιοποιούν τη φυσική ικανότητα του εγκεφάλου για προσαρμογή μέσω

άμεσης ανατροφοδότησης. Αυτό υποδηλώνει μετάβαση από "θεραπεία μετά τη διάγνωση" σε "πρόληψη κατά τη διάρκεια της ζωής".

Στρατηγικές Μελλοντικής Ανάπτυξης

1. **Αόρατη Αισθητηριακή Τεχνολογία:** Μετάβαση σε περιβαλλοντικούς αισθητήρες ενσωματωμένους στο περιβάλλον (έξυπνα ρούχα, επιφάνειες, αντικείμενα) που παρέχουν συνεχή παρακολούθηση χωρίς επιβάρυνση του χρήστη.
2. **Χρονισμός Ακριβούς Παρέμβασης:** Αλγόριθμοι που προβλέπουν όχι μόνο το "τι" αλλά και το "πότε" μιας παρέμβασης για μέγιστη αποτελεσματικότητα βάσει κινημάτων ρυθμών, συναισθηματικής κατάστασης και περιβαλλοντικών παραγόντων.
3. **Ρυθμιστικά Πεδία Δοκιμών:** Δημιουργία πιλοτικών ρυθμιστικών πλαισίων που επιτρέπουν την ταχεία δοκιμή και έγκριση ψηφιακών θεραπευτικών με προσαρμοστικούς σχεδιασμούς δοκιμών.
4. **Ηθική Τεχνητή Νοημοσύνη από το Σχεδιασμό:** Ενσωμάτωση αρχών βιοηθικής, ιδιωτικότητας και δικαιοσύνης στον κώδικα των αλγορίθμων από την αρχή της ανάπτυξης.

Το Μέλλον της Αόρατης Τεχνολογίας

Η επιτυχημένη εφαρμογή των φορετών τεχνολογιών εξαρτάται τελικά από την ικανότητά τους να γίνουν "αόρατες" – να ενσωματωθούν τόσο φυσικά στην καθημερινή ζωή των παιδιών που η παρακολούθηση και η παρέμβαση να γίνονται χωρίς συνειδητή προσπάθεια. Αυτό απαιτεί όχι μόνο τεχνολογική εξέλιξη αλλά και θεμελιώδη αναδιαμόρφωση του τρόπου που σκεφτόμαστε την υγειονομική περίθαλψη – από επεισοδιακή σε συνεχή, από αντιδραστική σε προληπτική, και από τυποποιημένη σε υπερ-εξατομικευμένη.

Συνολικά, οι φορετές τεχνολογίες και το IoT αντιπροσωπεύουν όχι απλά μια τεχνολογική εξέλιξη αλλά μια παραδειγματική μετατόπιση προς μια νέα εποχή "προβλεπτικής, εξατομικευμένης, συμμετοχικής και προληπτικής" παιδιατρικής ιατρικής που θα μπορούσε να αλλάξει ριζικά τον τρόπο που καταλαβαίνουμε, διαγιγνώσκουμε και θεραπεύουμε τις αναπτυξιακές διαταραχές.

Κεφάλαιο 11: Τηλεϊατρική και Απομακρυσμένες Υπηρεσίες

Η ψηφιακή επανάσταση στον τομέα της υγείας έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στην παροχή υπηρεσιών πρώιμης παρέμβασης για παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές. Η τηλεϊατρική και οι απομακρυσμένες υπηρεσίες αποτελούν καινοτόμες προσεγγίσεις που αντιμετωπίζουν βασικά εμπόδια πρόσβασης στη φροντίδα, όπως τη γεωγραφική απόσταση, τη σπανιότητα εξειδικευμένων υπηρεσιών και τους οικονομικούς περιορισμούς. Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τις σύγχρονες εφαρμογές τηλε-παρεμβάσεων σε διάφορες αναπτυξιακές διαταραχές, αναλύοντας την αποτελεσματικότητά τους, τη βιωσιμότητά τους και τις προκλήσεις υλοποίησης στην κλινική πράξη.

11.1 Γνωστική Αποκατάσταση και Οικιακές Παρεμβάσεις

Ψηφιακή Εκπαίδευση Εκτελεστικών Λειτουργιών σε Εγκεφαλική Παράλυση

Η ανάπτυξη οικιακών παρεμβάσεων με τεχνολογική υποστήριξη παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες για την ενίσχυση γνωστικών λειτουργιών σε παιδιά με σπαστική εγκεφαλική παράλυση. Η μελέτη των García-Galant και συνεργατών αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα μίας οικιακής, υποβοηθούμενης από λογισμικό παρέμβασης εκτελεστικών λειτουργιών σε 60 παιδιά με σπαστική εγκεφαλική παράλυση (MACS I-III, 8-12 ετών). Η πειραματική ομάδα εκτέλεσε 30 ώρες στοχευμένων παιχνιδιών NeuronUp επί 12 εβδομάδες, επιτυγχάνοντας σημαντικές βελτιώσεις στην ανασταλτική ικανότητα, τη μνήμη εργασίας και τη γνωστική ευελιξία [70].

Η εξαιρετικά υψηλή συμμόρφωση (94%) αποδίδεται στο ευέλικτο ωρολόγιο πρόγραμμα και την εβδομαδιαία ψηφιακή ανατροφοδότηση, αποδεικνύοντας ότι η τεχνολογικά υποστηριζόμενη αυτονομία μπορεί να ενισχύσει την εμπλοκή των παιδιών. Ωστόσο, η απουσία μεταφοράς σε καθημερινές δραστηριότητες υποδεικνύει την ανάγκη για συμπληρωματικές στρατηγικές γενίκευσης [70].

11.2 Βιντεο-ανατροφοδότηση και Γονεϊκή Εκπαίδευση

Πρώιμες Παρεμβάσεις Συμπεριφοράς μέσω VIPP-SD

Η χρήση βιντεο-ανατροφοδότησης στην πρώιμη παρέμβαση αποτελεί καινοτόμα προσέγγιση για τη βελτίωση γονεο-παιδικής αλληλεπίδρασης. Η μελέτη των O'Farrelly και συνεργατών αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα της VIPP-SD σε 300 νήπια 12-36 μηνών

με αυξημένο κίνδυνο προβληματικής συμπεριφοράς. Έξι κατ' οίκον συνεδρίες βιντεο-ανατροφοδότησης μείωσαν σημαντικά τη συνολική βαθμολογία προβληματικής συμπεριφοράς κατά 2 μονάδες, με ιδιαίτερα έντονη επίδραση στις διαταραχές διαγωγής [71].

Η υψηλή αποδοχή της παρέμβασης (85% ολοκλήρωση επαρκούς "δόσης") και η απουσία ανεπιθύμητων γεγονότων αποδεικνύουν τη βιωσιμότητα της προσέγγισης. Η διατήρηση οφέλους στους 24 μήνες, έστω και με μειωμένη στατιστική σημαντικότητα, υποδηλώνει μερική μακροπρόθεσμη σταθερότητα των θεραπευτικών αποτελεσμάτων [71].

Καινοτόμες Προσεγγίσεις Παρακολούθησης

Η ανάπτυξη ψηφιακών πλατφορμών εκπαίδευσης γονέων αντιπροσωπεύει σημαντική πρόοδο στην προσβασιμότητα εξειδικευμένων υπηρεσιών. Η μελέτη των Peter και συνεργατών περιγράφει την υλοποίηση ενός τριών βραχιόνων τυχαιοποιημένου ελεγχόμενου δοκιμίου που συγκρίνει καινοτόμο πρόγραμμα τηλεεκπαίδευσης με το καθιερωμένο PACT σε 99 νήπια 24-54 μηνών με ΔΑΦ. Το e-coaching περιλαμβάνει έντεκα αυτορυθμιζόμενες διαδικτυακές ενότητες βασισμένες στις Φυσιοκρατικές Αναπτυξιακές Συμπεριφορικές Παρεμβάσεις (NDBI), εμπλουτισμένες με υλικό για ύπνο, αυτονομία και διαχείριση συμπεριφοράς [72].

Η μέθοδος παρακολούθησης κίνησης ματιών με φορετή συσκευή υπόσχεται να παρέχει έναν αντικειμενικό βιοδείκτη συγχρονισμένης προσοχής, στοιχείο που σπάνια συναντάται σε μελέτες γονεϊκών παρεμβάσεων [72]. Εάν επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητά της, η ηλεκτρονική εκπαιδευτική καθοδήγηση θα αποτελέσει ένα πολυδιάστατο μοντέλο, δυνητικά μεταφράσιμο σε διάφορες γλώσσες και επεκτάσιμο πέραν των εξειδικευμένων θεραπευτικών κέντρων.

11.3 Συστηματικές Προσεγγίσεις Τηλε-Πρώιμης Παρέμβασης

Συστηματική Ανασκόπηση Τηλε-πρώιμων Παρεμβάσεων

Η συστηματική ανασκόπηση που διεξήγαγαν οι Shin, Park και Lee χαρτογράφησε 18 μελέτες τηλε-πρώιμης παρέμβασης για βρέφη και νήπια ηλικίας 0-3 ετών με αναπτυξιακές διαταραχές. Τα περισσότερα προγράμματα αξιοποιούσαν συγχρονική βιντεοδιάσκεψη για την εκπαίδευση και καθοδήγηση των γονέων, συχνά σε συνδυασμό με ψηφιακά υλικά ή πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους [73].

Τα τυχαιοποιημένα ελεγχόμενα δοκίμια απέδειξαν ότι τα τηλε-πρωτόκολλα παρουσιάζουν ισοδύναμη ή ανώτερη αποτελεσματικότητα σε σχέση με τις συμβατικές υπηρεσίες, ιδιαίτερα στην ανάπτυξη επικοινωνιακών δεξιοτήτων παιδιών με ΔΑΦ και στην κινητική ενδυνάμωση βρεφών με κίνδυνο εγκεφαλικής παράλυσης [73].

Το 66% των μελετών κατέγραψε υψηλή πιστότητα εφαρμογής από τους γονείς, ενώ παρατηρήθηκαν συχνές βελτιώσεις στην επικοινωνία, κοινωνικότητα, κινητικότητα και προσαρμογή [73]. Παρά την οικογενειοκεντρική φιλοσοφία των παρεμβάσεων, εντοπίστηκαν ελλείψεις στις γνωστικές εκβάσεις, στη συμμετοχή πατέρων και αδελφών, καθώς και στη διεπιστημονική συνεργασία.

Προκλήσεις σε Χώρες Χαμηλού-Μεσαίου Εισοδήματος

Η Smythe και οι συνεργάτες της αναδεικνύουν το κρίσιμο κενό τεκμηριωμένων πρώιμων παρεμβάσεων για τα 53 εκατομμύρια παιδιά κάτω των 5 ετών με αναπτυξιακές αναπηρίες στις χώρες χαμηλού-μεσαίου εισοδήματος. Παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα προγραμμάτων (όπως τα Προγράμματα Υποστήριξης Παιδιών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και το Ubuntu) που αξιοποιούν μη εξειδικευμένους συντονιστές για κατ' οίκον εκπαίδευση γονέων, προσφέροντας επικοινωνιακή, κινητική ή ψυχοκοινωνική ενδυνάμωση του παιδιού και της οικογένειας [74].

Η ανασκόπηση επισημαίνει την έλλειψη συγκριτικών μελετών, προτύπων μέτρησης και ανάλυσης κόστους-αποτελεσματικότητας. Προτείνεται μια διττή στρατηγική: αφενός η ένταξη παιδιών με αναπηρία σε γενικά προγράμματα φροντίδας ανάπτυξης και αφετέρου η υλοποίηση στοχευμένων πρώιμων παρεμβάσεων [74].

11.4 Προσαρμοστικές Ψηφιακές Πλατφόρμες

Κλιμακωτή Φροντίδα και Διαδραστική Θεραπεία εξ Αποστάσεως

Η ανάπτυξη προσαρμοστικών ψηφιακών πλατφορμών που εξατομικεύουν την υποστήριξη με βάση τις ανάγκες της οικογένειας αποτελεί πρωτοποριακή προσέγγιση. Οι Wainer και οι συνεργάτες τους αξιολόγησαν μια κλιμακωτή έκδοση της διαδικτυακής πλατφόρμας για γονείς νηπίων με διαταραχές αυτιστικού φάσματος. Η παρέμβαση ξεκίνησε με πέντε εβδομάδες αυτοκαθοδηγούμενης εκπαίδευσης σε τεχνικές αμοιβαίας μίμησης και συγχρονισμού, με κλιμάκωση σε τηλε-εκπαιδευτική καθοδήγηση για γονείς που δεν επέτυχαν επαρκή πιστότητα εφαρμογής [75].

Μετά από 15 εβδομάδες, οι γονείς της ομάδας παρέμβασης εμφάνισαν δραστικά ανώτερη πιστότητα στην εφαρμογή των τεχνικών ($d \approx 3,9$) και υψηλότερη γονική αυτεπάρκεια ($d \approx 1,4$) σε σχέση με τη συνήθη φροντίδα [75]. Στο επίπεδο του παιδιού παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην κοινωνική επικοινωνία και αξιόπιστη πρόοδος στη μίμηση σε 43% των παιδιών.

Ενσωμάτωση Οπτικοακουστικής Ανατροφοδότησης σε Κοινωνικές Φυσιολογικές Αναπτυξιακές Συμπεριφορικές Παρεμβάσεις

Η μελέτη των Klein και συνεργατών αξιολόγησε τη σκοπιμότητα ενσωμάτωσης βίντεο-ανατροφοδότησης σε υφιστάμενες κοινωνικές φυσιολογικές αναπτυξιακές συμπεριφορικές παρεμβάσεις για 15 νήπια με διαταραχές αυτιστικού φάσματος. Οι γονείς κατέγραφαν εβδομαδιαία τρία αποσπάσματα 10 λεπτών από οικιακές ρουτίνες με κάμερα 360°, ενώ ο κλινικός επέλεγε και σχολίαζε δύο βιντεοσκοπημένα κλιπ εντός της θεραπευτικής συνεδρίας [76].

Η συμμόρφωση ήταν ικανοποιητική (περίπου 8 ώρες βίντεο σε 60% των εβδομάδων), ενώ οι γονείς αξιολόγησαν την πρακτικότητα της μεθόδου ως άριστη (7/7) . Ο κλάδος της βίντεο-ανατροφοδότησης εμφάνισε επιπλέον μείωση σε περιορισμένες συμπεριφορές και αύξηση δεξιοτήτων καθημερινής διαβίωσης, με τη βελτίωση της παιδικής κοινωνικής επικοινωνίας να συσχετίζεται άμεσα με την αύξηση της γονεϊκής πιστότητας στις παρεμβάσεις [76].

11.5 Προ-διαγνωστικές Παρεμβάσεις

Το Πρόγραμμα BEAR: Πρώιμη Στόχευση Σημείων Αυτισμού

Η ανάπτυξη προ-διαγνωστικών παρεμβάσεων αντιπροσωπεύει κρίσιμη στρατηγική για τη μεγιστοποίηση των θεραπευτικών αποτελεσμάτων. Το πρόγραμμα BEAR, όπως περιγράφεται από τους Snijder και συνεργάτες, αποτελεί σύντομο, γονεοκεντρικό πρόγραμμα βασισμένο σε αρχές φυσικιστικών αναπτυξιακών συμπεριφορικών παρεμβάσεων, το οποίο προσφέρεται προ-διάγνωσης σε βρέφη 12-30 μηνών με πρώιμα σημεία αυτισμού [77].

Το BEAR συνδυάζει πέντε εξατομικευμένες ενότητες ηλεκτρονικής εκμάθησης με επτά κατ' οίκον συνεδρίες επαγγελματία πρωτοβάθμιας φροντίδας, υπό την επίβλεψη ειδικού για διαταραχές αυτιστικού φάσματος. Η κλιμακωτή συσταδική τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη δοκιμή σε 88 παιδιατρικά κέντρα υγείας βρεφών εξετάζει την αποτελεσματικότητα ως προς τον χρόνο και την ποιότητα κοινής αλληλεπίδρασης, με τη μελέτη να ολοκληρώνει την ένταξη συμμετεχόντων το 2023 [77].

Αναμένεται να αποδείξει εάν μια χαμηλού κόστους, εύχρηστη, μεικτή παρέμβαση μπορεί να γεφυρώσει αποτελεσματικά το χρονικό διάστημα μεταξύ των πρώτων γονεϊκών ανησυχιών και της εξειδικευμένης θεραπευτικής φροντίδας.

11.6 Βιολογικοί Δείκτες και Επιγενετικές Αλλαγές

Τηλεθεραπεία και Επιγενετική Γήρανση

Η διερεύνηση των βιολογικών μηχανισμών δράσης των τηλεπαρεμβάσεων παρέχει σημαντικές γνώσεις για τους υποκείμενους μηχανισμούς αποτελεσματικότητας. Οι Merrill και συνεργάτες εξέτασαν κατά πόσον η τηλεθεραπεία αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού μειώνει βιοδείκτες επιγενετικής γήρανσης και φλεγμονής σε 71 νήπια τριών ετών με αναπτυξιακή καθυστέρηση.

Μετά από 20 εβδομάδες εντατικής θεραπείας αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού, τα παιδιά εμφάνισαν βραδύτερο ρυθμό επιγενετικής γήρανσης (μείωση κατά 0,05, $d \approx 0,55$) και χαμηλότερα επίπεδα μεθυλίωσης DNA της αντιδραστικής πρωτεΐνης-C ($d \approx 0,58$) σε σύγκριση με την ομάδα συμβατικών παραπομπών [78].

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η βελτίωση των γονεϊκών πρακτικών μέσω τηλεπαρέμβασης μπορεί να επηρεάζει ευεργετικά βιολογικούς μηχανισμούς ενσωμάτωσης του άγχους, μειώνοντας την επιγενετική επιτάχυνση και τη χρόνια φλεγμονή [78]. Αυτά τα ευρήματα διανοίγουν νέους ερευνητικούς ορίζοντες στην κατανόηση των βιολογικών υποστρωμάτων που διέπουν την αποτελεσματικότητα των τηλεπαρεμβάσεων.

Κλινική Αποτελεσματικότητα εξ αποστάσεως θεραπεία αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού σε Υποεξυπηρετούμενους Πληθυσμούς

Η μελέτη των Bagner και συνεργατών αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα της τηλεθεραπείας αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού σε 150 νήπια τριών ετών με αναπτυξιακή καθυστέρηση από οικογένειες χαμηλού εισοδήματος και μειονοτικών ομάδων. Οι γονείς έλαβαν έως είκοσι εβδομαδιαίες συνεδρίες άμεσης καθοδήγησης μέσω τηλεοπτικής σύνδεσης, με επιτόπια καθοδήγηση από θεραπευτή μέσω ασύρματου ακουστικού [79].

Σε σύγκριση με τις συμβατικές παραπομπές, η διαδραστική θεραπεία αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού μείωσε σημαντικά τις εξωτερικευμένες συμπεριφορές με μέσο μέγεθος επίδρασης $d \approx 0,5$, αύξησε τη συμμόρφωση του παιδιού και υπερδιπλασίασε το ποσοστό παιδιών που εξήλθαν από το κλινικό εύρος προβλημάτων [79]. Η υψηλή αποδοχή (δείκτης αποδοχής θεραπείας = 44/50) και ασφάλεια της παρέμβασης υποδηλώνουν ότι η τηλεθεραπεία αλληλεπίδρασης γονέα-παιδιού μπορεί να αίρει εμπόδια πρόσβασης στη φροντίδα για υποεξυπηρετούμενες οικογένειες.

Τεχνολογική Σύγκλιση και η Μετάβαση στη Νέα Εποχή Πρώιμης Παρέμβασης

Η εξέταση των τηλεϊατρικών και απομακρυσμένων υπηρεσιών στην πρώιμη παρέμβαση αποκαλύπτει ένα ταχέως εξελισσόμενο τοπίο που αναδιαμορφώνει θεμελιωδώς τον τρόπο

παροχής θεραπευτικών υπηρεσιών. Τα ευρήματα συγκλίνουν σε τρεις κρίσιμες διαστάσεις που χαρακτηρίζουν αυτή τη νέα εποχή.

Η Προσαρμοστική Ψηφιακή Αρχιτεκτονική

Αναδεικνύεται ένα νέο παράδειγμα "προσαρμοστικής κλιμάκωσης" όπου οι ψηφιακές πλατφόρμες προσαρμόζουν δυναμικά το επίπεδο υποστήριξης με βάση τις ανάγκες και την απόδοση της οικογένειας. Το μοντέλο σταδιακής φροντίδας της διαδικτυακής πλατφόρμας αμοιβαίας μίμησης [75], που κλιμακώνει από αυτοκαθοδηγούμενη εκπαίδευση σε εντατική τηλε-εκπαιδευτική καθοδήγηση, αντιπροσωπεύει μια επανάσταση στην εξατομίκευση υπηρεσιών.

Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα των πόρων αλλά επιτυγχάνει και δραματικές βελτιώσεις στην πιστότητα εφαρμογής ($d \approx 3,9$) που ξεπερνούν σημαντικά τις συμβατικές παρεμβάσεις.

Νευροβιολογική Επικύρωση και Επιγενετική Πλαστικότητα

Για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία τηλε-παρεμβάσεων, η μελέτη των Merrill και συνεργατών [78] παρέχει άμεσες επιγενετικές αποδείξεις ότι οι τηλε-παρεμβάσεις επηρεάζουν βιολογικούς μηχανισμούς σε κυτταρικό επίπεδο. Η μείωση του επιγενετικού ρυθμού γήρανσης και της μεθυλίωσης DNA C-αντιδραστικής πρωτεΐνης υποδηλώνει ότι η βελτίωση γονεϊκών πρακτικών μέσω ψηφιακών πλατφορμών μπορεί να αναστρέψει βιολογικούς δείκτες χρόνιου στρες και φλεγμονής.

Αυτό αντιπροσωπεύει μια παραδειγματική μετατόπιση από την "ψυχολογική" στη "βιολογική" τεκμηρίωση αποτελεσματικότητας.

Το Φάσμα Ψηφιακής Εμβύθισης και Οικογενειακής Αυτονομίας

Αναδεικνύεται ένα κρίσιμο φάσμα από πλήρως αυτόνομες ψηφιακές παρεμβάσεις έως υβριδικά μοντέλα που συνδυάζουν ψηφιακά εργαλεία με ανθρώπινη καθοδήγηση. Η υψηλή συμμόρφωση (94%) στο πρόγραμμα NeuronUp [70] αποδεικνύει ότι οι οικογένειες μπορούν να υιοθετήσουν εντατικά ψηφιακά πρωτόκολλα όταν αυτά είναι κατάλληλα σχεδιασμένα. Παράλληλα, η ενσωμάτωση βιντεο-ανατροφοδότησης σε κοινοτικά προγράμματα [76] δημιουργεί μια "υβριδική πραγματικότητα" όπου η τεχνολογία ενισχύει χωρίς να αντικαθιστά την ανθρώπινη σύνδεση.

Παγκόσμια Ισότητα και Κοινωνική Δικαιοσύνη

Η μελέτη εξ αποστάσεως θεραπείας των Bagner και συνεργατών [79] σε υποεξυπηρετούμενους πληθυσμούς αποδεικνύει ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να γεφυρώσουν το χάσμα ανισότητας στην πρόσβαση σε εξειδικευμένες υπηρεσίες. Το μεγάλο μέγεθος επίδρασης ($d \approx 0,5$) και η υψηλή αποδοχή σε μειονοτικές και χαμηλού

εισοδήματος οικογένειες υποδηλώνει ότι η τεχνολογία μπορεί να λειτουργήσει ως "δημοκρατικοποιητής" εξειδικευμένης φροντίδας.

Το Παράδοξο της Πρώιμης Παρέμβασης και η Προ-διαγνωστική Στρατηγική

Το πρόγραμμα BEAR [77] αντιπροσωπεύει μια ριζική επανεξέταση των χρονικών πλαισίων παρέμβασης. Η στόχευση βρεφών 12-30 μηνών με "πρώιμα σημεία" αυτισμού, πριν από την επίσημη διάγνωση, δημιουργεί νέες ηθικές και κλινικές προκλήσεις αλλά και ανέλπιστες ευκαιρίες για μεγιστοποίηση νευροπλαστικότητας.

Στρατηγικές Μελλοντικής Εξέλιξης

1. **Προσαρμογή Πραγματικού Χρόνου με πρόβλεψη:** Ανάπτυξη συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης που προσαρμόζουν το περιεχόμενο και την ένταση παρέμβασης με βάση τη συνεχή παρακολούθηση οικογενειακής δυναμικής και παιδικής προόδου.
2. **Ολοκληρωμένη Βιοψυχοκοινωνική Παρακολούθηση:** Συνδυασμός επιγενετικών δεικτών, φυσιολογικών μετρήσεων και συμπεριφορικών αξιολογήσεων για πλήρη χαρτογράφηση θεραπευτικής απόκρισης.
3. **Πολυπολιτισμικά Προσαρμοστικά Συστήματα:** Ανάπτυξη πλατφορμών που προσαρμόζονται αυτόματα σε πολιτισμικούς, γλωσσικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.
4. **Κλιμακωτά Οικοσυστήματα Φροντίδας:** Δημιουργία διασυνδεδεμένων δικτύων από πρωτοβάθμια φροντίδα έως εξειδικευμένα κέντρα με ομαλή μετάβαση και διαμοιρασμό δεδομένων.

Συνολικά, η τηλεϊατρική στην πρώιμη παρέμβαση βρίσκεται σε ένα κρίσιμο σημείο μετάβασης από την "πειραματική καινοτομία" στην "κλινική ωριμότητα". Η σύγκλιση υψηλής αποτελεσματικότητας, βιολογικής επικύρωσης και παγκόσμιας προσβασιμότητας δημιουργεί τις προϋποθέσεις για μια θεμελιώδη αναδιάρθρωση του τρόπου παροχής υπηρεσιών πρώιμης παρέμβασης. Ωστόσο, η επιτυχής υλοποίηση αυτής της μετάβασης απαιτεί στρατηγικές επενδύσεις σε τεχνολογική υποδομή, εκπαίδευση προσωπικού και ανάπτυξη βιώσιμων μοντέλων χρηματοδότησης που ισορροπούν μεταξύ καινοτομίας και κοινωνικής δικαιοσύνης.

ΜΕΡΟΣ Δ: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κεφάλαιο 12: Συμπεράσματα, Ερευνητικά Κενά και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

12.1 Σύνοψη Κύριων Ευρημάτων

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση εξέτασε το ευρύ φάσμα των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρώιμη παιδική παρέμβαση, αναλύοντας 77 μελέτες υψηλής ποιότητας. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν μια δυναμική εξέλιξη του πεδίου που χαρακτηρίζεται από τέσσερις θεμελιώδεις μετατοπίσεις που αναδιαμορφώνουν ριζικά τον τρόπο προσέγγισης των αναπτυξιακών διαταραχών.

Η πρώτη και ίσως πιο εντυπωσιακή μετατόπιση αφορά τη μετάβαση από την παθητική παρακολούθηση στην προγνωστική ευφυΐα. Οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης έχουν εξελιχθεί πέρα από τον ρόλο των απλών διαγνωστικών εργαλείων, μεταμορφώνοντας σε προγνωστικά συστήματα ικανά να ανιχνεύσουν αναπτυξιακές διαταραχές πολύ πριν την εμφάνιση των πρώτων κλινικών συμπτωμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο δείκτης πολυπλοκότητας κίνησης που μπορεί να ανιχνεύσει διαταραχές αυτιστικού φάσματος ήδη από τον τρίτο μήνα ζωής, ενώ η εντυπωσιακή ακρίβεια 90% στη διάκριση τυπικά αναπτυσσόμενων παιδιών από εκείνα με αναπτυξιακές προκλήσεις αντιπροσωπεύει μια επαναστατική εξέλιξη στο πεδίο της πρώιμης ανίχνευσης.

Παράλληλα, παρατηρείται μια σημαντική μετάβαση από την τυποποιημένη στην εξατομικευμένη παρέμβαση. Οι ψηφιακές πλατφόρμες επιτρέπουν πλέον έναν πρωτοφανή βαθμό εξατομίκευσης των θεραπευτικών προσεγγίσεων, προσαρμόζοντας δυναμικά τις παρεμβάσεις στις μοναδικές ανάγκες κάθε παιδιού. Η μελέτη των Ali και συνεργατών, που αποκάλυψε τη διαφορετική ανταπόκριση παιδιών με ελάχιστο αυτισμό σε σύγκριση με εκείνα με ήπιο αυτισμό στα ρομποτικά ερεθίσματα, καθώς και τα προσαρμοστικά συστήματα κλιμακωτής τηλε-παρέμβασης, αποδεικνύουν τη δυνατότητα αυτού που θα μπορούσαμε να ονομάσουμε "υπερ-εξατομίκευση" των θεραπευτικών προσεγγίσεων.

Η τρίτη κρίσιμη μετατόπιση αφορά τη μετακίνηση του τόπου παρέμβασης από την κλινική στο φυσικό περιβάλλον του παιδιού. Η τηλεϊατρική και οι φορητές τεχνολογίες έχουν καταστήσει δυνατή την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στο οικείο περιβάλλον του σπιτιού, με την εντυπωσιακή συμμόρφωση 94% στις οικιακές ψηφιακές παρεμβάσεις και την αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα της τηλεθεραπείας ακόμη και σε

υποεξυπηρετούμενους πληθυσμούς να επιβεβαιώνουν τη βιωσιμότητα αυτής της προσέγγισης.

Τέλος είναι η μετάβαση από την αποκλειστικά ψυχολογική στη βιολογική τεκμηρίωση των παρεμβάσεων. Για πρώτη φορά στην ιστορία του πεδίου, οι ψηφιακές παρεμβάσεις μπορούν να τεκμηριωθούν όχι μόνο μέσω συμπεριφορικών μετρήσεων αλλά και με σκληρά βιολογικά δεδομένα. Η ανακάλυψη ότι οι τηλε-παρεμβάσεις μπορούν να μειώσουν τον επιγενετικό ρυθμό γήρανσης αντιπροσωπεύει μια παραδειγματική αλλαγή στην κατανόηση των βαθύτερων μηχανισμών δράσης αυτών των τεχνολογιών.

12.2 Κρίσιμα Ερευνητικά Κενά

Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, η παρούσα ανασκόπηση αναδεικνύει μια σειρά κρίσιμων ερευνητικών κενών που περιορίζουν την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού των ψηφιακών τεχνολογιών στην πρόωπη παρέμβαση. Αυτά τα κενά εκτείνονται σε τέσσερις βασικούς άξονες που αλληλοσυνδέονται και αλληλοεπηρεάζονται.

Μεθοδολογικά Κενά

Ένα από τα πιο εμφανή μεθοδολογικά κενά αφορά την έλλειψη μακροχρόνιων μελετών παρακολούθησης. Η ανάλυσή μας αποκάλυψε ότι το 78% των εξετασθέντων μελετών είχε διάρκεια μικρότερη των έξι μηνών, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα για τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των θεραπευτικών οφελών. Η μελέτη της εφαρμογής TOBY, που κατέδειξε διατήρηση των οφελών για 12 έως 18 μήνες μετά τη διακοπή χρήσης, αποτελεί σπάνια εξαίρεση σε ένα τοπίο που κυριαρχείται από βραχυπρόθεσμες αξιολογήσεις. Αυτή η έλλειψη μακροχρόνιων δεδομένων δημιουργεί σοβαρά ερωτήματα για τη βιωσιμότητα των παρατηρούμενων βελτιώσεων και την πραγματική κλινική αξία των ψηφιακών παρεμβάσεων.

Επιπλέον, το πεδίο χαρακτηρίζεται από περιορισμένα δείγματα και υψηλή ετερογένεια στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις. Είναι ενδεικτικό ότι το 64% των μελετών ρομποτικής περιλάμβανε λιγότερους από 12 συμμετέχοντες, ενώ η σημαντική ποικιλομορφία στις μεθόδους αξιολόγησης και τις μετρήσεις αποτελεσμάτων καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την πραγματοποίηση αξιόπιστων μετα-αναλυτικών συνθέσεων. Η ανάγκη για μεγάλες πολυκεντρικές μελέτες με τυποποιημένα πρωτόκολλα είναι επιτακτική για την εξαγωγή γενικεύσιμων συμπερασμάτων.

Ένα ακόμη σημαντικό κενό είναι η σχεδόν πλήρης απουσία συγκριτικών μελετών μεταξύ διαφορετικών ψηφιακών τεχνολογιών. Παραμένει άγνωστο, για παράδειγμα, αν η εικονική πραγματικότητα υπερτερεί της ρομποτικής για συγκεκριμένους θεραπευτικούς στόχους ή πληθυσμούς, καθώς οι περισσότερες μελέτες εξετάζουν μεμονωμένες τεχνολογίες σε απομόνωση.

Τεχνολογικά Κενά

Στον τεχνολογικό άξονα, αναδύεται ένα ενδιαφέρον φαινόμενο που αναφέρεται ως "Therapeutic Uncanny Valley". Παρατηρήθηκε ότι τα πιο τεχνολογικά προηγμένα συστήματα δεν αποφέρουν πάντοτε τα καλύτερα θεραπευτικά αποτελέσματα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ενός βέλτιστου επιπέδου τεχνολογικής πολυπλοκότητας πέρα από το οποίο η αποτελεσματικότητα μπορεί να μειώνεται. Απαιτείται συστηματική έρευνα για τον προσδιορισμό αυτού του βέλτιστου σημείου για κάθε τύπο εφαρμογής και πληθυσμό.

Τα προβλήματα γενικευσιμότητας των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης αποτελούν επίσης σοβαρή πρόκληση. Η πτώση της ακρίβειας των νευροαπεικονιστικών μοντέλων από 66% σε μόλις 56% όταν εφαρμόζονται σε δεδομένα από διαφορετικά ερευνητικά κέντρα αναδεικνύει τη δυσκολία δημιουργίας αλγορίθμων που λειτουργούν αξιόπιστα σε διαφορετικά κλινικά περιβάλλοντα και πληθυσμούς.

Επιπλέον, η έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων ψηφιακών πλατφορμών δημιουργεί σημαντικά εμπόδια στην ολοκληρωμένη παρακολούθηση των παιδιών. Οι διάφορες τεχνολογίες λειτουργούν ως απομονωμένα νησιά πληροφορίας, χωρίς δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων ή συντονισμένης παρακολούθησης της προόδου του παιδιού μέσω διαφορετικών παρεμβάσεων.

Κλινικά Κενά

Σε κλινικό επίπεδο, παρατηρείται μια δυσανάλογη εστίαση σε συγκεκριμένες διαταραχές, με το μεγαλύτερο ποσοστό των μελετών να επικεντρώνεται αποκλειστικά στον αυτισμό. Αυτή η υπερσυγκέντρωση αφήνει σημαντικά κενά στην κατανόηση της αποτελεσματικότητας των ψηφιακών τεχνολογιών για άλλες σημαντικές διαταραχές όπως το σύνδρομο Rett, διάφορα γενετικά σύνδρομα και σπάνιες νευροαναπτυξιακές καταστάσεις που επίσης θα μπορούσαν να ωφεληθούν από αυτές τις καινοτομίες.

Η απουσία αξιόπιστων βιοδεικτών για την πρόβλεψη της ανταπόκρισης στις ψηφιακές παρεμβάσεις αποτελεί ένα ακόμη κρίσιμο κενό. Δεν έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που θα μπορούσαν να προβλέψουν με ακρίβεια ποια παιδιά είναι πιθανότερο να ανταποκριθούν θετικά σε συγκεκριμένες ψηφιακές τεχνολογίες, με αποτέλεσμα η επιλογή παρεμβάσεων να βασίζεται κυρίως σε δοκιμή και σφάλμα.

Παρά την ευρέως αποδεκτή οικογενειοκεντρική φιλοσοφία της πρώιμης παρέμβασης, οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν κυρίως στη δυάδα μητέρας-παιδιού, με ελάχιστες να περιλαμβάνουν συστηματικά τους πατέρες, τα αδέρφια ή το ευρύτερο οικογενειακό περιβάλλον. Αυτή η περιορισμένη προσέγγιση αγνοεί τη σημασία του ευρύτερου οικογενειακού συστήματος στην υποστήριξη της ανάπτυξης του παιδιού.

Κοινωνικοοικονομικά Κενά

Το ψηφιακό χάσμα παραμένει μια σημαντική πρόκληση που δεν έχει αντιμετωπιστεί επαρκώς στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Ελάχιστες μελέτες εξετάζουν συστηματικά την πρόσβαση και χρήση ψηφιακών τεχνολογιών από οικογένειες χαμηλού εισοδήματος ή εκείνες που ζουν σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές. Αυτή η παράλειψη δημιουργεί τον κίνδυνο οι ψηφιακές καινοτομίες να διευρύνουν αντί να γεφυρώσουν τις υπάρχουσες ανισότητες στην πρόσβαση σε ποιοτικές υπηρεσίες πρώιμης παρέμβασης.

Η σχεδόν πλήρης απουσία αναλύσεων κόστους-αποτελεσματικότητας είναι εξίσου προβληματική. Από τις 77 μελέτες που εξετάσαμε, μόνο τρεις περιλάμβαναν κάποια μορφή οικονομικής ανάλυσης, καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολη την τεκμηρίωση προς ασφαλιστικούς φορείς και υπηρεσίες υγείας για τη χρηματοδότηση αυτών των παρεμβάσεων.

Τέλος, η πολιτισμική προσαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη. Οι περισσότερες τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί σε δυτικά πλαίσια και δεν έχουν υποστεί συστηματική προσαρμογή για χρήση σε διαφορετικά πολιτισμικά περιβάλλοντα, περιορίζοντας έτσι την παγκόσμια εφαρμοσιμότητά τους.

12.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Τεχνολογική Σύγκλιση και Ολοκληρωμένα Οικοσυστήματα

Το μέλλον της ψηφιακής πρώιμης παρέμβασης βρίσκεται στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων θεραπευτικών οικοσυστημάτων που θα ενσωματώνουν απρόσκοπτα πολλαπλές τεχνολογίες. Αυτές οι πλατφόρμες νέας γενιάς θα συνδυάζουν τη συνεχή παρακολούθηση μέσω φορητών αισθητήρων με προσαρμοστικές παρεμβάσεις που καθοδηγούνται από τεχνητή νοημοσύνη, ενώ παράλληλα θα παρέχουν τηλε-υποστήριξη από επαγγελματίες και δυνατότητες κοινωνικής δικτύωσης για τις οικογένειες. Η αυτοματοποιημένη παραγωγή αναφορών προόδου θα επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση και προσαρμογή των θεραπευτικών στόχων.

Παράλληλα, η ανάπτυξη υβριδικών μοντέλων πραγματικότητας που συνδυάζουν στοιχεία εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας με ρομποτική και τεχνητή νοημοσύνη υπόσχεται να δημιουργήσει πλούσια, πολυαισθητηριακά περιβάλλοντα μάθησης. Αυτά τα περιβάλλοντα θα προσφέρουν ασφαλείς χώρους για εξάσκηση δεξιοτήτων στην εικονική πραγματικότητα, υποστήριξη καθημερινών δραστηριοτήτων μέσω επαυξημένης πραγματικότητας, φυσική αλληλεπίδραση μέσω ρομποτικής και συνεχή εξατομίκευση μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Προσωποποιημένη Ιατρική Ακριβείας

Η ανάπτυξη λεπτομερών ψηφιακών φαινοτύπων αντιπροσωπεύει το επόμενο μεγάλο βήμα στην εξατομίκευση των παρεμβάσεων. Αυτοί οι φαινότυποι θα ενσωματώνουν γενετικά δεδομένα, νευροαπεικονιστικούς δείκτες, συμπεριφορικά μοτίβα, περιβαλλοντικούς παράγοντες και οικογενειακό ιστορικό σε ένα ολοκληρωμένο προφίλ που θα καθοδηγεί την επιλογή και προσαρμογή των παρεμβάσεων.

Συμπληρωματικά, η ανάπτυξη αλγορίθμων βέλτιστης αντιστοίχισης θα επιτρέπει την πρόβλεψη ποια τεχνολογία είναι καταλληλότερη για κάθε παιδί, καθορίζοντας τη βέλτιστη ένταση και διάρκεια παρέμβασης, εκτιμώντας την πιθανότητα ανταπόκρισης και προβλέποντας πιθανούς κινδύνους ή παρενέργειες. Αυτή η προσέγγιση ακριβείας θα μετατρέψει την επιλογή παρεμβάσεων από διαδικασία δοκιμής και σφάλματος σε επιστημονικά καθοδηγούμενη απόφαση.

Νευροπλαστικότητα και Βιολογική Στόχευση

Οι παρεμβάσεις κλειστού βρόχου αντιπροσωπεύουν την πρωτοπορία της νευροτεχνολογίας στην πρώιμη παρέμβαση. Αυτά τα συστήματα θα παρακολουθούν την εγκεφαλική δραστηριότητα σε πραγματικό χρόνο και θα προσαρμόζουν δυναμικά την παρέμβαση βάσει της νευρικής απόκρισης, μεγιστοποιώντας τη νευροπλαστικότητα και ελαχιστοποιώντας τη γνωστική κόπωση. Αυτή η προσέγγιση υπόσχεται να βελτιστοποιήσει τη θεραπευτική αποτελεσματικότητα αξιοποιώντας τα παράθυρα μέγιστης νευρικής δεκτικότητας.

Παράλληλα, η έρευνα στην επιγενετική μοντουλίσση ανοίγει συναρπαστικές προοπτικές για την κατανόηση και ενίσχυση των βιολογικών μηχανισμών που υποστηρίζουν τη θεραπευτική αλλαγή. Η διερεύνηση του πώς οι ψηφιακές παρεμβάσεις μπορούν να τροποποιούν επιγενετικούς δείκτες, να αναστρέφουν τις βιολογικές επιπτώσεις του χρόνιου στρες και να ενισχύουν τη θεραπευτική ανθεκτικότητα θα οδηγήσει σε πιο στοχευμένες και αποτελεσματικές παρεμβάσεις.

Κοινωνική Δικαιοσύνη και Παγκόσμια Πρόσβαση

Η ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλού κόστους αποτελεί κρίσιμη προτεραιότητα για την εξασφάλιση ισότιμης πρόσβασης στις ψηφιακές παρεμβάσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία open-source πλατφορμών που μπορούν να προσαρμοστούν τοπικά, την ανάπτυξη εφαρμογών που λειτουργούν σε παλαιότερες συσκευές, την ενσωμάτωση offline λειτουργικότητας για περιοχές με περιορισμένη συνδεσιμότητα και την προώθηση κοινοτικών μοντέλων διαμοιρασμού πόρων.

Η πολυγλωσσική και πολυπολιτισμική προσαρμογή των τεχνολογιών είναι εξίσου σημαντική. Αυτό απαιτεί όχι μόνο την αυτόματη μετάφραση περιεχομένου αλλά και τη

δημιουργία πολιτισμικά ευαίσθητων άβαταρ και σεναρίων, την τοπική επικύρωση αποτελεσματικότητας και τη συμμετοχική σχεδίαση με τις κοινότητες που θα χρησιμοποιήσουν αυτές τις τεχνολογίες.

12.4 Περιορισμοί της Παρούσας Ανασκόπησης

Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τους περιορισμούς της παρούσας ανασκόπησης που μπορεί να επηρεάζουν την ερμηνεία και γενίκευση των ευρημάτων. Σε μεθοδολογικό επίπεδο, ο περιορισμός σε αγγλόφωνες και ελληνόφωνες δημοσιεύσεις μπορεί να έχει οδηγήσει στην παράλειψη σημαντικών μελετών που έχουν δημοσιευτεί σε άλλες γλώσσες. Επιπλέον, η πιθανή απώλεια "γκρίζας βιβλιογραφίας", όπως τεχνικές αναφορές και μη δημοσιευμένες διατριβές, μπορεί να έχει περιορίσει την πληρότητα της ανάλυσης. Η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργεί επίσης την πρόκληση ότι ορισμένα ευρήματα μπορεί να καταστούν γρήγορα παρωχημένα.

Σε αναλυτικό επίπεδο, η αδυναμία πραγματοποίησης ποσοτικής μετα-ανάλυσης λόγω της υψηλής ετερογένειας των μελετών περιόρισε τη δυνατότητα εξαγωγής συγκεντρωτικών εκτιμήσεων αποτελεσματικότητας. Η περιορισμένη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης διαφορετικών τεχνολογιών και η απουσία ενός ενιαίου πλαισίου αξιολόγησης δυσκόλεψαν περαιτέρω τη σύνθεση των ευρημάτων.

12.5 Πρακτικές Συστάσεις

Για Κλινικούς

Οι κλινικοί που επιθυμούν να ενσωματώσουν ψηφιακές τεχνολογίες στην πράξη τους συνιστάται να υιοθετήσουν μια σταδιακή προσέγγιση, ξεκινώντας με απλές και καλά τεκμηριωμένες τεχνολογίες πριν προχωρήσουν σε πιο πολύπλοκα συστήματα. Η αξιολόγηση του τεχνολογικού προφίλ και των δυνατοτήτων κάθε οικογένειας είναι κρίσιμη για την επιτυχή υιοθέτηση των ψηφιακών παρεμβάσεων. Συνιστάται η υιοθέτηση υβριδικής προσέγγισης που συνδυάζει ψηφιακά εργαλεία με παραδοσιακές θεραπείες, καθώς και η συνεχής παρακολούθηση και προσαρμογή των παρεμβάσεων βάσει δεδομένων προόδου.

Για Ερευνητές

Η ερευνητική κοινότητα καλείται να αναπτύξει μεγάλες συνεργατικές μελέτες με πολυκεντρικά πρωτόκολλα και κοινές μετρήσεις αποτελεσμάτων. Ο σχεδιασμός μελετών με μακροχρόνια παρακολούθηση τουλάχιστον δύο ετών είναι απαραίτητος για την κατανόηση της διατήρησης των θεραπευτικών οφελών. Η ενσωμάτωση βιοδεικτών σε

όλες τις μελέτες αποτελεσματικότητας και η υιοθέτηση πρακτικών ανοιχτής επιστήμης μέσω του διαμοιρασμού δεδομένων και κώδικα θα επιταχύνουν την πρόοδο του πεδίου.

Για Φορείς Χάραξης Πολιτικής

Οι φορείς χάραξης πολιτικής έχουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των ψηφιακών παρεμβάσεων. Η ανάπτυξη ευέλικτων ρυθμιστικών πλαισίων που μπορούν να προσαρμοστούν στη ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη είναι απαραίτητη. Στοχευμένα προγράμματα χρηματοδότησης για την ανάπτυξη προσβάσιμων τεχνολογιών και πολιτικές που εξασφαλίζουν καθολική πρόσβαση σε ψηφιακές υποδομές είναι κρίσιμες για την αποφυγή διεύρυνσης των ανισοτήτων. Τέλος, η ενσωμάτωση ψηφιακών δεξιοτήτων στα προγράμματα σπουδών των επαγγελματιών υγείας και εκπαίδευσης είναι απαραίτητη για την προετοιμασία του εργατικού δυναμικού του μέλλοντος.

12.6 Επίλογος

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση τεκμηριώνει ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες αντιπροσωπεύουν όχι απλώς συμπληρωματικά εργαλεία αλλά καταλύτες θεμελιώδους μετασχηματισμού στην πρώιμη παιδική παρέμβαση. Η σύγκλιση τεχνητής νοημοσύνης, ρομποτικής, εικονικής πραγματικότητας και φορητών τεχνολογιών δημιουργεί πρωτόγνωρες δυνατότητες για έγκαιρη διάγνωση, εξατομικευμένη θεραπεία και συνεχή υποστήριξη παιδιών με αναπτυξιακές διαταραχές.

Ωστόσο, η επιτυχής υλοποίηση αυτού του δυναμικού απαιτεί την υπέρβαση σημαντικών προκλήσεων. Η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και κλινικής πράξης, η εξασφάλιση ισότιμης πρόσβασης, και η διατήρηση της ανθρώπινης διάστασης στη θεραπευτική σχέση αποτελούν κρίσιμες προτεραιότητες.

Το μέλλον της πρώιμης παρέμβασης θα διαμορφωθεί από την ικανότητά μας να συνθέσουμε το καλύτερο της ανθρώπινης εμπειρίας με τις δυνατότητες της ψηφιακής τεχνολογίας, δημιουργώντας ένα οικοσύστημα φροντίδας που είναι ταυτόχρονα επιστημονικά τεκμηριωμένο, τεχνολογικά προηγμένο και βαθιά ανθρώπινο. Η πορεία προς αυτό το όραμα απαιτεί συνεχή έρευνα, καινοτομία και, πάνω απ' όλα, δέσμευση στην υπηρεσία κάθε παιδιού που χρειάζεται υποστήριξη για να αναπτύξει πλήρως το δυναμικό του.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] UNICEF, “From the margins to the mainstream Global report on children with developmental disabilities,” 2023. Available: <https://www.unicef.org/media/145016/file/Global-report-on-children-with-developmental-disabilities-2023.pdf>
- [2] T. E. Whitesides and M. M. Heckman, “The Pathophysiology of Compartment Syndrome,” *Techniques in Orthopaedics*, vol. 27, no. 1, pp. 2–7, Mar. 2012, doi: <https://doi.org/10.1097/bto.0b013e31824a757f>.
- [3] PRISMA, “Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA),” *PRISMA*, 2020. <https://www.prisma-statement.org/>
- [4] H. Sewani and R. Kashef, “An Autoencoder-Based Deep Learning Classifier for Efficient Diagnosis of Autism,” *Children*, vol. 7, no. 10, p. 182, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/children7100182>.
- [5] E. Koc, Habil Kalkan, and Semih Bilgen, “Autism Spectrum Disorder Detection by Hybrid Convolutional Recurrent Neural Networks from Structural and Resting State Functional MRI Images,” *Autism Research and Treatment*, vol. 2023, pp. 1–12, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1155/2023/4136087>.
- [6] R. M. Thomas, S. Gallo, L. Cerliani, P. Zhutovsky, A. El-Gazzar, and G. van Wingen, “Classifying Autism Spectrum Disorder Using the Temporal Statistics of Resting-State Functional MRI Data With 3D Convolutional Neural Networks,” *Frontiers in Psychiatry*, vol. 11, May 2020, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00440>.
- [7] E. S. Choi, H. J. Yoo, M. S. Kang, and S. A. Kim, “Applying Artificial Intelligence for Diagnostic Classification of Korean Autism Spectrum Disorder,” *Psychiatry Investigation*, vol. 17, no. 11, pp. 1090–1095, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.30773/pi.2020.0211>.
- [8] H. Abbas, F. Garberson, S. Liu-Mayo, E. Glover, and D. P. Wall, “Multi-modular AI Approach to Streamline Autism Diagnosis in Young Children,” *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61213-w>.
- [9] G. Liu, L. Shi, J. Qiu, and W. Lu, “Two neuroanatomical subtypes of males with autism spectrum disorder revealed using semi-supervised machine learning,” *Molecular Autism*, vol. 13, no. 1, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1186/s13229-022-00489-3>.

- [10] D. Groos *et al.*, “Development and Validation of a Deep Learning Method to Predict Cerebral Palsy From Spontaneous Movements in Infants at High Risk,” *JAMA Network Open*, vol. 5, no. 7, pp. e2221325–e2221325, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.21325>.
- [11] I. Duran *et al.*, “Artificial intelligence to improve efficiency of administration of gross motor function assessment in children with cerebral palsy,” *Developmental Medicine & Child Neurology*, vol. 64, no. 2, pp. 228–234, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.15010>.
- [12] D. H. Ye *et al.*, “Can AI-Based Video Analysis Help Evaluate the Performance of the Items in the Bayley Scales of Infant Development?,” *Children*, vol. 12, no. 3, pp. 276–276, Feb. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/children12030276>.
- [13] Arunvinodh C, “Context-Based Emotion Recognition and ASD Intervention: A Deep Learning Approach with Restricted Boltzmann Machines,” *Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 10, no. 27s, pp. 209–215, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i27s.4396>.
- [14] X. Li, H. Zhong, B. Zhang, and J. Zhang, “A General Chinese Chatbot Based on Deep Learning and Its’ Application for Children with ASD,” *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 10, no. 4, pp. 519–526, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.18178/ijmlc.2020.10.4.967>.
- [15] L. Reinhart *et al.*, “Artificial intelligence in child development monitoring: A systematic review on usage, outcomes and acceptance,” *Intelligence-Based Medicine*, pp. 100134–100134, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2024.100134>.
- [16] F. F. Kharbat, A. Alshawabkeh, and M. L. Woolsey, “Identifying gaps in using artificial intelligence to support students with intellectual disabilities from education and health perspectives,” *Aslib Journal of Information Management*, vol. 73, no. 1, pp. 101–128, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1108/ajim-02-2020-0054>.
- [17] P. Kitsao-Wekulo, N. Kipkoech Langat, M. Nampijja, E. Mwaniki, K. Okelo, and E. Kimani-Murage, “Development and feasibility testing of a mobile phone application to track children’s developmental progression,” *PLoS ONE*, vol. 16, no. 7, pp. 1–12, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254621>.

- [18] Prateek Kumar Panda *et al.*, “Effectiveness of IMPUTE ADT-1 mobile application in children with autism spectrum disorder: An interim analysis of an ongoing randomized controlled trial,” *Journal of neurosciences in rural practice*, vol. 0, pp. 1–9, Feb. 2024, doi: https://doi.org/10.25259/jnrp_599_2023.
- [19] Varma *et al.*, “Identification of Social Engagement Indicators Associated With Autism Spectrum Disorder Using a Game-Based Mobile App: Comparative Study of Gaze Fixation and Visual Scanning Methods,” *ProQuest*, p. e31830, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.2196/31830>.
- [20] O. Bonnot, V. Adrien, V. Venelle, D. Bonneau, F. Gollier-Briant, and S. Mouchabac, “Mobile App for Parental Empowerment for Caregivers of Children With Autism Spectrum Disorders: Prospective Open Trial,” *JMIR Mental Health*, vol. 8, no. 9, p. e27803, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.2196/27803>.
- [21] J. Lee *et al.*, “Mobile App–Assisted Parent Training Intervention for Behavioral Problems in Children With Autism Spectrum Disorder: Pilot Randomized Controlled Trial,” *JMIR Human Factors*, vol. 11, p. e52295, Oct. 2024, doi: <https://doi.org/10.2196/52295>.
- [22] L. Fischbacher, R. L. Dodds, and I. S. Tien, “Teaching Parents via Online Asynchronous Training to Use Speech-Generating Devices with Their Autistic Children: A Pilot Study,” *Children*, vol. 11, no. 10, p. 1194, Sep. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/children11101194>.
- [23] J. A. C. Panceri, É. Freitas, J. C. de Souza, S. da Luz Schreider, E. Caldeira, and T. F. Bastos, “A New Socially Assistive Robot with Integrated Serious Games for Therapies with Children with Autism Spectrum Disorder and Down Syndrome: A Pilot Study,” *Sensors*, vol. 21, no. 24, p. 8414, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21248414>.
- [24] C. Cubukcu, M. K. Canbazoglu, and Y. Ozerdem, “Mobile Game Development for Children with Down Syndrome,” *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 14, no. 20, p. 174, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i20.16573>.
- [25] D. Parsons, S. Vaz, H. Lee, C. Robinson, and R. Cordier, “A twelve-month follow-up of an information communication technology delivered intervention for children with autism spectrum disorder living in regional Australia,” *Research in Developmental*

Disabilities, vol. 106, p. 103743, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103743>.

[26] T. Wang *et al.*, “Digital interventions for autism spectrum disorders: A systematic review and meta-analysis,” *Pediatric investigation*, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/ped4.12417>.

[27] Y. Penev *et al.*, “A Mobile Game Platform for Improving Social Communication in Children with Autism: A Feasibility Study,” *Applied Clinical Informatics*, vol. 12, no. 05, pp. 1030–1040, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736626>.

[28] S. Kirst *et al.*, “Fostering socio-emotional competencies in children on the autism spectrum using a parent-assisted serious game: A multicenter randomized controlled trial,” *Behaviour Research and Therapy*, vol. 152, p. 104068, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.brat.2022.104068>.

[29] L. A. M. W. Wijnhoven *et al.*, “Effects of the video game ‘Mindlight’ on anxiety of children with an autism spectrum disorder: A randomized controlled trial,” *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, vol. 68, p. 101548, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2020.101548>.

[30] S. Carlier, S. Van der Paelt, F. Ongenae, F. De Backere, and F. De Turck, “Empowering Children with ASD and Their Parents: Design of a Serious Game for Anxiety and Stress Reduction,” *Sensors*, vol. 20, no. 4, p. 966, Feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20040966>.

[31] Eleftheria Farsari and Chrisa Nitsiou, “The implementation of an interactive educational intervention program using the Kinems learning games platform to improve gross motor skills in children with ASD,” *Preschool and Primary Education*, vol. 13, no. 1, pp. 29–49, May 2025, doi: <https://doi.org/10.12681/ppej.38379>.

[32] D. Bossen *et al.*, “Effectiveness of Serious Games to Increase Physical Activity in Children With a Chronic Disease: Systematic Review With Meta-Analysis,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 22, no. 4, p. e14549, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.2196/14549>.

[33] A. Macias, K. Caro, L. A. Castro, and J.-F. Parra, “Exploring Player Experience of an Augmented Puzzle and Wearables for Studying Interactions between Parents and Children

with Down Syndrome,” pp. 179–187, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1145/3421937.3422020>.

[34] J. Lin and W.-R. Chang, “Effectiveness of Serious Games as Digital Therapeutics for Enhancing the Abilities of Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Systematic Literature Review,” *JMIR Serious Games*, vol. 13, p. e60937, May 2025, doi: <https://doi.org/10.2196/60937>.

[35] M. Iosa, C. M. Verrelli, A. E. Gentile, M. Ruggieri, and A. Polizzi, “Gaming Technology for Pediatric Neurorehabilitation: A Systematic Review,” *Frontiers in Pediatrics*, vol. 10, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fped.2022.775356>.

[36] P. Maria Kellidou, M. Kotzageorgiou, I. Voulgari, and E. Nteropoulou Nterou, “A Review of Digital Games for Children with Autism Spectrum Disorder,” *9th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion*, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.1145/3439231.3439270>.

[37] E. Mahmoudi *et al.*, “Gamification in Mobile Apps for Children With Disabilities: Scoping Review,” *JMIR Serious Games*, vol. 12, pp. e49029–e49029, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.2196/49029>.

[38] P. Kokol, H. B. Vošner, J. Završnik, J. Vermeulen, S. Shohieb, and F. Peinemann, “Serious Game-based Intervention for Children with Developmental Disabilities,” *Current Pediatric Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 26–32, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.2174/1573396315666190808115238>.

[39] C. Settimo *et al.*, “Virtual Reality Technology to Enhance Conventional Rehabilitation Program: Results of a Single-Blind, Randomized, Controlled Pilot Study in Patients with Global Developmental Delay,” *Journal of Clinical Medicine*, vol. 12, no. 15, p. 4962, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/jcm12154962>.

[40] H. U. Hashim, M. M. Yunus, and H. Norman, “‘AReal-Vocab’: An Augmented Reality English Vocabulary Mobile Application to Cater to Mild Autism Children in Response towards Sustainable Education for Children with Disabilities,” *Sustainability*, vol. 14, no. 8, p. 4831, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14084831>.

[41] L. Chu *et al.*, “Effects of a Nonwearable Digital Therapeutic Intervention on Preschoolers With Autism Spectrum Disorder in China: Open-Label Randomized

Controlled Trial,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 25, pp. e45836–e45836, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.2196/45836>.

[42] B. Lai *et al.*, “School-Based Virtual Reality Programming for Obtaining Moderate-Intensity Exercise Among Children With Disabilities: Pre-Post Feasibility Study,” *JMIR formative research*, vol. 9, p. e65801, 2025, doi: <https://doi.org/10.2196/65801>.

[43] A. Barkat *et al.*, “Application of Augmented Reality Interventions for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Systematic Review,” *Computers*, vol. 12, no. 10, pp. 215–215, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/computers12100215>.

[44] X. Yang *et al.*, “Effectiveness of Virtual Reality Technology Interventions in Improving the Social Skills of Children and Adolescents With Autism: Systematic Review,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 27, p. e60845, Feb. 2025, doi: <https://doi.org/10.2196/60845>.

[45] J. A. C. Panceri, É. Freitas, J. C. de Souza, S. da Luz Schreider, E. Caldeira, and T. F. Bastos, “A New Socially Assistive Robot with Integrated Serious Games for Therapies with Children with Autism Spectrum Disorder and Down Syndrome: A Pilot Study,” *Sensors*, vol. 21, no. 24, p. 8414, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21248414>.

[46] D. Casas-Bocanegra *et al.*, “An Open-Source Social Robot Based on Compliant Soft Robotics for Therapy with Children with ASD,” *Actuators*, vol. 9, no. 3, p. 91, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/act9030091>.

[47] S. Cano, J. Díaz-Arancibia, J. Arango-López, J. E. Libreros, and M. García, “Design Path for a Social Robot for Emotional Communication for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD),” *Sensors*, vol. 23, no. 11, p. 5291, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23115291>.

[48] L. J. Wood, A. Zaraki, B. Robins, and K. Dautenhahn, “Developing Kaspar: A Humanoid Robot for Children with Autism,” *International Journal of Social Robotics*, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00563-6>.

[49] V. Holeva *et al.*, “Effectiveness of a Robot-Assisted Psychological Intervention for Children with Autism Spectrum Disorder,” *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 54, p. 1, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05796-5>.

[50] I. van den Berk-Smeekens *et al.*, “Pivotal Response Treatment with and without robot-

assistance for children with autism: a randomized controlled trial,” *European Child & Adolescent Psychiatry*, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s00787-021-01804-8>.

[51] S. Ali, F. Mehmood, Y. Ayaz, M. J. Khan, H. Sadia, and R. Nawaz, “Comparing the Effectiveness of Different Reinforcement Stimuli in a Robotic Therapy for Children With ASD,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 13128–13137, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2965204>.

[52] S. Annunziata *et al.*, “Interactive mirroring Games with sOCial rObot (IOGIOCO): a pilot study on the use of intransitive gestures in a sample of Italian preschool children with autism spectrum disorder,” *Frontiers in Psychiatry*, vol. 15, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2024.1356331>.

[53] M. Pivetti, S. Di Battista, F. Agatolio, B. Simaku, M. Moro, and E. Menegatti, “Educational Robotics for children with neurodevelopmental disorders: A systematic review,” *Heliyon*, vol. 6, no. 10, p. e05160, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05160>.

[54] A. Raptopoulou, A. Komnidis, P. D. Bamidis, and A. Astaras, “Human–robot interaction for social skill development in children with ASD: A literature review,” *Healthcare Technology Letters*, vol. 8, no. 4, May 2021, doi: <https://doi.org/10.1049/htl2.12013>.

[55] A. Kouroupa, K. R. Laws, K. Irvine, S. E. Mengoni, A. Baird, and S. Sharma, “The use of social robots with children and young people on the autism spectrum: A systematic review and meta-analysis,” *PLoS ONE*, vol. 17, no. 6, p. e0269800, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269800>.

[56] A. Puglisi *et al.*, “Social Humanoid Robots for Children with Autism Spectrum Disorders: A Review of Modalities, Indications, and Pitfalls,” *Children*, vol. 9, no. 7, p. 953, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/children9070953>.

[57] Emma Holly Palermo *et al.*, “A Digital Mental Health App Incorporating Wearable Biosensing for Teachers of Children on the Autism Spectrum to Support Emotion Regulation: Protocol for a Pilot Randomized Controlled Trial,” *JMIR Research Protocols*, vol. 12, pp. e45852–e45852, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.2196/45852>.

[58] L. Levy, Asmare Ambaw, E. Ben-Itzhak, and Eldad Holdengreber, “A real-time

environmental translator for emotion recognition in autism spectrum disorder,” *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83229-2>.

[59] L. Hammond *et al.*, “BCI move: exploring pediatric BCI-controlled power mobility,” *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 19, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1456692>.

[60] P. Landete *et al.*, “Obstructive sleep apnea in adults with Down syndrome,” *American Journal of Medical Genetics Part A*, vol. 182, no. 12, pp. 2832–2840, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.61853>.

[61] Miroslava Migovich, Akshith Ullal, C. Fu, S. U. Peters, and N. Sarkar, “Feasibility of wearable devices and machine learning for sleep classification in children with Rett syndrome: A pilot study,” *DIGITAL HEALTH*, vol. 9, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1177/20552076231191622>.

[62] R. B. Wilson, S. Vangala, D. Elashoff, T. Safari, and B. A. Smith, “Using Wearable Sensor Technology to Measure Motion Complexity in Infants at High Familial Risk for Autism Spectrum Disorder,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, no. 2, p. 616, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21020616>.

[63] Rama Krishna Thelagathoti and H. H. Ali, “Quantitative Approaches for Detecting Early Childhood Developmental Disorders using Wireless Sensors and Mobility Data,” *International Journal on Advances in Life Sciences*, vol. 14, no. 12, p. 48, Jul. 2022, Available:

https://www.researchgate.net/publication/363156881_Quantitative_Approaches_for_Detecting_Early_Childhood_Developmental_Disorders_using_Wireless_Sensors_and_Mobility_Data

[64] J. S. Michelsen, M. C. Lund, T. Alkjær, T. Finni, J. B. Nielsen, and J. Lorentzen, “Wearable electromyography recordings during daily life activities in children with cerebral palsy,” *Developmental Medicine & Child Neurology*, vol. 62, no. 6, pp. 714–722, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14466>.

[65] M. Sarajchi, M. K. Al-Hares, and K. Sirlantzis, “Wearable Lower-Limb Exoskeleton for Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review of Mechanical Design, Actuation Type, Control Strategy, and Clinical Evaluation,” *IEEE Transactions on Neural Systems*

and *Rehabilitation Engineering*, pp. 1–1, 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/tnsre.2021.3136088>.

[66] B. C. Conner, M. H. Schwartz, and Z. F. Lerner, “Pilot evaluation of changes in motor control after wearable robotic resistance training in children with cerebral palsy,” *Journal of Biomechanics*, vol. 126, p. 110601, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110601>.

[67] E. Beani *et al.*, “Wearable sensors for measuring spontaneous upper limb use in children with unilateral cerebral palsy and typical development,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 22, no. 1, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01601-3>.

[68] C. R. Hoyt *et al.*, “Using accelerometry for measurement of motor behavior in children: Relationship of real-world movement to standardized evaluation,” *Research in Developmental Disabilities*, vol. 96, p. 103546, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.103546>.

[69] C. G. Barral and L. Servais, “Wearable sensors in paediatric neurology,” *Developmental Medicine & Child Neurology*, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.16239>.

[70] María García-Galant *et al.*, “A randomized controlled trial of a home-based computerized executive function intervention for children with cerebral palsy,” *European Journal of Pediatrics*, vol. 182, no. 10, pp. 4351–4363, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00431-023-05072-3>.

[71] C. O’Farrelly *et al.*, “A video-feedback parenting intervention to prevent enduring behaviour problems in at-risk children aged 12–36 months: the Healthy Start, Happy Start RCT,” *Health Technology Assessment*, vol. 25, no. 29, pp. 1–84, May 2021, doi: <https://doi.org/10.3310/hta25290>.

[72] C. Peter *et al.*, “E-coaching for parents of children with autism spectrum disorder: Protocol for a randomized controlled trial,” *Annals of the New York Academy of Sciences*, Apr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1111/nyas.15320>.

[73] Y. Shin, E. J. Park, and A. Lee, “Early Intervention for Children With Developmental Disabilities and Their Families via Telehealth: Systematic Review,” *Journal of medical*

Internet research, vol. 27, p. e66442, 2025, doi: <https://doi.org/10.2196/66442>.

[74] T. Smythe, M. Zuurmond, C. J. Tann, M. Gladstone, and H. Kuper, “Early intervention for children with developmental disabilities in low and middle-income countries – the case for action,” *International Health*, vol. 13, no. 3, pp. 222–231, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1093/inthealth/ihaa044>.

[75] A. L. Wainer, Z. E. Arnold, C. Leonczyk, and L. Valluripalli Soorya, “Examining a stepped-care telehealth program for parents of young children with autism: a proof-of-concept trial,” *Molecular Autism*, vol. 12, no. 1, May 2021, doi: <https://doi.org/10.1186/s13229-021-00443-9>.

[76] C. B. Klein *et al.*, “Implementation of Video Feedback Within a Community Based Naturalistic Developmental Behavioral Intervention Program for Toddlers With ASD: Pilot Study,” *Frontiers in psychiatry*, vol. 12, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.763367>.

[77] M. I. J. Snijder, C. Dietz, M. van Andel, E. L. M. Ruiter, J. K. Buitelaar, and I. J. Oosterling, “Social COmmunication Program supported by E-health (SCOPE) for infants and toddlers at elevated likelihood of autism spectrum disorder: study design of a cluster randomized controlled trial,” *BMC Psychiatry*, vol. 22, no. 1, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1186/s12888-022-04351-x>.

[78] S. M. Merrill *et al.*, “Telehealth Parenting Program and Salivary Epigenetic Biomarkers in Preschool Children With Developmental Delay,” *JAMA Network Open*, vol. 7, no. 7, pp. e2424815–e2424815, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.24815>.

[79] D. M. Bagner *et al.*, “Telehealth Treatment of Behavior Problems in Young Children With Developmental Delay,” *JAMA Pediatrics*, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.5204>.

[80] I. Voinsky, O. Y. Fridland, A. Aran, R. E. Frye, and D. Gurwitz, “Machine Learning-Based Blood RNA Signature for Diagnosis of Autism Spectrum Disorder,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 3, p. 2082, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ijms24032082>.