

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΤΙΚΩΝ ΔΙΕΠΑΦΩΝ ΩΣ  
ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ  
ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ»



Της φοιτήτριας  
Εκίζογλου Ελένη  
Αρ. Μητρώου:154445

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο Κοκκώνης  
Γεώργιος  
Βαθμίδα .....

**Ημερομηνία .....**

Τίτλος Δ.Ε.Η χρήση των απτικών διεπαφών ως υποστηρικτική τεχνολογία σε άτομα με ειδικές ανάγκες

Κωδικός Δ.Ε. ...

Όνοματεπώνυμο φοιτήτριας Εκίζογλου Ελένη

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κοκκώνη Γεώργιος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε 18/11/2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Εκίζογλου Ελένης που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιέρωση»*



## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην χρήση των απτικών διεπαφών ως υποστηρικτική τεχνολογία για άτομα με ειδικές ανάγκες. Διάλεξα να εκπονήσω την εργασία αυτή γιατί είχε πολύ ενδιαφέρον και ήθελα να μελετήσω τα άτομα με ειδικές ανάγκες για να μάθω πως αντιδρούν, αντιλαμβάνουν και αλληλεπιδρούν σε διάφορες καταστάσεις αλλά και τι δυσκολίες αντιμετωπίζουν σε πολλούς τομείς όπως την όραση, την ακοή την επικοινωνία και την κινητικότητα. Η ανάπτυξη της εργασίας γίνεται σε έξι ενότητες που θα τις αναλύσουμε στη συνέχεια.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη χρήση των απτικών διεπαφών, εστιάζοντας στον ρόλο τους στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή και σε εφαρμογές επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας . Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των απτικών διεπαφών, περιγράφοντας τη λειτουργία τους και την επιστήμη της απτικής αίσθησης. Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην τεχνολογική ανάπτυξη και στα συστήματα που χρησιμοποιούν απτική ανατροφοδότηση, όπως γάντια, ρομποτικοί βραχίονες και φορητές συσκευές. Το τρίτο κεφάλαιο αναλύει τις εφαρμογές των απτικών διεπαφών σε τομείς όπως η ιατρική, η εκπαίδευση, η βιομηχανία και τα παιχνίδια. Το τέταρτο κεφάλαιο εξετάζει τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις, όπως η βελτίωση της εμπύθισης αλλά και οι τεχνικές και ηθικές δυσκολίες. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μελλοντικές προοπτικές, με έμφαση στη διεπιστημονική συνεργασία, τη βελτίωση του ρεαλισμού και τη διεύρυνση των εφαρμογών. Συνολικά η εργασία καταδεικνύει τη δυναμική των απτικών διεπαφών ως ένα καινοτόμο μέσο επικοινωνίας με τις τεχνολογίες του μέλλοντος.

«The use of haptic interfaces as assistive technology for people with special needs»

«The use of haptic interfaces as assistive technology for people with special needs»

## **Abstract**

This study examines the use of haptic interfaces, focusing on their role in human-computer interaction and in augmented and virtual reality applications, especially for people with special needs. The first chapter presents the theoretical background of haptic interfaces, describing their function and the science of haptic sensing. The second chapter focuses on the technological development and systems using haptic feedback, such as gloves, robotic arms and wearable devices. The third chapter discusses the applications of haptic interfaces in areas such as medicine, education, industry and games. The fourth chapter discusses the advantages and challenges, such as improving immersion as well as technical and ethical difficulties. Finally, chapter five presents future perspectives, with a focus on interdisciplinary collaboration, improving realism and broadening applications. Overall, the paper demonstrates the potential of haptic interfaces as an innovative means of communicating with the technologies of the future.

## **Ευχαριστίες**

Φτάνοντας στο τέλος των σπουδών μου θα ήθελα ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την στήριξή τους και την βοήθεια τους όλα αυτά τα χρόνια καθώς και τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Κοκκώνη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη, το ενδιαφέρον και τις συμβουλές του στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	6
Περίληψη.....	7
Abstract.....	8
Ευχαριστίες.....	9
Περιεχόμενα.....	10
Κατάλογος Εικόνων.....	12
Συντομογραφίες.....	16
Κεφάλαιο 1ο:Εισαγωγή.....	17
17	
1.1 Εισαγωγή.....	17
Κεφάλαιο 2ο:Απτικές τεχνολογίες .....	20
2.1 Τεχνητό δέρμα.....	20
2.2 Ψευδο-απτικά, πολυτροπικά και οπτικά απτικά.....	26
2.3 Εναλλακτικές απτικές αισθήσεις.....	29
2.4 Απτική της οθόνης αφής.....	30
2.5 Αλληλεπίδραση της κίνησης του σώματος και της απτικής.....	30
Κεφάλαιο 3ο:Απτικές διεπαφές και τεχνολογίες ενεργοποίησης και ανατροφοδότησης .....	32
3.1 Εισαγωγή.....	32
3.2 Γενικές ιδιότητες των απτικών διεπαφών.....	32
3.2.1 Επίγειες έναντι φορητών διεπαφών.....	32
3.2.2 Ενεργητική έναντι παθητικής αφής.....	33
3.2.3 Διεπαφές άμεσης, διαλείπουσας και έμμεσης επαφής.....	33
3.3 Διεπαφές αφής.....	34
3.3.1 Δονητική ανατροφοδότηση.....	34
3.3.2 Ανατροφοδότηση μέσω επαφής και πίεσης.....	34
3.3.3 Θερμική ανάδραση.....	35
3.3.4 Ηλεκτρική ανατροφοδότηση.....	35
3.4 Κιναισθητικές διεπαφές.....	35
3.4.1 Ανατροφοδότηση με βάση τη δύναμη.....	36
3.4.2 Συσκευές εξωσκελετού.....	36

3.4.3	Λειτουργική ηλεκτρική διέγερση.....	37
	Κεφάλαιο 4ο: Απτική τεχνολογία και γενικοί τομείς εφαρμογή .....	39
4.1	Εισαγωγή.....	39
4.2	Ιατρική.....	39
4.3	Παιχνίδια, παιχνιδοποίηση και τηλεχειρισμός.....	43
4.4	Αποκατάσταση.....	45
4.5	Προσωπική βοήθεια.....	46
	Κεφάλαιο 5ο: Η απτική στις ανάγκες της ειδικής εκπαίδευσης .....	48
5.1	Εισαγωγή.....	48
5.2	Άτομα με προβλήματα όρασης.....	49
5.3	Βοηθήματα γραφής.....	54
5.4	Άτομα με κινητική αναπηρία.....	55
5.5	Άτομα με γνωστικές διαταραχές.....	60
5.6	Άτομα με προβλήματα ακοής.....	66
	Κεφάλαιο 6ο: Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις .....	67
	Συμπέρασμα.....	70
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1	Απτικές τεχνολογίες και συσχετισμός τους με άλλες τεχνολογίες (Irigoyen et al., 2024).....	17
Εικόνα 2	α) Ενώ βρίσκεται σε VR ο χρήστης βιώνει μια έκρηξη που πυροδοτεί ηλεκτρικούς σπινθήρες παντού (β, γ) συμπεριλαμβανομένης της διεπαφής του χεριού του. (δ) Καθώς συμβαίνει αυτό, η συσκευή παρέχει sanshool στο δέρμα του χρήστη προκαλώντας μια αίσθηση Μυρμηγκιάσματος.....	21
Εικόνα 3	(a,b,c) Καθώς ο χρήστης βγαίνει έξω σε ένα χειμωνιάτικο τοπίο, αισθάνεται μια αίσθηση ψύξης στο μάγουλο του. (d) Αυτό αποδίδεται μέσω της μενθόλης που διοχετεύεται μέσω προσαρτημένων επιθεμάτων σιλικόνης στα μάγουλα του.(Lu et al., 2021).....	22
Εικόνα 4	(a) Ο χρήστης παρατηρεί ότι το χέρι γίνεται ολογραφικό και αρχίζει να παρουσιάζει δυσλειτουργίες. (b,c) Όταν ο χρήστης προσπαθεί να πατήσει ένα κουμπί, αισθάνεται ότι το χέρι του είναι μουνδιασμένο στην αφή. (d) Αυτό αποδίδεται μέσω της λιδοκαΐνης που εφαρμόζεται στην περιοχή. (Lu et al., 2021). .....	22
Εικόνα 5	(a) Στην εικονική πραγματικότητα, ο πυρηνικός αντιδραστήρας λάμπει με κόκκινο χρώμα και βρίσκεται στα πρόθυρα της τήξης. (b) Ο χρήστης βρίσκει τη χειροκίνητη παράκαμψη και τραβάει το μοχλό.(c) Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται η κατάρρευση. (d) Η θερμοκρασία του καυτού δωματίου αποδίδεται από την καψαϊκίνη που παρέχεται στα Μάγουλα.....	23
Εικόνα 6	Απτικά τοποθετημένα ανάμεσα σε στρώματα σιλικόνης (EPFL, 2019).....	24
Εικόνα 7	Περιοχές απτικής ανάδρασης στη στολή του Teslasuit α) Μπροστά β) Πίσω.....	24
Εικόνα 9	Ελαστικό σύστημα εισόδου. Τα πόδια του χρήστη έλκονται προς τα πάνω (αριστερό σχήμα) ή προς τα κάτω (δεξί σχήμα) από ελαστικές ταινίες. (Hirao et al., 2024).....	26
Εικόνα 10	Απεικόνιση της αναλογίας ελέγχου/εμφάνισης (αναλογία CD). Κατά τη διάρκεια της σύρσης η πραγματική κίνηση του δείκτη (έλεγχος - απεικονίζεται στην αριστερή πλευρά) πολλαπλασιασμένη με την αναλογία CD είναι η κίνηση του οπτικά παρουσιασμένου δείκτη (απεικόνιση – απεικονίζεται στη δεξιά πλευρά). Όταν το εικονικό αντικείμενο δεν σύρεται από τον οπτικά παρουσιαζόμενο δείκτη, οι πραγματικές κινήσεις του δείκτη και του οπτικά παρουσιαζόμενου δείκτη ήταν οι ίδιες.(Ban & Ujitoko.2023).....	27
Εικόνα 11	Αλληλεπίδραση ήχου και αφής. (α) Απεικόνιση του πολυτροπικού πειράματος με ηχητική ανατροφοδότηση που προέρχεται από την απτική υφή. (Bernard et 2022).....	27
Εικόνα 12	Έκθεση Tate Sensorium στην Tate Britain το 2015. (a) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου Interior II (1964) του Richard Hamilton. Η απεικόνιση δείχνει έναν συμμετέχοντα να βιώνει τον πρώτο πίνακα, συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την όσφρηση. (b) Στιγμιότυπο εγκατάστασης Full Stop(1961) του John Latham. Εικονογράφηση ενός συμμετέχοντα που βιώνει τον δεύτερο πίνακα συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την αφή ( με το απτικό μοτίβο να προβάλλεται στο δεξί χέρι του χρήστη). (c) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου In the Hold (1913-4) του David Bomberg Απεικόνιση ενός χρήστη που βιώνει τον τρίτο πίνακα συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την όσφρηση(κρατώντας ένα τρισδιάστατα εκτυπωμένο αντικείμενο μυρωδιάς κοντά στη μύτη του). (d) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου Figure in a Landscare (1945) του Francis Bacon. Απεικόνιση ενός χρήστη που βιώνει την τέταρτη ζωγραφική συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και τη γεύση (τρώγοντας ένα κομμάτι σοκολάτας με πολλαπλά συστατικά, δηλαδή κάρβουνο,θαλασσινό αλάτι , κόκκους κακάο και καπνιστό τσάι.....	28
Εικόνα 13	Η οθόνη «φιδιού»: (α) η συστοιχία αισθητήρων, (β) το προστατευτικό μανίκι και (γ)το γάντι που συγκρατεί τη συστοιχία αισθητήρων στο αντιβράχιο. Ο κόκκινος κύκλος στο (α) υποδεικνύει τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κατωφλίου αντίχενυσης. Τα ορθογώνια υποδεικνύουν τις 6 θέσεις	

ενεργοποίησης στη συστοιχία αισθητήρων, καθώς οι δυο αισθητήρες σε κάθε ορθογώνιο οδηγήθηκαν με πανομοιότυπες κυματομορφές (Severngini et al., 2021).....	30
Εικόνα 14 Δοκιμαστικές φιγούρες με προσανατολισμό σώματος (α) και προσανατολισμό κεφαλής (β) από αριστερά προς τα δεξιά: φώκια/περίπατος, κύκνος/ελέφαντας και πιγκουίνος/giraffe (Camermans et al., 2019).	31
Εικόνα 15 Φορεσιμότητα στις απτικές συσκευές: από τις γειωμένες απτικές διεπαφές σε πιο φορητά και φορητά σχέδια (α) ENTROPIA , ένα κυλινδρικό περιστρεφόμενο στήριγμα που συνδέεται σε ένα ρομπότ για την παροχή εικονικής υφής (Mercado et al., 2019) (β) ένας εξωσκελετός χεριού για φυσική ρίψη (Lucas et al., 2024) (γ) μια δερματική οθόνη που παρέχει κανονικά και διατμητικά ερεθίσματα (Pacchierotti et al., 2016).....	32
Εικόνα 16 Ενωσιολογικό σχήμα μίας διεπαφής διαλείπουσας επαφής: ένα απτό αντικείμενο έρχεται σε επαφή με το χέρι όταν το δάχτυλο πιάνει μια εικονική μπάλα (de Tinguy et., 2020).....	33
Εικόνα 17 Το σύστημα UltraHaptics. Αριστερά: το υλικό Κέντρο: προσομοίωση δυο εστιακών σημείων, με το χρώμα να αντιπροσωπεύει τη φάση και τη φωτεινότητα το πλάτος Δεξιά: λήψη δυο ανεξάρτητων σημείων ανατροφοδότησης κατά την εκτέλεση μιας χειρονομίας τσιμπήματος (Carter et al., 2013).....	34
Εικόνα 18 Η απτική διεπαφή δακτύλων (Frisoli et al., 2008).....	35
Εικόνα 19 Το πρωτότυπο της φορητής απτικής οθόνης τριών DoFs: οι αισθητήρες δύναμης στην κινητή πλατφόρμα μετρούν την κανονική συνιστώσα της δύναμης που ασκείται στα άκρα του δακτύλου. (Chinello et al., 2012).....	36
Εικόνα 20 Ένα ανεπτυγμένο BCI , συνδεδεμένο on-line με έναν ρομποτικό εξωσκελετό χεριού για την κάμψη και την έκταση των Δακτύλων.....	37
Εικόνα 21 Ένα σύμπλεγμα BCI-εξωσκελετού. Ένα μπλοκ διάγραμμα του συμπλέγματος BCI που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη: 1-32 ηλεκτρόδια EEC Ag/AgCl, 2-a εγκεφαλογράφος NVX 52(Medical Computer Systems Ρωσία)- 3-a υπολογιστής (OS Windows7): μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αναγνώριση λειτουργικών παραμέτρων HEG, αναγνώριση εντολής οδήγησης- 4-a οθόνη παρουσίασης – 5-a εξωσκελετός χεριών (Neurobotics Ρωσία) με πνευματικούς ενεργοποιητές των εκτεινόντων των δακτύλων και των καμπτήρων των ελατηρίων- απεικονίζονται οι διαμορφώσεις του εξωσκελετού σε λυγισμένη και εκτεταμένη κατάσταση. Το διακεκομμένο βέλος υποδηλώνει οπτική ανατροφοδότηση και το συμπαγές βέλος υποδηλώνει κινητική ανατροφοδότηση(Frolov et al., 2017).....	38
Εικόνα 22 Δείγματα οδηγιών στα ισπανικά, ταϊλανδέζικα/ινδονησιακά και αγγλικά από το πρόγραμμα εκπαίδευσης σε θέματα υγείας των Ανθρώπων Χωρίς Σύνορα (Mason & Mason,2009).....	40
Εικόνα 23 Πειραματική διάταξη: Ο συμμετέχων στέκεται στα αριστερά για να κρατάει τη λαβίδα και ο εκπαιδευτής στα δεξιά για να τοποθετεί τους ιστούς μπροστά από το άκρο της λαβίδας (Allelas et al., 2017)....	41
Εικόνα 24 Συσκευή απτικής ανάδρασης Unidental τοποθετημένη στη μονάδα D-Carving.(Pang et al 2022)....	42
Εικόνα 25 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον: (α) Meta-Inside Reality Labs: Φέρνοντας την αφή στον εικονικό κόσμο.(β) Teenage Engineering Rumble: ένα βιδωτό απτικό υπογούφερ για το OP-Z (γ) Hapticast: Εβδομαδιαίο podcast με απτικό υλικό γεμάτο με ειδήσεις για παιχνίδια.( Irigoyen et al., 2024).....	44
Εικόνα 26 Τηλεμετρική απτική απόδοση για βελτίωση της εμπειρίας των αγωνιστικών παιχνιδιών (Lee et al., 2024).....	44
Εικόνα 27 Ένα σενάριο εφαρμογής του συστήματος. Μια κάμερα βάθους , οθόνη αφής και μια συστοιχία μικροφώνων εγκαθίστανται σε ένα περιστρεφόμενο βραχίονα δίπλα στο κρεβάτι. Μια απτική χειρολαβή και ένα βραχιόλι μωσηλεκτρικής συστοιχίας τοποθετούνται στο πλευρό του κρεβατιού. Ένας χρήστης επιλέγει	

διαφορετικές λειτουργίες για να εκφράσει απαιτήσεις . Υπό τη διαχείριση ενός κεντρικού υπολογιστή, το ρομπότ υπηρεσίας και το έξυπνο οικιακό σύστημα συνεργάζονται για να παρέχουν κάποια βοήθεια για την ανεξάρτητη διαβίωση, όπως η ανάληψη εργασιών και ο χειρισμός οικιακών συσκευών. (Qin et al., 2023).....	46
Εικόνα 28 Πρωτοποριακά χαρακτηριστικά μέσα στο λεπτό και ελαφρύ σχήμα ενός συνηθισμένου λευκού μπαστουιού. Μοιάζει με λευκό μπαστούνι, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα έξυπνο μπαστούνι. ( <a href="https://wewalk.io/en/product/">https://wewalk.io/en/product/</a> ).....	47
Εικόνα 29 Η πειραματική διάταξη για τη μελέτη δι-χειροκίνητου χτυπήματος χεριών ανθρώπου-ρομπότ.(Fitter & Kutchenecker, 2018) .....	49
Εικόνα 30 (a) Ακίδα σε σχήμα διπλού L για τις 1,3,4,6 τελείες. (b) ρελέ-διακόπτης με εκτεθειμένο κινητό σημείο επαφής. (c) Ενεργοποιητής για τις κουκκίδες 1,3,4,6. Ο πειρός είναι προσαρτημένος στον ηλεκτρονόμο. (Saikot & Sanim, 2022) .....	50
Εικόνα 31 Σχηματική επισκόπηση του χρησιμοποιούμενου συστήματος.....	51
Εικόνα 32 <b>a)</b> Οι τέσσερις χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη με τον Βορρά στην κορυφή. Σημειώστε καθώς οι χάρτες διαφέρουν μόνο ως προς την εικονική θέση του στόχου που υποδεικνύεται από το μοναδικό υπερυψωμένο ταξιθέτη μέσα στο δωμάτιο- <b>(b)</b> κάθε χάρτης μπορούσε να εμφανιστεί είτε σε μη περιστρεφόμενη κατάσταση (αριστερά) είτε σε περιστρεφόμενη κατάσταση (δεξιά), ανάλογα με τη θέση Βορρά, με εξισορροπημένη σειρά – <b>(c)</b> ο χάρτης Β εμφανίζεται χωρίς περιστροφή στο BlindPAD, τον πίνακα συστοιχίας ακίδων που χρησιμοποιήσαμε στη μελέτη. Οι κόκκινες γραμμές επισημαίνουν τους τοίχους και τη θέση του στόχου.(Brayda et al., 2018).....	51
Εικόνα 33 Κύρια στοιχεία και λειτουργίες της διεπαφής. Ένας εκπαιδευτής στέλνει τις εντολές ιπασίας μέσω εφαρμογής έξυπνου τηλεφώνου και παρακολουθεί την ιπασία – οι εντολές εμφανίζονται σε έναν κωφάλαλο αναβάτη με απτικές ενδείξεις – ο αναβάτης αισθάνεται τις κινήσεις του αλόγου μέσω απτικών και αιθουσαίων αισθητηριακών ενδείξεων (Ogrine et al., 2018).....	52
Εικόνα 34 Αρχιτεκτονική συστήματος (Espinosa-Castaneda, 2021).....	54
Εικόνα 35 «Hapkit», μια κινητική απτική συσκευή χαμηλού κόστους ανοικτού κώδικα, για χρήση σε εκπαιδευτικές εφαρμογές. (Orta- Martine et al 2020).....	55
Εικόνα 36 Το παιδί διαγράφει μια τρισδιάστατη διαδρομή που αναπαριστάται στην οθόνη του φορητού υπολογιστή (α), χρησιμοποιώντας το στυλό που είναι προσαρτημένο στη ρομποτική συσκευή (β).(Shire et at., 2016).....	57
Εικόνα 37 Το PHANTOM Omni με την οθόνη που απεικονίζει τη διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμασίες της αρχικής και της μεταδοκιμασίας. Β), Γ), Δ) Απεικονίσεις των διαδρομών που χρησιμοποιήθηκαν κατά εκπαίδευση στο έργο τρισδιάστατης ιχνογράφησης. (Snapp-Childs et al.,2016).....	59
Εικόνα 38 Σχηματικό διάγραμμα της συσκευής εργασιών διασταυρούμενης συγκρισης.(Alexander et al., 2002) .....	61
Εικόνα 39 Καθήκοντα αντιπροσώπευσης και ανταμοιβής (Valori et al., 2023).....	64
Εικόνα 40 Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. (Α) Σε μια δοκιμή διπλής τροποποίησης ο συμμετέχων βλέπει τα οπτικά ερεθίσματα στο μπροστινό μέρος μιας αφαιρούμενης κασέτας ενώ εξερευνά τα απτικά ερεθίσματα στο πίσω μέρος της κασέτας χρησιμοποιώντας τον αντίχειρα και τον δείκτη του κυρίαρχου χεριού του (Β) Κατά τη διάρκεια του διαστήματος μεταξύ των ερεθισμάτων, ο συμμετέχων επιστρέφει το χέρι του στο στήριγμα του βραχίονα και τα γυαλιά PLATO ήταν κλειστά, ενώ ο πειραματιστής άλλαζε την Κασέτα.....	65



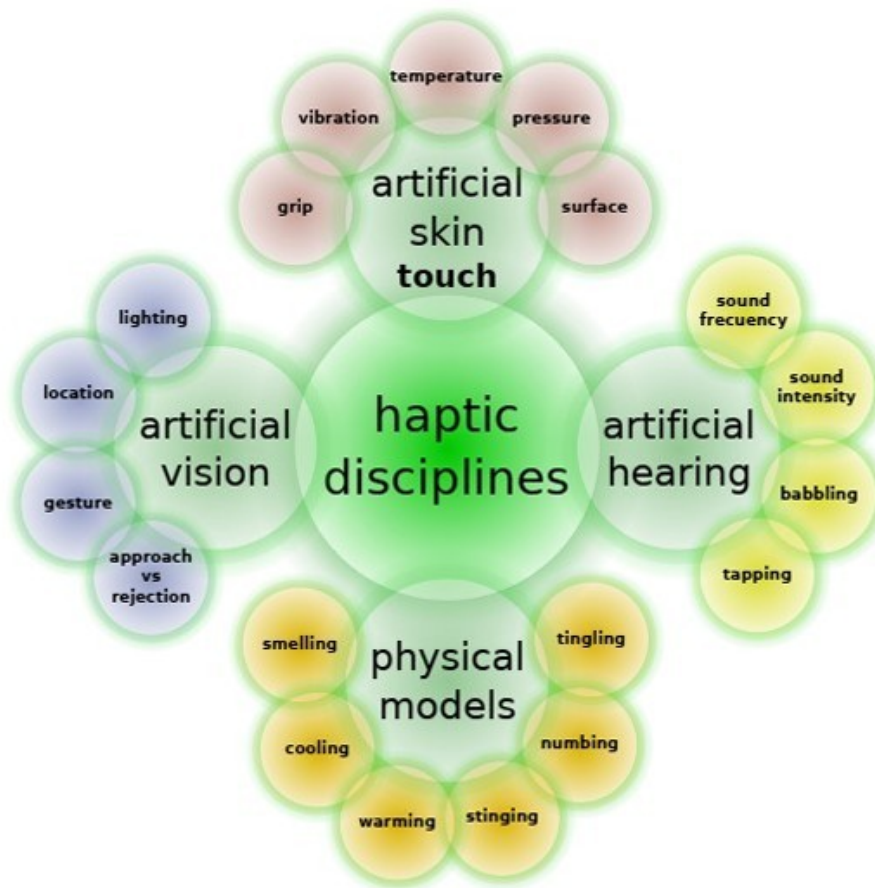
## Συντομογραφίες

STEM	Science, Technology, Engineering
VR	Virtual Reality (Εικονική πραγματικότητα)
EPEL	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
DOF	Depth of Field
MVR	Motor Vehicle Record
EEG	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
IMV	Initial Market Valuation
LP	Lap Pat
SPT	Symbolic Play Test
ToPP	Test of Pretend Play
MLE	Maximum Likelihood Estimation (Μέγιστη Εκτίμηση Πιθανότητας)
TN	Τεχνητή Νοημοσύνη
ML	Μηχανική Μάθηση
LLM	Γλωσσικά Μοντέλα
VLM	Μοντέλα μετατροπής όρασης σε γλώσσα
LVM	Μοντέλα μετατροπής γλώσσα σε όρασης
CKAT	Clinical Kinematic Assessment Tool
ΔΦΑ	Διεθνές Φωνητικό Αλφάβητο
ΔΕΠΥ	Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
pDCD	Pre Descemet's Dystrophy of the Cornea

## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγή

Στις αρχές του 21ου αιώνα υπήρχαν ήδη προτάσεις για φουτουριστικά συστήματα μάθησης του ανθρώπου που αναπτύσσονταν σε εικονικά ψηφιακά περιβάλλοντα. Εκείνη την εποχή, τα σχέδια για αυτά τα περιβάλλοντα ήταν κυρίως γραφικά και οπτικά. Οι προτάσεις εξελίχθηκαν πρόσφατα σε περιβάλλοντα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας που εξετάζουν ποικίλες αντιληπτικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων απτικών αλληλεπιδράσεων και άλλων λιγότερο συνηθισμένων λειτουργιών, όπως η παρακολούθηση με τα μάτια. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1, τα ψηφιακά εικονικά περιβάλλοντα είναι γεμάτα από εργαλεία που ενισχύουν την εμπύηση του χρήστη και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων των απτικών συσκευών (Irigoyen et al., 2024)[37]



Εικόνα 1 Απτικές τεχνολογίες και συσχετισμός τους με άλλες τεχνολογίες (Irigoyen et al., 2024)

Ωστόσο, η συζήτηση σχετικά με τις εκπαιδευτικές ανάγκες απέχει πολύ από το να περιορίζεται στον ψηφιακό τομέα, καθώς για παράδειγμα η συζήτηση σχετικά με την προσοχή που δίνεται στην εκπαίδευση της φωνής για τα παιδιά με ειδικές ανάγκες έχει τεθεί ως σοβαρό ζήτημα από ορισμένους ερευνητές. Η βελτίωση των εκπαιδευτικών διαδικασιών είναι μια εγγενώς διεπιστημονική προσπάθεια που περιλαμβάνει την παιδαγωγική, τη μηχανική, την ψυχολογία, την τέχνη, την ιατρική και την ηλεκτρονική (Almusawi et al., 2021). Επιπλέον, τα άτομα με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες χρειάζονται συχνά ειδικά στοιχεία αλληλεπίδρασης, λόγω των υπανάπτυκτων αισθητηριακών, συμπεριφορικών ή γνωστικών ικανοτήτων τους. Για παράδειγμα μη τυποποιημένοι πόροι, όπως ένα (δωμάτιο ησυχίας), μπορεί να αποδειχθούν ευεργετικοί για τα παιδιά με δυσπροσαρμοστικές συμπεριφορές, ενώ η χρήση συσκευών/εφαρμογών αυτοελέγχου μπορεί να ενισχύσει τη συγκέντρωση άλλων μαθητών στην εργασία (Marwati et al., 2023).[48]

Η μελέτη των απτικών διεπαφών είναι ένας αναπτυσσόμενος ερευνητικός τομέας που επικεντρώνεται στην ανθρώπινη αφή και στην αλληλεπίδραση με το περιβάλλον μέσω της αφής. Ο όρος απτική μπορεί να οριστεί ως «αισθητική ή/και κινητική δραστηριότητα του δέρματος, των μυών, των αρθρώσεων και των τενόντων» (Fleury et al., 2020).[27]

Οι απτικές τεχνολογίες ασχολούνται με την ένταση, τη διάρκεια, τη θέση, τη μετατόπιση και τη σύνθεση της αίσθησης της επαφής, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας σημασιολογικών αναπαραστάσεων των απτικών αισθητηριακών δεδομένων ή γενικότερα με τις αισθήσεις που παράγονται από το δέρμα (δερματικές αισθήσεις). Αν και η απτική αλληλεπίδραση δεν έχει λάβει τόση προσοχή όσο η οπτική αλληλεπίδραση, η σημασία της έχει αναδειχθεί τον τελευταίο καιρό. Πράγματι έχει αποδειχθεί ότι ο συνδυασμός οπτικών και απτικών διεπαφών ενισχύει την εκπαίδευση για την ανάπτυξη οπτικοκινητικών δεξιοτήτων και τη χωρική κωδικοποίηση αντικειμένων (Bara et al., 2011)[6]

Άλλοι ερευνητές έχουν προτείνει τις απτικές αισθήσεις ως πρόδρομες πληροφορίες για συγκεκριμένες εφαρμογές, τονίζοντας τη σημασία της αίσθησης της αφής στις ψηφιακές αναζητήσεις σε βιβλιοθήκες ή σε παιχνιδοποιημένα εκπαιδευτικά προϊόντα που αποσκοπούν στην προώθηση βιώσιμων συμπεριφορών (Wojcik 2019). Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι οι χρήστες μπορούν εύκολα να ερμηνεύσουν πολυκάναλα απτικά σήματα. Ο θετικός αντίκτυπος της απτικής αλληλεπίδρασης στην τυπική μάθηση στα προγράμματα σπουδών STEM έχει επίσης αναγνωριστεί σε πρόσφατες ανασκοπήσεις. Ακόμη και κατά τη διαδικασία εκμάθησης εργασιών γυμναστικής, οι χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από την απτική ενίσχυση των λεκτικών πληροφοριών. Τέλος, τα απτικά έχουν συζητηθεί ως πιθανό εργαλείο για την ενισχυμένη επικοινωνία με τυφλά-κωφά άτομα (Sorgini et al., 2018)[70]

Στην πραγματικότητα οι απτικές τεχνολογίες αποτελούν μέρος των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας εδώ και αρκετό καιρό, παρέχοντας ένα ισχυρό εργαλείο για την ενίσχυση της εμπύθισης του χρήστη. Αντίθετα, η πρόθεση και ο βαθμός εμπλοκής ενός ατόμου που χειρίζεται μια απτική συσκευή μπορεί να προκληθεί από την πίεση, τη λαβή και τη δόνηση της επαφής βελτιώνουν την αλγοριθμική ερμηνεία της απτικής αλληλεπίδρασης σε ορισμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα, είναι δυνατή η αξιολόγηση του βαθμού βεβαιότητας με τον οποίο επιλέγεται ένα αντικείμενο από τον χρήστη σε ένα εικονικό περιβάλλον (Irigoyen et al., 2024)[37]

Η απτική παίζει μεγάλο ρόλο στην αυξανόμενη τάση να ζει κανείς σε εικονικούς κόσμους, όπως προτείνεται από μεγάλες εταιρίες μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Αποτελούν όμως και θεμελιώδες συστατικό των εικονικών χώρων και περιβαλλόντων μάθησης που εξελίσσονται σε τυποποιημένα εργαλεία σε πολλούς τομείς της ιατρικής και της εκπαίδευσης γενικότερα (Bara et al., 2011)[6]

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται μια ανασκόπηση του ευρέος πεδίου των απτικών τεχνολογιών και εφαρμογών, με ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση τους στη χρήση από άτομα που κινδυνεύουν από αποκλεισμό και με ειδικές ανάγκες. Ισχυρό κίνητρο για αυτή την ανασκόπηση ήταν η προώθηση της ανάπτυξης αυτού του είδους συστημάτων για τις ανάγκες ατόμων με δυσκολίες. Λείπει ένα σύστημα καινοτομίας, ακόμη και για τα άτομα που θα έπρεπε να είναι προφανείς στόχοι για την ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων με βάση την απτική, όπως τα τυφλά άτομα. Επομένως, υπάρχει ακόμη μεγάλο περιθώριο για νέες ιδέες και εφαρμογές.

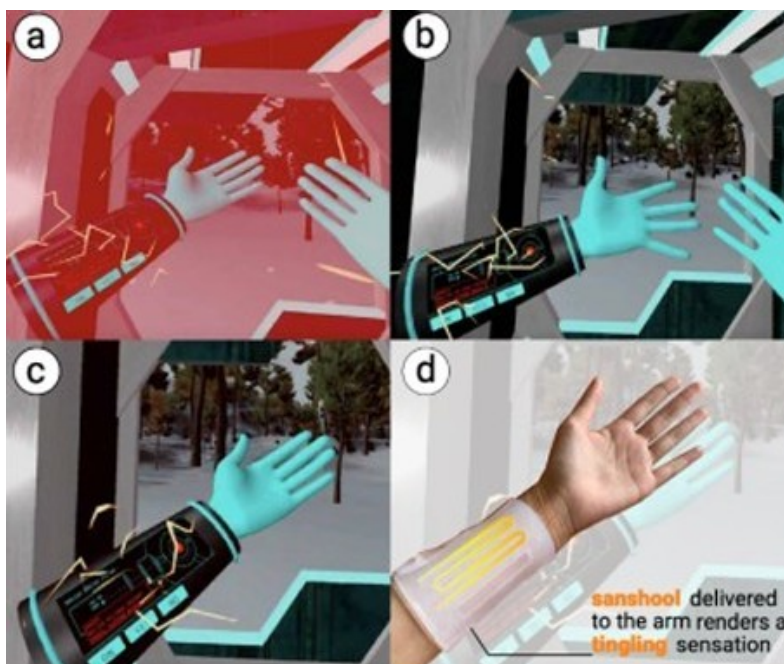
## Κεφάλαιο 2ο: Απτικές τεχνολογίες

### 2.1 Τεχνητό δέρμα

Το ανθρώπινο δέρμα παρέχει πληροφορίες για το περιβάλλον του, εκτός από τις πληροφορίες αφής. Μετρά την θερμοκρασία, τη δόνηση, την πίεση (αντοχή) και τις εγγενείς ιδιότητες των επιφανειών αντικειμένων, όπως η υφή η τραχύτητα και η περιοχή επαφής. Για παράδειγμα, προκειμένου να αυξηθεί η εμπύθιση, σε μια πρόσφατη απτική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ένα χημικά απαγόμενο σύστημα ψύξης ή θέρμανσης του δέρματος, για να δοθεί στον χρήστη η εντύπωση της μείωσης ή αύξησης της θερμοκρασίας σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Αντίθετα, η μέτρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου δέρματος επιτρέπει την αξιολόγηση του πόσο ενεργό και σίγουρο είναι ένα άτομο κατά την εκτέλεση κάποιου είδους εργασίας. (Lu et al., 2021)

Στη μελέτη των Lu et al. (2021), ο χρήστης φοράει δυο από τις φορητές συσκευές: μια συσκευή στα μάγουλα, μεταξύ του προσώπου του χρήστη και του σετ κεφαλής VR, και μια δεύτερη συσκευή που φοριέται ως μανίκι στο αντιβράχιο. Αυτές οι συσκευές είναι αυτόνομες (δηλαδή, τροφοδοτούμενες από μπαταρία και ασύρματες), επικοινωνώντας με το σετ κεφαλής VR μέσω Bluetooth. Για την παροχή χημικών διεγερτικών στο δέρμα η συσκευή χρησιμοποιεί αντλίες που ωθούν τα διεγερτικά μέσα από κανάλια σιλικόνης στην κορυφή του δέρματος- τα κανάλια αυτά είναι ανοιχτά στη βάση τους, ώστε τα υγρά να έρχονται σε άμεση επαφή με το δέρμα. Μόλις ένα διεγερτικό απορροφηθεί από το δέρμα, δημιουργεί μια απτική αίσθηση. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εμπειρία εικονικής πραγματικότητας προήλθαν από έτοιμα, ασφαλή για το δέρμα τοπικά προϊόντα. Σε αυτή την περιήγηση, επιδεικνύονται τέσσερις από τις χημικά προκαλούμενες απτικές αισθήσεις: μυρμηγκιασμα(sanshool), μούδιασμα (λιδοκαΐνη), θέρμανση (καψαϊκίνη) και ψύξη (μενθόλη) (Lu et al., 2021)

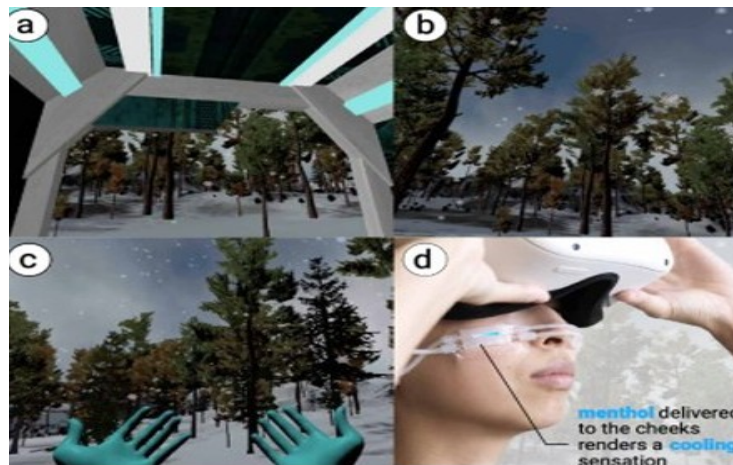
Στην αρχή αυτής της εμπειρίας VR, οι χρήστες βρίσκονται σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο στα πρόθυρα της τήξης, ο στόχος τους είναι να αποτρέψουν την καταστροφή κλείνοντας τον αντιδραστήρα. Χημικά προκαλούμενο μυρμηγκιασμα για την απόδοση ηλεκτρικών σπινθήρων. Αφού ειδοποιηθεί για την επικείμενη τήξη ο χρήστης περπατάει σε έναν διάδρομο που οδηγεί στον πυρήνα του πυρηνικού αντιδραστήρα. Ο χρήστης ανοίγει τις πόρτες χρησιμοποιώντας μια διεπαφή που είναι στερεωμένη στο χέρι το υ( η οποία απεικονίζει έναν χάρτη και κουμπιά αφής για το άνοιγμα των θυρών). Ξαφνικά, αφού ο χρήστης ανοίξει μια πόρτα, ακούγεται μια μεγάλη έκρηξη και ηλεκτρικοί σπινθήρες πέφτουν καταγιστικά στους τοίχους, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2 (a). Όταν συμβαίνει αυτό, ο πίνακας ελέγχου του χρήστη βραχυκυκλώνει όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2 (b,c). Εδώ ο χρήστης όχι μόνο βλέπει ηλεκτρικούς σπινθήρες στο μπράτσο του, αλλά τους αισθάνεται και να μυρμηγκιάζουν το αντιβράχιο του, όπως απεικονίζεται στη Εικόνα 2 (d). Αυτή η απτική αίσθηση δεν δημιουργείται με δονήσεις ή ηλεκτρική διέγερση αλλά με την παροχή σάνσουλας στο αντιβράχιο του χρήστη. Αυτό το αίσθημα μυρμηγκίασης μέσω sanschool βιώνεται συνήθως κατά την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν κόκκους πιπεριού Sichuan (Lu et al., 2021)



Εικόνα 2 α) Ενώ βρίσκεται σε VR ο χρήστης βιώνει μια έκρηξη που πυροδοτεί ηλεκτρικούς σπινθήρες παντού (β, γ) συμπεριλαμβανομένης της διεπαφής του χεριού του. (δ) Καθώς συμβαίνει αυτό, η συσκευή παρέχει sanshool στο δέρμα του χρήστη προκαλώντας μια αίσθηση μυρμηγκιάσματος.

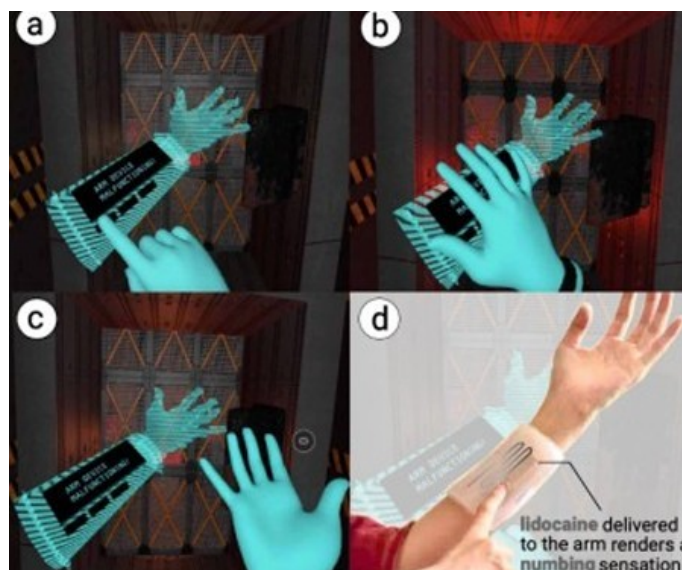
Έπειτα προκαλείται χημικά προκαλούμενη ψύξη για να προσεγγίσει το περπάτημα σε εξωτερικές συνθήκες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για να φτάσει στο πυρηνικό εργοστάσιο ο χρήστης συνεχίζει να ανοίγει τις πόρτες αγγίζοντας τη διεπαφή του χεριού του, η οποία εξακολουθεί να λειτουργεί παρά τους ηλεκτρικούς σπινθήρες. Καθώς ο χρήστης βγαίνει από την τελευταία πόρτα του διαδρόμου, βγαίνει σε ένα χιονισμένο ορεινό τοπίο (Εικόνα 3). Εδώ η δεύτερη συσκευή αποδίδει το κρύο περνώντας ένα 10% διάλυμα μενθόλης στα μάγουλα – η μενθόλη είναι μια χημική ουσία που είναι γνωστό ότι αλληλεπιδρά με τους θερμοϋποδοχείς και προκαλεί μια ψευδαίσθηση ψύξης. Ως εκ τούτου, ο χρήστης αισθάνεται σιγά-σιγά μια αυξανόμενη αίσθηση κρύου καθώς διασχίζει αυτό το χειμωνιάτικο τοπίο (Lu et al., 2021).

Αφού το διασχίσει ο χρήστης εισέρχεται στις κεντρικές εγκαταστάσεις του αντιδραστήρα και η συσκευή στα μάγουλα σταματά να διεγείρει αφήνοντας την αίσθηση ψύξης να εξασθενεί αργά – παρόμοια με το πως το δέρμα μας θερμαίνεται αργά όταν μπαίνουμε σε ένα θερμότερο δωμάτιο. (Lu et al., 2021)[47]



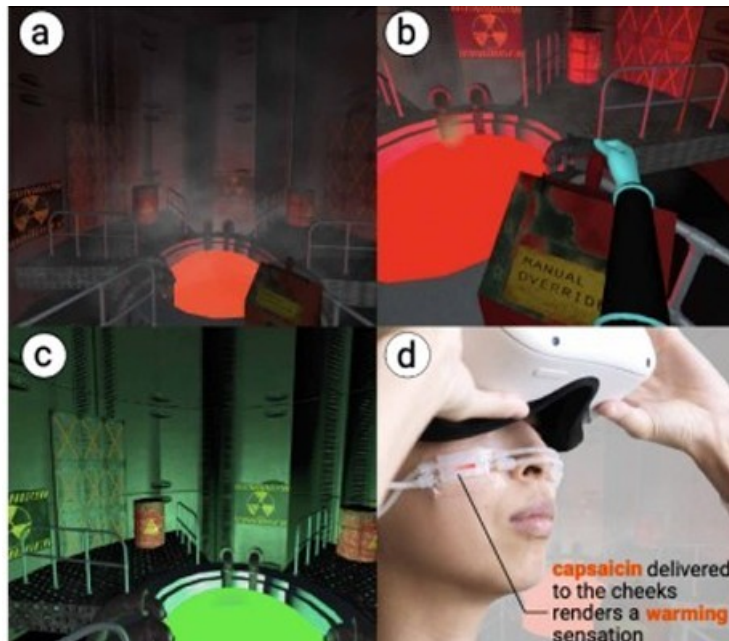
Εικόνα 3 (a,b,c) Καθώς ο χρήστης βγαίνει έξω σε ένα χειμωνιάτικο τοπίο, αισθάνεται μια αίσθηση ψύξης στο μάγουλο του. (d) Αυτό αποδίδεται μέσω της μενθόλης που διοχετεύεται μέσω προσαρτημένων επιθεμάτων σιλικόνης στα μάγουλα του. (Lu et al., 2021)

Τέλος, καθώς ο χρήστης φτάνει στην είσοδο του δωματίου του αντιδραστήρα, η οποία απαιτεί αυθεντικοποίηση από τη διεπαφή του βραχίονα του χρήστη για να εισέλθει, η διεπαφή του βραχίονα VR αρχίζει να δυσλειτουργεί (Εικόνα 4). Ενώ η οθόνη εξακολουθεί να είναι λειτουργική, τα κουμπιά εμφανίζονται «γκρίζα» και ολόκληρο το χέρι γίνεται διαφανές και αρχίζει να «κολλάει». Καθώς ο χρήστης πατάει τα κουμπιά για να προσπαθήσει να ανοίξει την τελευταία πόρτα, αισθάνεται ότι το χέρι του είναι μουδιασμένο. Με άλλα λόγια, αισθάνεται λιγότερες αισθήσεις στο χέρι του επειδή το εικονικό χέρι «δυσλειτουργεί». Η συσκευή αποδίδει αυτή τη μοναδική απτική αίσθηση (που δεν είναι εφικτή με τα υπάρχοντα απτικά) με την παροχή διαλύματος λιδοκαΐνης 5% στο χέρι του χρήστη. Η λιδοκαΐνη είναι ένα τοπικό αναισθητικό που μπλοκάρει τα νευρικά σήματα, μειώνοντας έτσι την αίσθηση της αφής (Lu et al., 2021).[47]



Εικόνα 4 (a) Ο χρήστης παρατηρεί ότι το χέρι γίνεται ολογραφικό και αρχίζει να παρουσιάζει δυσλειτουργίες. (b,c) Όταν ο χρήστης προσπαθεί να πατήσει ένα κουμπί, αισθάνεται ότι το χέρι του είναι μουδιασμένο στην αφή. (d) Αυτό αποδίδεται μέσω της λιδοκαΐνης που εφαρμόζεται στην περιοχή. (Lu et al., 2021).

Καθώς ανοίγει η πόρτα του αντιδραστήρα καντός ατμός εισβάλλει αργά στο δωμάτιο. Εδώ ο χρήστης όχι μόνο βλέπει τον ατμό που βγαίνει από τον πυρήνα, αλλά αισθάνεται επίσης αργά τη θερμοκρασία που ανεβαίνει καθώς η συσκευή για το μάγουλο παρέχει ένα διάλυμα καψαϊκίνης 0,025% στο πρόσωπο του χρήστη (Εικόνα 5). Η καψαϊκίνη είναι το δραστικό συστατικό στις πιπεριές τσίλι που προκαλεί την αίσθηση θερμότητας όταν συνδέεται με τους θερμοϋποδοχείς στο δέρμα. Τέλος, ο χρήστης τραβάει έναν μοχλό έκτακτης ανάγκης και αποτρέπει την τήξη. Καθώς η θερμοκρασία επανέρχεται σιγά-σιγά στο φυσιολογικό, η συσκευή σταματά την καψαϊκίνη και η αίσθηση θερμότητας σιγά-σιγά εξασθενεί.



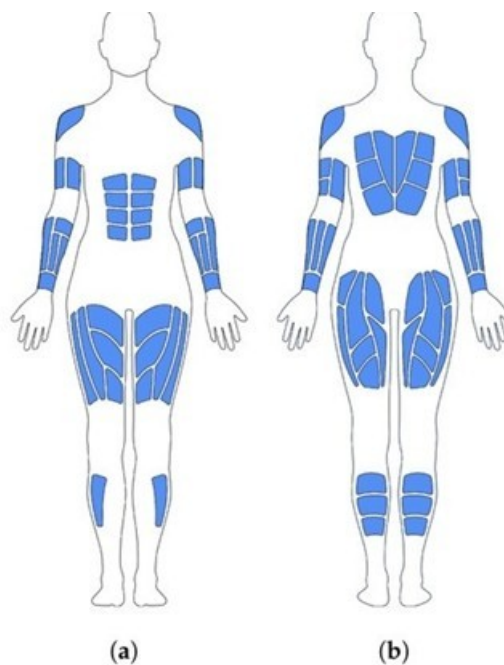
Εικόνα 5 (a) Στην εικονική πραγματικότητα, ο πυρηνικός αντιδραστήρας λάμπει με κόκκινο χρώμα και βρίσκεται στα πρόθυρα της τήξης. (b) Ο χρήστης βρίσκει τη χειροκίνητη παράκαμψη και τραβάει το μοχλό.(c) Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται η κατάρρευση. (d) Η θερμοκρασία του καντού δωμαίου αποδίδεται από την καψαϊκίνη που παρέχεται στα μάγουλα

Υπήρξε κάποια πρόσφατη δραστηριότητα στο σχεδιασμό τεχνητών δερμάτων με ικανότητες που μιμούνται το ανθρώπινο δέρμα, όπως οι εξελίξεις που έγιναν στην Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) με β'αση ένα μαλακό τεχνητό δέρμα που παρέχει απτική ανατροφοδότηση και μπορεί να προσαρμόζεται άμεσα στις κινήσεις του χρήστη. (EPFL, 2019)[25]



Εικόνα 6 Απτικά τοποθετημένα ανάμεσα σε στρώματα σιλικόνης (EPFL, 2019)

Η στολή Tesla μπορεί να παρέχει απτική ανατροφοδότηση μέσω διαδερμικής ηλεκτρικής διέγερσης των νεύρων, η οποία έχει δοκιμαστεί για τη διόρθωση σφαλμάτων σε ασκήσεις κινήσεις πλήρους σώματος (Εικόνα 7), ενώ η Meta Reality Labs διερευνά νέες διαμορφώσεις απτικών γαντιών για την παροχή αίσθησης της αφής, συμπεριλαμβανομένων των αισθήσεων που σχετίζονται με την υφή, το βάρος και την ακαμψία. (Caserman et al., 2021)[14]



Εικόνα 7 Περιοχές απτικής ανάδρασης στη στολή του Teslasuit α) Μπροστά β) Πίσώ

Άλλες περιπτώσεις σημερινών προσεγγίσεων περιλαμβάνουν

- το ηλεκτρονικό δέρμα Πανεπιστημίου Johns Hopkins, το οποίο μπορεί να αποκαταστήσει την αίσθηση της αφής μέσω των άκρων των δακτύλων των προσθετικών χεριών (Tech Briefs, 2020)[73]



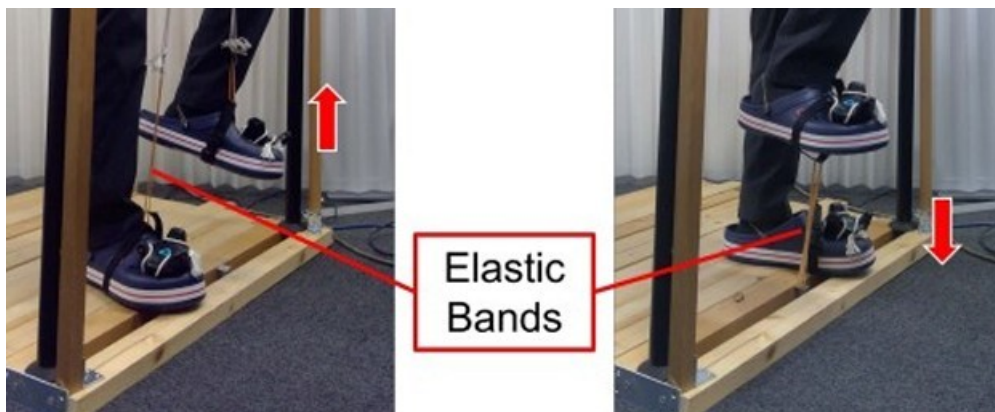
- μια ανίχνευση επαφής με βάση το φως, η οποία προσφέρει μια ευφάνταστη εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της ενσωμάτωσης συσκευών αφής σε ρομποτικά χέρια και
- μια άλλη νέα φορητή συσκευή κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της αντίληψης σε διαδραστικές εργασίες σε άτομα με και χωρίς αισθητηριακές αναπηρίες, μεταξύ άλλων.(Schiatti et al., 2020).[64]

Άλλες συσκευές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ψευδο-δέρματα που είναι φυσικά κοντά στο ανθρώπινο δέρμα και μπορούν να παράγουν απτικά αποτελέσματα, όπως τα φορητά συστήματα με νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση (NMES), τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα αναπαραγωγής της φυσιολογικής καταπόνησης πραγματικών ασκήσεων, δουλεύοντας στους ανταγωνιστικούς μύες. Τέλος, η πρόσφατη έρευνα σχετικά με τα νήματα που μπορούν να ελεγχθούν ώστε να γίνουν απτικοί ενεργοποιητές, η οποία ονομάζεται *haptigam* από τους συγγραφείς, έχει ανοίξει ένα ευρύ φάσμα πιθανών τρόπων μετατροπής των υφασμάτων των καθημερινών ενδυμάτων σε απτικές συσκευές που βρίσκονται σε στενή επαφή με το δέρμα και μπορούν να συνδεθούν με περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας για ενισχυμένη εμπύθιση. (Lugoda et al., 2024)[47]

## 2.2 Ψευδο-απτικά, πολυτροπικά και οπτικά απτικά

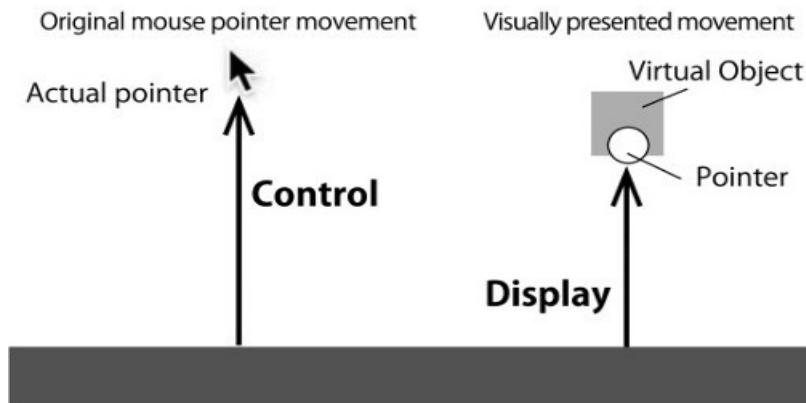
Η ενσωμάτωση των απτικών διεπαφών με άλλες αισθητηριακές λειτουργίες έχει διερευνηθεί εκτενώς σε συστήματα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή.

Τα ψευδο-απτικά προκαλούν απτικές εντυπώσεις από άλλες αισθητηριακές εισροές όπως ο ήχος ή οι εικόνες ή συνδυασμοί τους. Έχουν διερευνηθεί ως ένα μέσο για να ανταποκριθούν στις ανάγκες αλληλεπίδρασης των πληθυσμών που θα απομονωθούν λόγω των σημερινών και επερχόμενων πανδημιών. Θα παρέχουν οικονομικά προσιτά μέσα με τα οποία θα επιτυγχάνεται κάποια εκπαίδευση δεξιοτήτων που απαιτούν απτική αντίληψη σε εικονικά περιβάλλοντα μάθησης. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την εμπειρία του χρήστη για την εισαγωγή κειμένου στον αέρα και το περπάτημα στη θέση του σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας. (Hirao et al., 2024)[36]



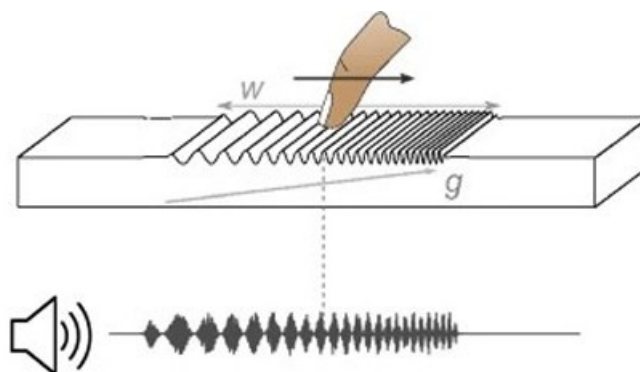
Εικόνα 9 Ελαστικό σύστημα εισόδου. Τα πόδια του χρήστη έλκονται προς τα πάνω (αριστερό σχήμα) ή προς τα κάτω (δεξί σχήμα) από ελαστικές ταινίες. (Hirao et al., 2024)

Τα πολυτροπικά συστήματα συνδυάζουν διάφορους αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων των απτικών, για να δημιουργήσουν γνωστικές συνέργειες που ενισχύουν την εμπειρία εμπύθιση. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός απτικής ανάδρασης δύναμης με οπτικά εφέ παραμόρφωσης έχει εφαρμοστεί για τη βελτίωση της αναγνώρισης και της εξέτασης εικονικών μαλακών ιστών, με εφαρμογές στην ιατρική εκπαίδευση. Παρομοίως, η δόνηση του δείκτη του ποντικιού στη οθόνη έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της δονητικής-αφής αντίληψης τραχιών επιφανειών. Όταν ένα εικονικό αντικείμενο ανασηκώνεται από τον δείκτη, το φαινόμενο ποσό της κίνησης του δείκτη (απεικόνιση, φαίνεται στη δεξιά πλευρά στην Εικόνα 10) είναι ίσο με το αρχικό ποσό της κίνησης του δείκτη του ποντικιού (έλεγχος, φαίνεται στην αριστερή πλευρά στην Εικόνα 10) πολλαπλασιασμένο με ένα ορισμένο κέρδος (λόγος ελέγχου/εμφάνισης CD). Οι συμμετέχοντες βαθμολόγησαν την αντιληπτική ένταση του βάρους. Οι ερευνητές αποκάλεσαν αυτή την εργασία «ψευδο-απτική εργασία αξιολόγησης». (Ban & Ujitoko.2023)[5]



Εικόνα 10 Απεικόνιση της αναλογίας ελέγχου/εμφάνισης (αναλογία CD). Κατά τη διάρκεια της σύρσης η πραγματική κίνηση του δείκτη (έλεγχος - απεικονίζεται στην αριστερή πλευρά) πολλαπλασιασμένη με την αναλογία CD είναι η κίνηση του οπτικά παρουσιασμένου δείκτη (απεικόνιση – απεικονίζεται στη δεξιά πλευρά). Όταν το εικονικό αντικείμενο δεν σύρεται από τον οπτικά παρουσιαζόμενο δείκτη, οι πραγματικές κινήσεις του δείκτη και του οπτικά παρουσιαζόμενου δείκτη ήταν οι ίδιες.(Ban & Ujitoko.2023)

Η παρεμβολή ηχητικών εφέ με την απτική εμπειρία έχει ορισμένα επιθυμητά αποτελέσματα, όπως η βελτιωμένη αντίληψη της αυτοκίνησης σε διάδρομο με τη δημιουργία ήχων προσομοίωσης βημάτων ποδιών. Η ενσωμάτωση του ήχου και της απτικής αντίληψης του ρυθμού από τον παρατηρητή επιτρέπει τη βελτιωμένη εμπύθιση συνδυάζοντας και τις δυο αισθητηριακές εισροές (Εικόνα 11) (Bernard et 2022)[8]

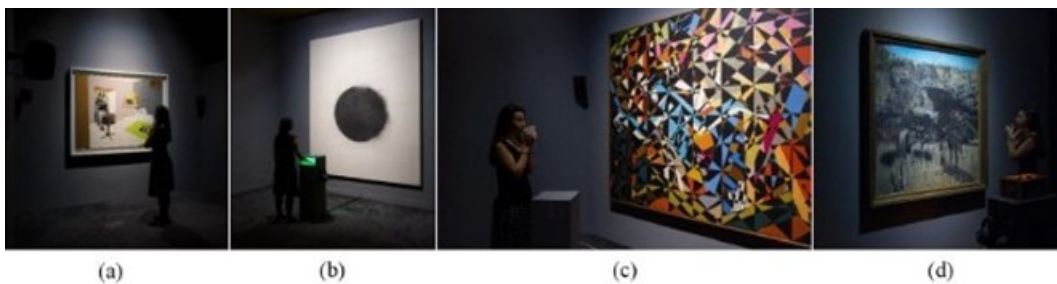


Εικόνα 11 Αλληλεπίδραση ήχου και αφής. (α) Απεικόνιση του πολυτροπικού πειράματος με ηχητική ανατροφοδότηση που προέρχεται από την απτική υφή. (Bernard et 2022)

Μια συσκευή με την ονομασία Sensory Substitution (2024) βασίζεται σε μια μη επεμβατική τεχνική για τη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον σε κωφά άτομα μέσω ενός γιλέκου που παρέχει στον χρήστη τις πληροφορίες αυτές μέσω μικρών δονήσεων που εφαρμόζονται στο δέρμα το. Εναλλακτικά, οι απτικές αισθήσεις μπορούν να αποκωδικοποιηθούν σε ήχους με μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής σε παιχνίδια και στην επικοινωνία με άτομα με προβλήματα ακοής. (Fletcher et al., 2021) [26]

Οι τεχνικές τεχνητής όρασης αποτελούν την πηγή ενός άλλου είδους πολυτροπικού συστήματος που μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τις απτικές λύσεις παρέχοντας συμπληρωματικές πληροφορίες για το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων άλλων υποκειμένων που αλληλεπιδρούν με τον χρήστη σε εικονικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα η καθοδήγηση των ατόμων με προβλήματα όρασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα καινοτόμο σύστημα υποβοήθησης της κινητικότητας, το οποίο παρέχει βοήθεια σε δυο κύριες λειτουργίες της πλοήγησης: την κίνηση και τον εντοπισμό του δρόμου (Romeo et al., 2022). Σε βιολογικό επίπεδο, υπάρχουν προτάσεις για αισθητήρια συστήματα που συλλέγουν οπτικές πληροφορίες και πληροφορίες πίεσης τόσο από έναν φωτοαιχνευτή όσο και από έναν αισθητήρα πίεσης, και στη συνέχεια μεταδίδουν τις διτροπικές πληροφορίες μέσω ενός σύρματος ιόντων και τις ενσωματώνουν σε μετασυναπτικά ρεύματα που τροφοδοτούν απευθείας τον εγκέφαλο (Wan et al., 2020)

Άλλες εργασίες έχουν ενσωματώσει την όσφρηση και την απτική σε εικονικά συστήματα ιατρικής εκπαίδευσης τονίζοντας τον σημαντικό ρόλο της όσφρησης τόσο κατά τη διάγνωση όσο και κατά τη χειρουργική επέμβαση σε ένα ιατρικό περιβάλλον. Στον καλλιτεχνικό τομέα, πρόσφατες μελέτες έχουν παρουσιάσει την απτική τεχνολογία ως ένα βήμα προς την κατεύθυνση της εντατικοποίησης της εικονικής εμπειρίας της θέασης έργων τέχνης (Spencer, 2006). Μια άλλη εργασία, έχει παρουσιάσει την απτική τεχνολογία στον αέρα ως μια μοναδική και για πρώτη φορά μελέτη περίπτωσης για την εμπλοκή όλως των αισθήσεων (δηλαδή της όσφρησης, του ήχου, της αφής, της όρασης και της γεύσης) στον σχεδιασμό καλλιτεχνικών εμπειριών. Η Εικόνα 12 δείχνει τα πλάνα εικονογράφησης ενός συμμετέχοντα που βιώνει τους τέσσερις επιλεγμένους πίνακες ζωγραφικής. Τα πρωτότυπα αντίγραφα των πινάκων είναι προσβάσιμα μέσω του δικτυακού τόπου της Tate Britain. (Vi et al., 2017)[79]



Εικόνα 12 Έκθεση Tate Sensorium στην Tate Britain το 2015. (a) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου Interior II (1964) του Richard Hamilton. Η απεικόνιση δείχνει έναν συμμετέχοντα να βιώνει τον πρώτο πίνακα, συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την όσφρηση. (b) Στιγμιότυπο εγκατάστασης Full Stop(1961) του John Latham. Εικονογράφηση ενός συμμετέχοντα που βιώνει τον δεύτερο πίνακα συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την αφή ( με το απτικό μοτίβο να προβάλλεται στο δεξί χέρι του χρήστη). (c) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου In the Hold (1913-4) του David Bomberg. Απεικόνιση ενός χρήστη που βιώνει τον τρίτο πίνακα συνδυάζοντας την όραση, την ακοή και την όσφρηση(κρατώντας ένα τρισιδιάστατο εκτυπωμένο αντικείμενο μυρωδιάς κοντά στη μύτη του). (d) Στιγμιότυπο εγκατάστασης του έργου Figure in a Landscape (1945) του Francis Bacon. Απεικόνιση ενός χρήστη που βιώνει την τέταρτη ζωγραφική συνδυάζοντας την όραση,

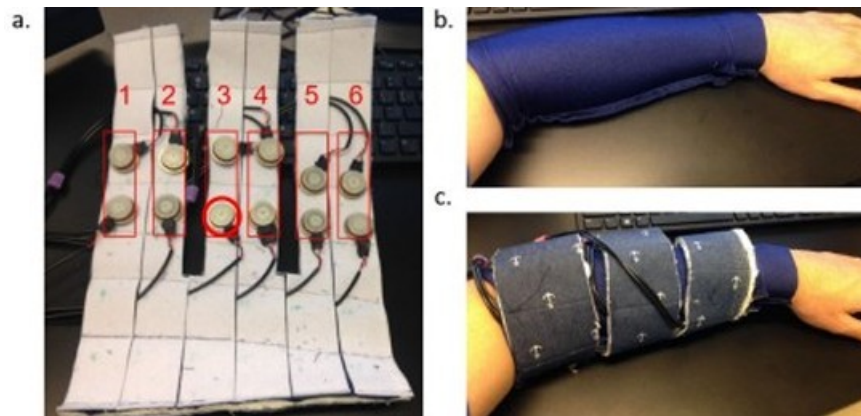
την ακοή και τη γεύση (τρώγοντας ένα κομμάτι σοκολάτας με πολλαπλά συστατικά, δηλαδή κάρβουνο, θαλασσίνο αλάτι, κόκκους κακάο και καπνιστό τσάι

Η οπτική απτική συνίσταται στην πρόκληση απτικών αισθήσεων μέσω την αντίληψης οπτικών εφέ και μόνο. Για παράδειγμα, η μίμηση της οπτικής δυναμικής ενός avatar παρέχει ένα υποκατάστατο της απτικής αίσθησης σε μια εργασία ανύψωσης βάρους (Jauregui et al., 2014)[38]. Η διατροφική ενσωμάτωση επιτρέπει, για παράδειγμα την εμπειρία της απτικής παραμόρφωσης ενός αντικειμένου καθώς ο χρήστης κινεί τα χέρια του, με το αντικείμενο να παρουσιάζει μεγαλύτερη ή μικρότερη παραμόρφωση ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των χεριών. Ο λόγος των μεγεθών παραμόρφωσης προς την απόσταση του χεριού (δηλαδή ο λόγος παραμόρφωσης προς απόσταση) ελέγχθηκε. Με μεγαλύτερο λόγο, μικρότερη απόσταση του χεριού παρήγαγε το μέγιστο επίπεδο παραμόρφωσης του αντικειμένου. Ο λόγος Poisson ελέγχθηκε επίσης- ένας υψηλότερος λόγος Poisson παρήγαγε μεγαλύτερο μέγεθος κατακόρυφης παραμόρφωσης. Ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αναφέρουν την ακαμψία των αντικειμένων με πενταβάθμια κλίμακα αξιολόγησης. Κατά συνέπεια, η βαθμολογία δυσκαμψίας μειώθηκε με τον λόγο παραμόρφωσης-απόστασης και με τον λόγο Poisson. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η ψευδο-απτική μπορεί να αποδοθεί με δράση στον αέρα με χειρισμό του λόγου παραμόρφωσης- απόστασης και του λόγου Poisson. (Kawae, 2020)[40]

Πρόσφατες προσεγγίσεις στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας έχουν προσπαθήσει να προκαλέσουν την αίσθηση κινητικής ανατροφοδότησης με την προσθήκη ενός εξαρτήματος στο χέρι του avatar που μεταφράζει την αντίσταση του αντικειμένου σε παραμορφώσεις του εξαρτήματος και να εφαρμόσουν βαθιά μάθηση για την εκτίμηση των δυνάμεων χειρισμού από λαπαροσκοπικές χειρουργικές εικόνες που οπτικοποιούνται ώστε να παρέχουν οπτική απτική ανατροφοδότηση στον απομακρυσμένο χρήστη (Tian et al., 2024)[74]

### 2.3 Εναλλακτικές απτικές αισθήσεις

Οι καινοτόμες απτικές συσκευές είναι ικανές να προσομοιώνουν μια μεγάλη ποικιλία απτικών αντιλήψεων, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για καθηλωτικές εμπειρίες εικονικών παιχνιδιών. Για παράδειγμα, η παροχή υγρών που δημιουργούν ερεθίσματα στο δέρμα του χρήστη δημιουργεί διαφορετικές αισθήσεις. Στην πραγματικότητα η μελέτη έχει εντοπίσει πέντε χημικές ουσίες που μπορούν να παράγουν συγκεκριμένες δερματικές αισθήσεις: μυρμήγκιασμα (sanshool), μούδιασμα (λιδοκαΐνη), τσούξιμο (κινναμαλδεϋδη), θέρμανση (καψαϊκίνη) και ψύξη (μενθόλη). Μια άλλη προσέγγιση για την παραγωγή προγραμματιζόμενων θερμικών αισθήσεων (ψύξη και θέρμανση) είναι αυτή των εύκαμπτων συγκολλήσεων που περιλαμβάνουν στρώματα ψυκτικής υδρογέλης, ηλεκτρικές αντιστάσεις και στρώματα επικοινωνίας και ελέγχου, ώστε το σύστημα να μπορεί να συνδεθεί ασύρματα με εξωτερικούς ελεγκτές. Το φαινόμενο του φιδιού, δηλαδή η πρόκληση μιας αίσθησης που μπορεί α ερμηνευθεί ως φίδι που κινείται πάνω στο δέρμα, μπορεί να επιτευχθεί με μια σειρά από tastors (αισθητήρες κίνησης που αναπτύσσονται πάνω στο δέρμα) που ακολουθούν συγκεκριμένα χωροχρονικά μοτίβα δονητικής επαφής (Severngini et al., 2021)[66]



Εικόνα 13. Η οθόνη «φιδιού»: (α) η συστοιχία αισθητήρων, (β) το προστατευτικό μανίκι και (γ) το γάντι που συγκρατεί τη συστοιχία αισθητήρων στο αντιβράχιο. Ο κόκκινος κύκλος στο (α) υποδεικνύει τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κατωφλίου ανίχνευσης. Τα ορθογώνια υποδεικνύουν τις 6 θέσεις ενεργοποίησης στη συστοιχία αισθητήρων, καθώς οι δυο αισθητήρες σε κάθε ορθογώνιο οδηγήθηκαν με πανομοιότυπες κυματομορφές (Severngini et al., 2021)

Τέτοιες δονητικές αισθήσεις μπορούν επίσης να παραχθούν από μαγνητικές ενσωματωμένους σε μαλακούς ιστούς. Η ανέπαφη πιλοτική διέγερση μπορεί να επιτευχθεί με ηλεκτροστατικές συσκευές που προκαλούν ορισμένα απτικά ερεθίσματα που σχετίζονται με συγκεκριμένα όπως ο φόβος. Ένα σύστημα απομακρυσμένης αφής δημιουργήθηκε για να αναπαράγει απτικά ερεθίσματα στον χρήστη μέσω ηλεκτρικών σημάτων που προκαλούνται στο νευρικό σύστημα με ειδικές μαγνητικές συνάψεις ως μια ειδική περίπτωση επαγωγής δερματικών και απτικών αισθήσεων. (Cartler et al.,2023)[12]

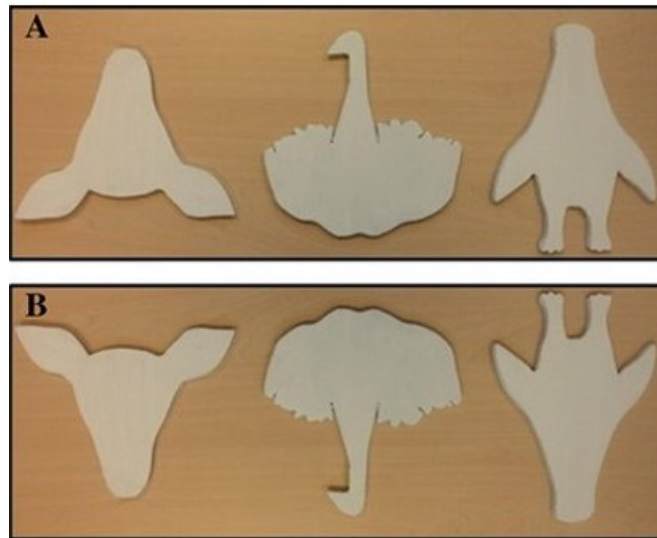
## 2.4 Απτική της οθόνης αφής

Η αλληλεπίδραση με την οθόνη αφής όπου ποικίλα μοτίβα πατήματος και σύρσιμο αντικειμένων αποκαλύπτουν διαφορετικούς βαθμούς ωριμότητας στα παιδιά μπορεί αν θεωρηθεί ένα ειδικό είδος απτικής εμπειρίας που είναι πολύ εύκολο να μετρηθεί για επιστημονικούς σκοπούς. Η απτική διέγερση (π.χ δόνηση ενός smartphone) μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα για την κρυφή αλληλεπίδραση με άτομα ειδικής εκπαίδευσης, μειώνοντας τις ενοχλητικές δημόσιες αλληλεπιδράσεις (Dubuque et al.,2021)[23]

## 2.5 Αλληλεπίδραση της κίνησης του σώματος και της απτικής

Ακόμη και οι χειρονομίες που ισοδυναμούν με εικονική υποκειμενική απτική αναπαράσταση του χειρισμού των αντικειμένων φαίνεται αν έχουν κάποια επίδραση στη γνώση με το αντικείμενο. Αυτή

η σχέση μεταξύ όρασης, χειρονομίας και απτικής έχει αποδειχθεί στην εκπαίδευση για την επανερμηνεία οπτικά διαφορούμενων εικόνων (Εικόνα 14) (Casermans et al., 2019)[14]. Το νοητικό μοντέλο της εικόνας φαίνεται να επηρεάζεται από τα κινητικά μοντέλα που κατασκευάζονται από τις χειρονομίες ή/και την αλληλεπίδραση με την απτική διεπαφή. Η σχέση μεταξύ των γλωσσικών και των κινητικών μοντέλων των αντικειμένων έχει βρεθεί ότι εξελίσσεται με την ηλικία, παρέχοντας νέα στοιχεία για την εξέλιξη της ευθραυστότητας και κάποιες οδηγίες για τη χρήση απτικών συσκευών που θα βοηθήσουν στην έρευνα για την υγιή γήρανση. (Miceli et al., 2022)[51]



Εικόνα 14 Δοκιμαστικές φιγούρες με προσανατολισμό σώματος (α) και προσανατολισμό κεφαλής (β) από αριστερά προς τα δεξιά: φώκια/περίπατος, κύκνος/ελέφαντας και πιγκουίνος/giraffe (Camermans et al., 2019).

Σε ένα εύρος ηλικιών από 3 έως 85 ετών, μια σύντομη αξιολόγηση διαπίστωσε αυξανόμενη ακρίβεια στη νοητική αναπαράσταση του σώματος από την παιδική ηλικία έως τις νεαρές, μια μικρή μείωση από τους νεαρούς στους ηλικιωμένους και σημαντικές διαφορές μεταξύ ενηλίκων και ηλικιωμένων (Dunn et al., 2015)[24]

## Κεφάλαιο 3ο: Απτικές διεπαφές και τεχνολογίες ενεργοποίησης και ανατροφοδότησης

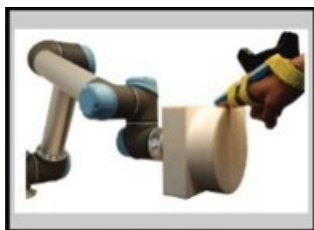
### 3.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το ευρύ φάσμα των υφιστάμενων απτικών τεχνολογιών. Η απτική ανατροφοδότηση μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, αλλά μπορούν να διακριθούν δυο κύριες κατηγορίες: η απτική ανατροφοδότηση και η ανατροφοδότηση δύναμης.

### 3.2 Γενικές ιδιότητες των απτικών διεπαφών

#### 3.2.1 Επίγειες έναντι φορητών διεπαφών

Αυτή η κατηγοριοποίηση βασίζεται στο αν οι απτικές διεπαφές είναι κινητές ή αγκυρωμένες στο περιβάλλον. Ο σχεδιασμός των απτικών διεπαφών άρχισε πρόσφατα αν λαμβάνει υπόψη τη φορητότητα ως κρίσιμη παράμετρο (Pacchierotti et al., 2017)[56]. Επιπλέον, οι φορητές συσκευές δεν πρέπει να περιορίζουν την κίνηση του χρήστη και να επιτρέπουν τη διέγερση των αισθήσεων που σχετίζονται με τη λαβή, ενώ οι γειωμένες συσκευές περιορίζουν την κίνηση του χρήστη και έχουν τη δυνατότητα να σταματούν και να μπλοκάρουν τον χρήστη. Οι επίγειες διεπαφές είναι απτικές διεπαφές αγκυρωμένες στο περιβάλλον. Μπορούν γενικά να ταξινομηθούν ως τύπου συνδέσμου, τύπου μαγνητικής έλξης ή τύπου τάσης (Kim et al., 2000). Το PHANTOM, ένα στυλό ανάδρασης δύναμης με έξι βαθμούς ελευθερίας (DOF) που παρέχει μια δειπαφή ανάκλασης δύναμης μεταξύ ενός ανθρώπινου χρήστη και ενός υπολογιστή, είναι ένα παράδειγμα απτικής διεπαφής τύπου συνδέσμου που εκτελεί (Massie & Salisbury, 1994). Οι φορητές απτικές διεπαφές προσαρτώνται στο σώμα του χρήστη. Οι φορητές συσκευές δεν περιορίζονται σε έναν περιορισμένο χώρο εργασίας, οπότε επιτρέπουν στους χρήστες να κινούνται ελεύθερα και να αντιλαμβάνονται την απτική ανατροφοδότηση σε πολύ μεγαλύτερο εύρος. Από την άλλη πλευρά, η φορεσιμότητα εισάγει περιορισμούς ισχύος. Οι συσκευές πρέπει να κατασκευάζονται με τεχνολογία μικροσκοπικών διαστάσεων και η ενεργοποίηση περιορίζεται από το βάρος και την κατανάλωση. Οι Pacchierotti et al. (2017)[56] παρέχουν έναν κατάλογο κατευθυντηρίων γραμμών για τον σχεδιασμό φορητών απτικών συσκευών που λαμβάνουν υπόψη πολλαπλούς παράγοντες, όπως ο παράγοντας μορφής, το βάρος, η εξασθένιση και η άνεση (Εικόνα 15)



A Grounded Haptics



B Exoskeletons



C Fingertip devices

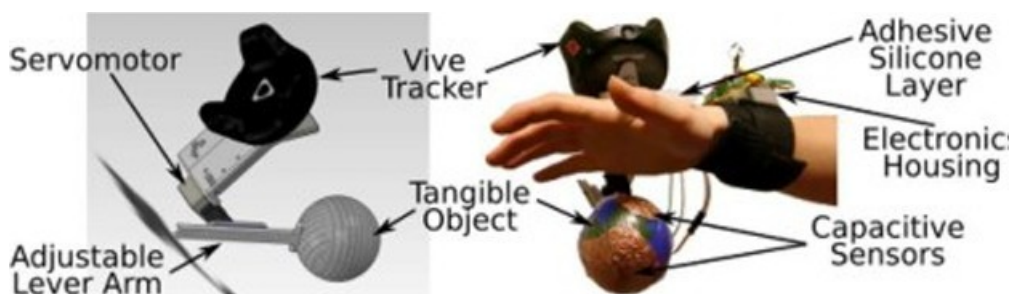
Εικόνα 15 Φορεσιμότητα στις απτικές συσκευές: από τις γειωμένες απτικές διεπαφές σε πιο φορητά και φορητά σχέδια (α) ENTROPIA , ένα κυλινδρικό περιστρεφόμενο στήριγμα που συνδέεται σε ένα ρομπότ για την παροχή εικονικής υφής (Mercado et al., 2019) (β) ένας εξωσκελετός χεριού για φυσική ρίψη (Lucas et al., 2024) (γ) μια δερματική οθόνη που παρέχει κανονικά και διατμητικά ερεθίσματα (Pacchierotti et al., 2016)

### 3.2.2 Ενεργητική έναντι παθητικής αφής

Η απτική ανατροφοδότηση μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες: την ενεργητική και την παθητική. Συνήθως το ενεργό άγγιγμα αναφέρεται στην πράξη του αγγίγματος ενώ το παθητικό άγγιγμα αναφέρεται στο να μας αγγίζουν. Για το ενεργητικό άγγιγμα η αίσθηση εμφανίζεται στον αντιλαμβανόμενο, ενώ για το παθητικό άγγιγμα προκύπτει σε μια εξωτερική συσκευή. Ως εκ τούτου, η παθητική αφή αναφέρεται στις απτικές ιδιότητες φυσικών αντικειμένων, όπως ένα πληκτρολόγιο ή ένα φλιτζάνι καφέ, και η ενεργή αφή αναφέρεται στις απτικές ιδιότητες που παράγονται ενεργά από τη συσκευή με βάση απτικούς ενεργοποιητές και λογισμικό. Στον τομέα της απτικής οι περισσότερες διεπαφές είναι ενεργές, αλλά αυτό δεν ισχύει για τα συστήματα BCI/NF που βασίζονται στην απτική. Πράγματι, οι διεπαφές BCI/NF με βάση την αφή χρησιμοποιούν υπολογισμένη ανατροφοδότηση από την εγκεφαλική δραστηριότητα και όχι ανατροφοδότηση από την αίσθηση της αφής. Η παθητική αφή σχετίζεται με απτική ανατροφοδότηση που δεν υπολογίζεται σύμφωνα με τον χρήστη. Για παράδειγμα, μια τυπική δονητική ειδοποίηση από ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να θεωρηθεί παθητική ανατροφοδότηση. (Fleury et al., 2020).[27]

### 3.2.3 Διεπαφές άμεσης, διαλείπουσας και έμμεσης επαφής

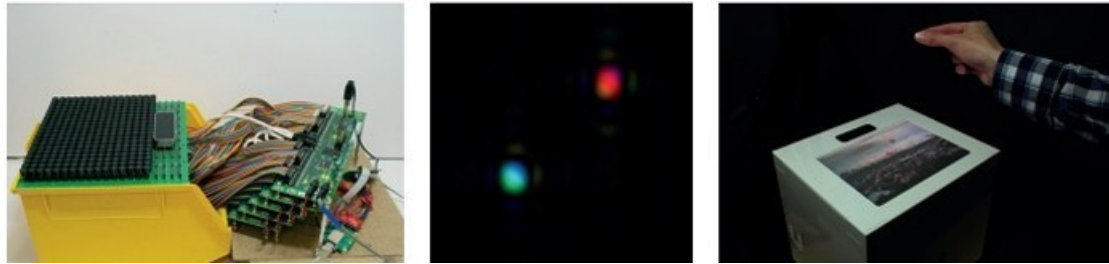
Στο σχεδιασμό μιας απτικής διεπαφής, η φύση της επαφής μεταξύ του χρήστη και της διεπαφής μπορεί να είναι τριών ειδών. Οι διεπαφές άμεσης επαφής είναι προσαρτημένες απτικές διεπαφές έτσι ώστε ο χρήστης να βρίσκεται πάντα σε επαφή με τη συσκευή. Με τις διεπαφές διαλείπουσας επαφής, η επαφή του χρήστη με τη συσκευή είναι περιορισμένη και παρέχεται μόνο όταν απαιτείται. Για παράδειγμα οι Frisoli et al. (2008) ανέπτυξαν με τον χρήστη κάθε φορά που το δάχτυλο του αγγίζει μια εικονική επιφάνεια (Εικόνα 16) (de Tinguy et al., 2020).[20]



Εικόνα 16 Εννοιολογικό σχήμα μίας διεπαφής διαλείπουσας επαφής: ένα από αντικείμενο έρχεται σε επαφή με το χέρι όταν το δάχτυλο πιάνει μια εικονική μπάλα (de Tinguy et., 2020)

Οι έμμεσες/ενδιάμεσες διεπαφές παράγουν απτική ανατροφοδότηση χωρίς να έχουν καμία επαφή με τον χρήστη και επομένως δεν περιορίζονται από τις απαιτήσεις του χρήστη να φοράει γάντια ή να κρατάει μια συσκευή. Η UltraHaptics μια γειωμένη συσκευή υπερήχων, είναι ένα παράδειγμα

συσκευής μεσαίου αέρα που παρέχει απτική ανατροφοδότηση πολλαπλών σημείων στο δέρμα του χρήστη (Εικόνα 17) (Carter et al., 2013)[12]



Εικόνα 17 Το σύστημα UltraHaptics. Αριστερά: το υλικό Κέντρο: προσομοίωση δυο εστιακών σημείων, με το χρώμα να αντιπροσωπεύει τη φάση και τη φωτεινότητα το πλάτος Δεξιά: λήψη δυο ανεξάρτητων σημείων ανατροφοδότησης κατά τη εκτέλεση μιας χειρονομίας σιμπήματος (Carter et al., 2013)

### 3.3 Διεπαφές αφής

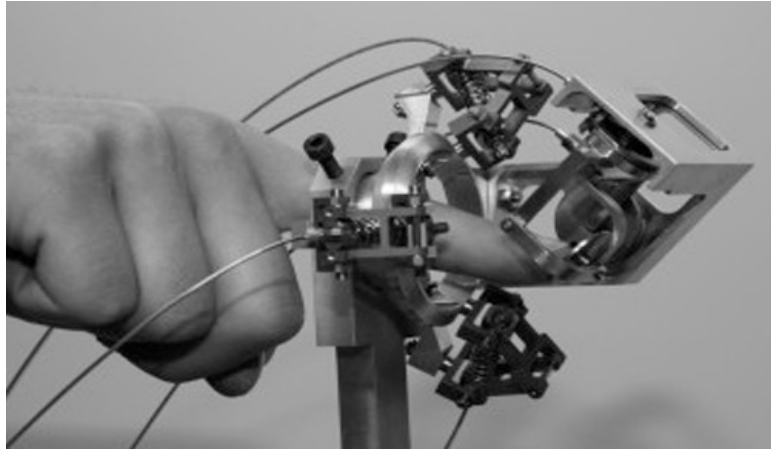
Η απτική ανάδραση διεγείρει την επιφάνεια του δέρματος μέσω άμεσης επαφής. Οι απτικές διεπαφές μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τις αισθήσεις που παρέχουν: δόνηση, επαφή, πίεση, θερμοκρασία, καμπυλότητα, υφή, απαλότητα/σκληρότητα και τριβή. Γενικά, οι συσκευές αφής πρέπει να είναι ελαφριές και μικρές και αν η οθόνη αφής πρόκειται να φορεθεί από κινητούς χρήστες, η κατανάλωση ενέργειας πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (Jones & Sarter 2008)[39]

#### 3.3.1 Δονητική ανατροφοδότηση

Η δονητική ανατροφοδότηση παράγεται από μηχανική δόνηση κάθετα ή εγκάρσια προς την επιφάνεια του δέρματος. Η μηχανική δόνηση μεταφέρει απτικές πληροφορίες διαμορφώνοντας τη συχνότητα, το πλάτος ], τη διάρκεια, τη χροιά ή τη χωρική θέση της δόνησης. Η δονητική ανάδραση χρησιμοποιεί την ίδια αρχή με τα ακουστικά ήχου, δηλαδή μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα σε ηχητικά κύματα. Η ποιότητα της αντίληψης του δονητικού ερεθίσματος επηρεάζεται από τη συχνότητα της δόνησης (~50-300 Hz, η οποία αντιστοιχεί στο εύρος ζώνης της ανθρώπινης απτικής αίσθησης), τη θέση του σώματος και τους υποκειμένους ιστούς. Η χρήση ταλαντευόμενης πίεσης (ημιτονοειδής ή τετραγωνικός κυματισμός και διαμόρφωση πλάτους) προσθέτει επίσης νέα DOF στο σχεδιασμό των δονητικών ερεθισμάτων, όπως διαμόρφωσης της φέρουσας συχνότητας (Klatzky & Lederman 2003) [43]. Οι συσκευές δονητικής επαφής που παρέχουν μεταβλητή πίεση στο δέρμα έχουν χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα ως εναλλακτικοί αισθητηριακοί δίαυλοι για τυφλά ή κωφά άτομα. Η ευαισθησία της δονητικής διέγερσης εξαρτάται από την θέση του σώματος και την ηλικία του υποκειμένου (Cholewiak & Collinw 2003)[16]

#### 3.3.2 Ανατροφοδότηση μέσω επαφής και πίεσης

Η ανατροφοδότηση επαφής ή πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση συναντήσεων με εικονικές επιφάνειες αντικειμένων. Τα αποτελέσματα αυτών των συναντήσεων μπορούν να προσομοιωθούν με πνευματικά συστήματα ή συσκευές συνάντησης επιφανειών που ακολουθούν και προβλέπουν τις κινήσεις του χειριστή (Gabardi et al., 2016)[31]. Για παράδειγμα, οι Frisoli et al (2008) πρότειναν μια γειωμένη απτική διεπαφή δακτύλου, έτσι ώστε μια πλάκα να έρχεται σε επαφή με τον χρήστη όταν το δάχτυλο του αγγίζει μια εικονική επιφάνεια (Εικόνα 18)



Εικόνα 18 Η απτική διεπαφή δακτύλων (Frisoli et al., 2008)

### 3.3.3 Θερμική ανάδραση

Οι θερμικές διεπαφές παρέχουν θερμικές ενδείξεις στον χρήστη που συνήθως βιώνονται κατά την αλληλεπίδραση με αντικείμενα.

Η θερμική ανατροφοδότηση είναι προσαρμοσμένη στις θερμοφυσικές ιδιότητες και τις θερμοκρασίες των ζωντανών οργάνων για να βοηθήσει την αντίληψη του χειρουργού. Έχει επίσης προταθεί η χρήση θερμικής ανάδρασης για την κατασκευή ενός συστήματος θερμικής ανίχνευσης για προσθετικά μέλη (Cho et al., 2007)[17]. Για τους χρήστες προσθετικών μελών, η θερμική διέγερση βελτιώνει την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον και τους παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για καθημερινές δραστηριότητες, όπως η διάκριση υλικών και η αποφυγή πόνου, καθώς και ψυχολογική άνεση.

### 3.3.4 Ηλεκτρική ανατροφοδότηση

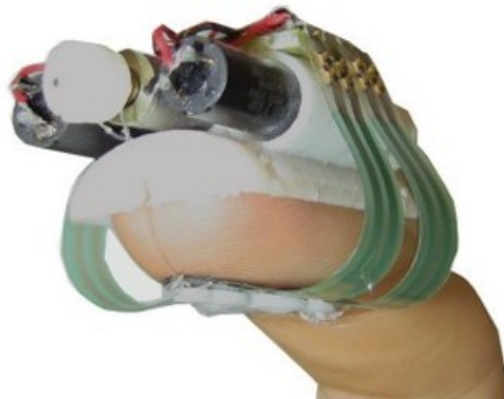
Η ελαφρά ηλεκτρική διέγερση, γνωστή και ως ηλεκτροεπαφής διέγερση μπορεί να αυξήσει την ευαισθητοποίηση του χρήστη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απτική ανατροφοδότηση. Διάφορες ηλεκτροεπαφής οθόνες έχουν αναπτυχθεί ως αισθητηριακά βοηθήματα για την ακοή και την όραση και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αντιληπτικών ψευδαισθήσεων των αλλαγών της επιφάνειας ( Wolf & Bader, 2015)[84]. Μεταβολές στην ένταση και τις χρονικές παραμέτρους της διέγερσης και στη χωρική αλληλουχία των ηλεκτροδίων που ενεργοποιούνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση πληροφοριών (Jones & Sarter 2008)[39]. Ωστόσο, τόσο το απόλυτο κατώφλι όσο και το υποκειμενικό μέγεθος της ηλεκτροακτιβικής διέγερσης αυξάνονται ραγδαία με τις μεταβολές στο πλάτος του ρεύματος. Το ρεύμα διέγερσης πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για την αποφυγή επώδυνων αισθήσεων στον χρήστη. Το επίπεδο έντασης καθορίζεται συνήθως κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας εξάσκησης πριν από τις καταγραφές. Η ηλεκτροεπαφής διέγερση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μια μονάδα απεικόνισης της γλώσσας, η οποία αποτελείται από μια γεννήτρια σήματος που ελέγχει την έξοδο τάσης, ένα εύκαμπτο καλώδιο σύνδεσης και τη συστοιχία ηλεκτροδίων (Pfeiffer & Rohs).

### 3.4 Κιναισθητικές διεπαφές

Σε αντίθεση με την απτική ανατροφοδότηση, η ανατροφοδότηση δύναμης σχετίζεται με την κιναισθητική αίσθηση και περιλαμβάνει θέσεις, ταχύτητες, δυνάμεις και περιορισμούς που γίνονται αντιληπτά μέσω των μυών και των τενόντων. Η κινητική ανατροφοδότηση μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την θέση των άκρων και εφαρμοζόμενη δύναμη. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν κινητική ανατροφοδότηση είναι συνήθως γειωμένες, καθώς η απεικόνιση της δύναμης ή της κίνησης παρέχεται μέσω ενός εργαλείου όπως το PHANTOM (Massie and Salisbury 1994)[49] ή το Omega. Ωστόσο, οι απτικές συσκευές σύλληψης και οι εξωσκελετοί περιλαμβάνουν συσκευές που φοριούνται (π.χ απτικά γάντια). Οι απτικές κλινικές συσκευές, όπως οι ορθώσεις ή τα ρομποτικά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για την καθοδήγηση των κινήσεων των παραλυμένων άκρων των ασθενών (Lopez-LARRAZ ET AL., 2018)[46]

#### 3.4.1 Ανατροφοδότηση με βάση τη δύναμη

Οι συσκευές ανατροφοδότησης δυνάμεων εξυπηρετούν συνήθως δυο κύριους σκοπούς: τη μέτρηση των θέσεων και των δυνάμεων επαφής στο χέρι του χρήστη (ή σε άλλα μέρη του σώματος) και την εμφάνιση των δυνάμεων και των θέσεων επαφής στον χρήστη. Αυτές οι απτικές διεπαφές αποτελούνται συνήθως από περιστρεφόμενες αρθρώσεις που συνδέουν άκαμπτους συνδέσμους. Οι συσκευές ανατροφοδότησης δυνάμεων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις DOF που παρέχει κάθε συσκευή, από μια απλή συσκευή 1-DOF έως μια πολύπλοκη συσκευή 7-DOF. Άλλα σχέδια όπως τα συστήματα καλωδίων ή οι χορδωτές απτικές διεπαφές είναι επίσης γειωμένες συσκευές ανατροφοδότησης δύναμης καθώς είναι συστήματα βασισμένα στην τάση (Εικόνα 18). (Chinello et al., 2012)[16]

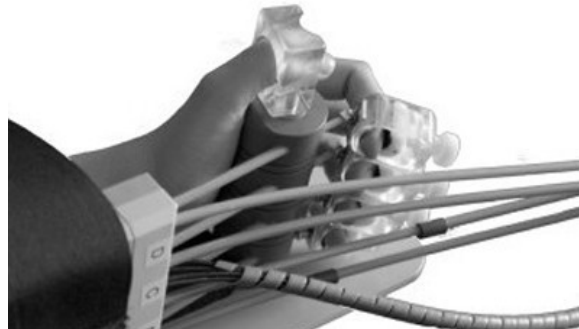


Εικόνα 19 Το πρωτότυπο της φορητής απτικής οθόνης τριών DoFs: οι αισθητήρες δύναμης στην κινητή πλατφόρμα μετρούν την κανονική συνιστώσα της δύναμης που ασκείται στα άκρα του δακτύλου. (Chinello et al., 2012)

Τα καλώδια στερεώνονται γύρω από τις γωνίες μιας δομής, όπως ένας κύβος. Κάθε καλώδιο περιλαμβάνει έναν κινητήρα ροπής, ένα καλώδιο, ένα μηχανισμό τάνυσης και έναν αισθητήρα δύναμης. Οι απτικές διεπαφές με βάση την τάση έχουν τα πλεονεκτήματα της γρήγορης ταχύτητας αντίδρασης, της απλής δομής, του ομαλού χειρισμού και του κλιμακούμενου χώρου εργασίας (Fleury et al., 2020)[27]

### 3.4.2 Συσκευές εξωσκελετού

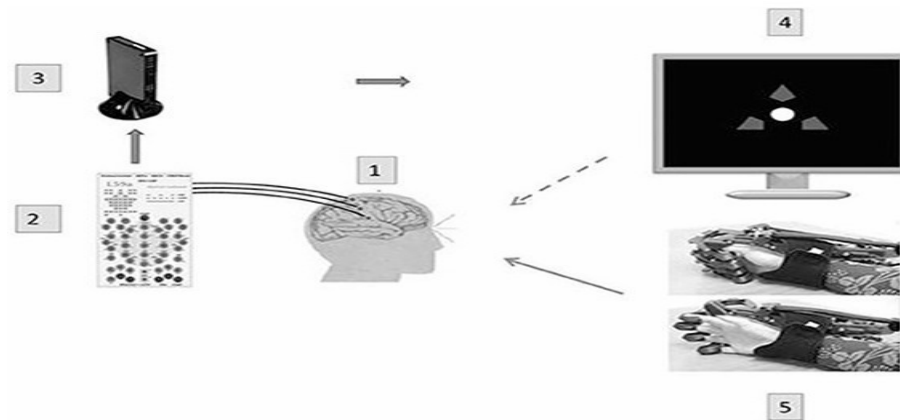
Ένας εξωσκελετός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή δυνάμεων στο σώμα με φυσικούς βαθμούς ελευθερίας. Για παράδειγμα, η όρθωση πρέπει να προσαρμόζεται φυσικά στο χέρι χωρίς να το εμποδίζει ή να παρεμβαίνει στις ενέργειές του. Οι βαρύτεροι εξωσκελετοί μπορεί να μειώσουν την άνεση του χρήστη (Leonardis et al 2015). Οι όροι όρθωση και εξωσκελετός χρησιμοποιούνται γενικά για να υποδηλώσουν τους επενεργητές του συστήματος, συχνά με αμφίσημο τρόπο. Ο Herr (2009), ορίζει ότι «γενικά ο εξωσκελετός αυξάνει την απόδοση ενός αρτιμελούς χρήστη, ενώ οι ορθώσεις χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν ένα άτομο με παθολογία των άκρων και βοηθούν στη διόρθωση, αποκατάσταση ή υποστήριξη τμημάτων του σώματος».



Εικόνα 20 Ένα ανεπτυγμένο BCI, συνδεδεμένο on-line με έναν ρομποτικό εξωσκελετό χεριού για την κάμψη και την έκταση των δακτύλων

### 3.4.3 Λειτουργική ηλεκτρική διέγερση

Η λειτουργική ηλεκτρική διέγερση (FES), γνωστή και ως ηλεκτρική μυϊκή διέγερση, είναι ένας πιο εντατικός τύπος διέγερσης από την ηλεκτροαυλική διέγερση (Fleury et 2020).[27] Αυτό το είδος ηλεκτρικής διέγερσης ενεργοποιεί τη συστολή των μυών και έτσι παρέχει μια κινητική αίσθηση. Η FES έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την κινητική αποκατάσταση σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο (Εικόνα 21), παρουσιάζοντας υποσχόμενα αποτελέσματα για την κινητική αποκατάσταση. Το BCI χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των μοτίβων ΗΕΓ τριών νοητικών εργασιών: (1) κινητική χαλάρωση, (2) απεικόνιση του ανοίγματος του αριστερού χεριού και (3) απεικόνιση του ανοίγματος του δεξιού χεριού. Οι οδηγίες για την εργασία δόθηκαν με τη χρήση οθόνης υπολογιστή. Η αξιολόγηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας του ΗΕΓ κατά τη διάρκεια της κινητικής απεικόνισης τόσο του παρετικού όσο και του άθικτου χεριού ( αντί της φαντασίας της κίνησης μόνο του παρετικού χεριού ) επέτρεψε τη διάκριση μεταξύ των δυο συνθηκών. Αυτή η απαίτηση διασφάλιζε ότι οι ασθενείς εκτελούν μια πλευρική κινητική απεικόνιση και όχι μια διαφορετική νοητική εργασία, για παράδειγμα μια γενική αύξηση της προσοχής (Frolon et al., 2017)[30]



Εικόνα 21 Ένα σύμπλεγμα BCI-εξωσκελετού. Ένα μπλοκ διάγραμμα του συμπλέγματος BCI που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη: 1-32 ηλεκτρόδια EEC Ag/AgCl, 2-α εγκεφαλογράφος NVX 52

(Medical Computer Systems Ρωσία)- 3-α υπολογιστής (OS Windows7): μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αναγνώριση λειτουργικών παραμέτρων ΗΕΓ, αναγνώριση εντολής οδήγησης- 4-α οθόνη παρουσίασης – 5-α εξωσκελετός χεριών (Neurobotics Ρωσία) με πνευματικούς ενεργοποιητές των εκτεινόντων των δακτύλων και των καμπτήρων των ελατηρίων- απεικονίζονται οι διαμορφώσεις του εξωσκελετού σε λυγισμένη και εκτεταμένη κατάσταση. Το διακεκομμένο βέλος υποδηλώνει οπτική ανατροφοδότηση και το συμπαγές βέλος υποδηλώνει κινητική ανατροφοδότηση(Frolon et al., 2017)

## Κεφάλαιο 4ο: Απτική τεχνολογία και γενικοί τομείς εφαρμογή

### 4.1 Εισαγωγή

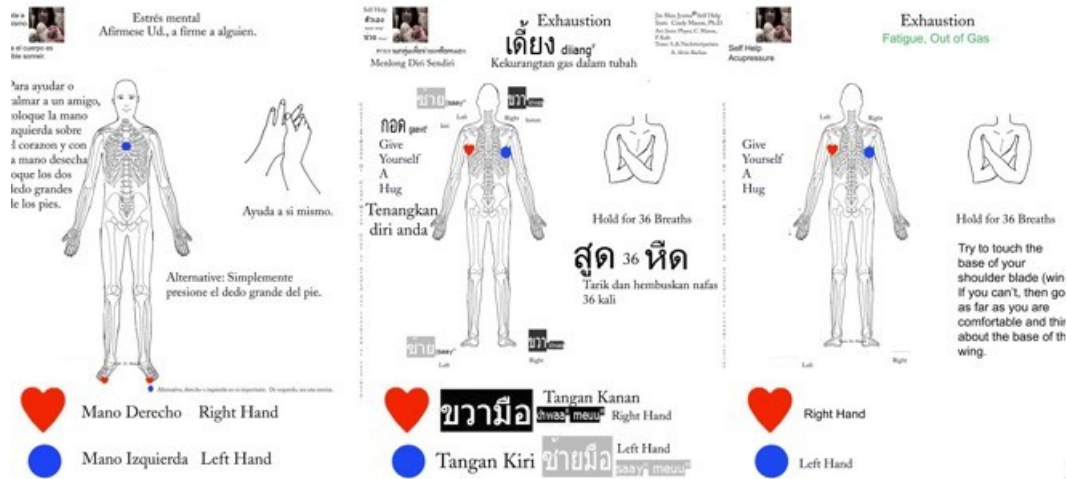
Εδώ, παρέχουμε μια αφηγηματική αναθεώρηση ορισμένων από τους καινούριους τομείς εφαρμογής των απτικών τεχνολογιών. Οι περισσότεροι από αυτούς τους τομείς σχετίζονται με τη χρήση εικονικών σεναρίων για σκοπούς μάθησης, κατάρτισης ή αποκατάστασης. Η χρήση αυτών των τεχνικών για την εκπαίδευση ατόμων με ειδικές ανάγκες αποτελεί αντικείμενο μιας άλλης ενότητας.

### 4.2 Ιατρική

Οι απτικές συσκευές για την εκπαίδευση ιατρικών δεξιοτήτων αναπτύσσονται σε πολλούς τομείς της ιατρικής. Αυτό φτάνει μέχρι την πρόταση ενός νέου είδους ιατρικής προσέγγισης, της λεγόμενης απτικής ιατρικής, όπου η αφή μπορεί να αποτελέσει μέρος των θεραπευτικών θεραπειών. Ένα παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη ενός προγράμματος μέσω ενημέρωσης για την εκπαίδευση σε θέματα υγείας για την απτική ιατρική όπου παρέχονται προτάσεις για μελλοντικές εργασίες που βασίζονται εν μέρει στην εκπαίδευση σε θέματα υγείας σε εθνικό επίπεδο στον Καναδά. Στον ιστότοπο «[www.21stcenturymed.org](http://www.21stcenturymed.org)» παρουσιάζονται εκπαιδευτικά μέσα για επαγγελματίες υγείας και για καθημερινούς ανθρώπους με βάση την εμπειρία με ασθενείς, οικογένειες και φροντιστές στο νοσοκομείο Stanford, το Lucille Packard, το Kaiser Permanente και το Berkeley Primary Care, καθώς και από κοινοτικά μαθήματα που διδάσκονται στο Berkeley και το Palo Alto της Καλιφόρνια. Επιστήμονες βασίστηκαν στις τρέχουσες τεχνολογίες μέσω – DVD που μπορούν να λειτουργήσουν είτε στην τηλεόραση είτε στον υπολογιστή, στο διαδίκτυο και σε ορισμένες περιπτώσεις σε μια εικονική τάξη με τη χρήση διαδικτυακών καμερών. Επιλέχθηκε η εργασία με την ψυχοφυσιοφιλία εν μέρει λόγω της έμφασής της στην αυτοβοήθεια. Κλιμακώνεται καλά για μεγάλους πληθυσμούς και είναι καλά αποδεκτή σε πολλές χώρες. Είναι δημοφιλής επειδή υποστηρίζει τόσο τις σωματικές όσο και τις συναισθηματικές ανάγκες. Τα θετικά αποτελέσματα αναφέρονται ευρέως σε δημόσια περιοδικά και εφημερίδες. Για τους επαγγελματίες υγείας, ο ιστότοπος είναι ένα μέρος για να αρχίσουν να μαθαίνουν για την αφή και τους πόρους. Η ιστοσελίδα είναι επίσης ένα μέρος για να μάθει ο καθένας να εφαρμόζει συνταγές αυτοβοήθειας χρησιμοποιώντας on-line ταινίες και οδηγίες με εικόνες/κείμενο (γαλλικά, ισπανικά, αγγλικά, ινδονησιακά, πορτογαλικά), Έχει χρησιμοποιηθεί στην αποκατάσταση καταστροφών, σε αγροτικές και απομακρυσμένες καταστάσεις υγείας, στην προσπάθεια της βάσης για γήρανση στο σπίτι και παρουσιάστηκε στο συνέδριο Evidence Based CAM for Cancer το 2008. Το υλικό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε κλινικές και κέντρα αποκατάστασης που αγωνίζονται με μικρούς προϋπολογισμούς και αυξανόμενο αριθμό ατόμων που χρειάζονται υποστήριξη. Χρησιμοποιώντας διαδικτυακές κάμερες το περασμένο καλοκαίρι συνεργαστήκαμε με έναν υπάλληλο του Λονδίνου του Οντάριο και εργοθεραπευτές στο νοσοκομείο αποκατάστασης Parkwood, οι οποίοι μοιράστηκαν το διδακτικό υλικό με 15 τάξεις μαθητών. Οι παθήσεις των ασθενών στις τάξεις περιλάμβαναν πολλαπλά τραύματα άλλα σοβαρά έργα υγείας. Εντός του ιστότοπου υπάρχει ένας αριθμός πηγών εκπαίδευσης υγείας (DVD) για την ακλινή ψυχοφυσιοθεραπεία αυτοβοήθειας, συμπεριλαμβανομένης της βασικής αυτοφροντίδας, της φροντίδας του ύπνου, της συναισθηματικής φροντίδας και μιας μορφής ήπιας άσκησης tai chi σε καρέκλα που ενσωματώνει τη θεραπεία αφής αυτοβοήθειας. (Mason & Mason,2009)[

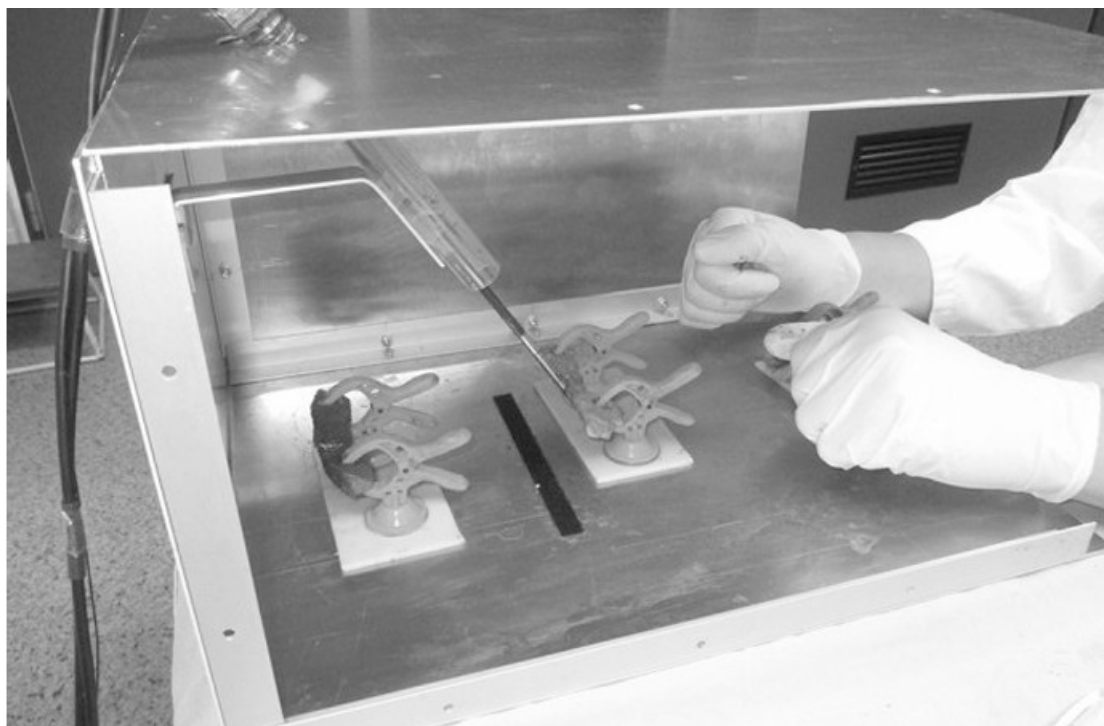
Οι «άνθρωποι χωρίς σύνορα» είναι η συλλογή του on-line υλικού αυτοβοήθειας στο [21stcenturymed.org](http://21stcenturymed.org). Το υλικό δημιουργήθηκε 3 εβδομάδες πριν από το τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό

που έπληξε την Ινδονησία και τη νοτιοδυτική Ασία το 2004. Η συλλογή της ιστοσελίδας μεγάλωσε και περιλαμβάνει μεταφράσεις από την Ταϊλάνδη, τα ισπανικά, τα γαλλικά, τα πορτογαλικά, τα γερμανικά και ουγγρικά. Παραδείγματα των διαδικτυακών οδηγιών παρουσιάζονται στην Εικόνα 22. (Mason & Mason,2009)



Εικόνα 22 Δείγματα οδηγιών στα ισπανικά, ταϊλανδέζικα/ινδονησιακά και αγγλικά από το πρόγραμμα εκπαίδευσης σε θέματα υγείας των Ανθρώπων Χωρίς Σύνορα (Mason & Mason,2009)

Αναπτυγμένες φορητές λύσεις ενισχύουν τις διαδικασίες αντίληψης του χρήστη για άτομα με κάποια αναπηρία, όπως φορητές συσκευές που αποτελούνται από μικρές μονάδες ενσωματωμένες με ενεργοποιητές που προκαλούν ερεθίσματα (απτικά, φωτεινά και ηχητικά) στους χρήστες και αισθητήρες που καταγράφουν τις αντιδράσεις των χρηστών (Schiatti et al., 2020).[64] Από την άλλη πλευρά, η απτική ανατροφοδότηση είναι εξαιρετικά πολύτιμο χαρακτηριστικό σε ορισμένα ιατρικά όργανα, όπως οι λαπαροσκοπικές λαβίδες. Διεξήχθη μια τυχαίοποιημένη διασταυρούμενη δοκιμή τριών περιόδων από τους Alleblas et al (2017)[2], στην οποία συμμετείχαν επτά ειδικευόμενοι χειρουργοί και 13 φοιτητές ιατρικής. Η διάταξη περιελάμβανε ένα εκπαιδευτικό κουτί στο οποίο παρουσιάζονταν φέτες οργάνων χοίρου (πνεύμονες, λεπτό έντερο ή ήπαρ). Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τρεις σειρές εργασιών τυφλής ψηλάφησης που περιελάμβαναν τρεις διαφορετικούς αρπαγές: τη συμβατική αρπαγή, το FROI με ενεργοποιημένη ενισχυτική απτική ανατροφοδότηση και το FROI με απενεργοποιημένη ενισχυτική απτική ανατροφοδότηση. Σε κάθε σειρά, εννέα ζεύγη ιστών οργάνων ψηλαφήθηκαν για να συγκριθούν οι συνοχές.



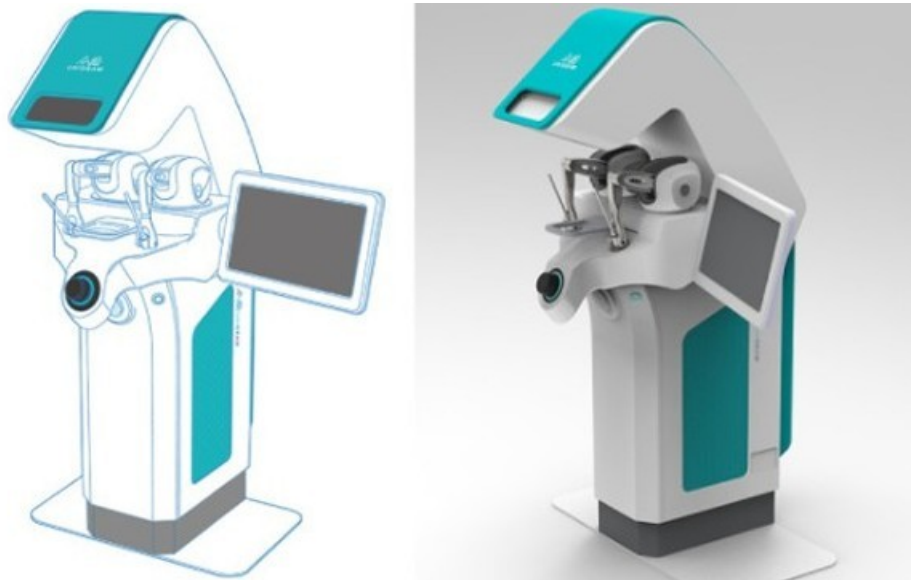
Εικόνα 23 Πειραματική διάταξη: Ο συμμετέχων στέκεται στα αριστερά για να κρατάει τη λαβίδα και ο εκπαιδευτής στα δεξιά για να τοποθετεί τους ιστούς μπροστά από το άκρο της λαβίδας (Alleblas et al., 2017)

Η σειρά παρουσίασης των οργάνων και των ιστών ήταν τυχαία. Η δύναμη που εφαρμόστηκε κατά την ψηλάφηση των ιστών μειώθηκε σημαντικά, κατά μέσο όρο κατά 3,1 με ενισχυμένη απτική ανατροφοδότηση. Η ερμηνεία της συνεκτικότητας των ιστών βελτιώθηκε σημαντικά με περισσότερες σωστές εκτιμήσεις και οι συμμετέχοντες απάντησαν με σημαντικά μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση όταν υπήρχε ενισχυμένη απτική ανατροφοδότηση. Η διαθεσιμότητα ενισχυμένης απτικής ανατροφοδότησης επέτρεψε στους συμμετέχοντες να λειτουργούν τα σημαντικά μειωμένη δύναμη αλληλεπίδρασης μεταξύ οργάνου και ιστών. Η παρατήρηση αυτή αναμένεται να έχει πολλαπλές σημαντικές κλινικές επιπτώσεις, όπως λιγότερες βλάβες στους ιστούς λιγότερες επιπλοκές συντομότερους χρόνους λειτουργίας και βελτιωμένη εργονομία. (Alleblas et al., 2009)[2]

Τα απτικά έχουν προταθεί εδώ και καιρό για την ιατρική εκπαίδευση, με ορισμένες μελέτες να δείχνουν την επίδραση της απτικής ανατροφοδότησης και του συγχρονισμού των απτικών που αποδίδονται για τη βελτίωση της ικανότητας μάθησης των χρηστών. Η θετική επίδραση της συμπερίληψης απτικών στην εικονική προσομοίωση της χειρουργικής εκπαίδευσης αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο. Μια συστηματική ανασκόπηση των Azher et al (2024)[4], διαπίστωσε ότι η εφαρμογή της απτικής τεχνολογίας στη χειρουργική εκπαίδευση με εικονική προσομοίωση αποκαλύπτει αξιοσημείωτη ετερογένεια, η οποία επηρεάζεται από τους συγκεκριμένους χειρουργικούς τομείς που εξυπηρετεί. Σε τομείς όπως η οδοντιατρική και η ορθοπαιδική χειρουργική, η επικρατέστερη επιλογή είναι η προσομοίωση των αισθήσεων διάτρησης, αν και η εμπειρική υποστήριξη για τον ρεαλισμό και την αποτελεσματικότητά τους είναι περιορισμένη. Επιπλέον, μόνο τέσσερις μελέτες στόχευαν στην αξιολόγηση της απτικής ανατροφοδότησης που παρέχεται μέσω

σύνθετων υφών διαφόρων ιστών. Είναι ενδιαφέρον ότι, στο πλαίσιο των λαπαροσκοπικών προσομοιώσεων, η κύρια έμφαση έχει δοθεί στην τελειοποίηση θεμελιωδών τεχνικών δεξιοτήτων, όπως ο χειρισμός οργάνων, η σύλληψη και η ακριβής ανατομή σε εικονικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, υπάρχει μια προφανής ανάγκη για περαιτέρω πρόοδο στην αναπαραγωγή και παροχή των αποχρώσεων των απτικών ιδιοτήτων των μαλακών ιστών και των στερεών οργάνων, γεγονός που υποδηλώνει μια πολλά υποσχόμενη λεωφόρο για συνεχή έρευνα και ανάπτυξη σε αυτή τη διασταύρωση της τεχνολογίας και της χειρουργικής εκπαίδευσης τόσο για τους εκπαιδευτές όσο και για τους κατασκευαστές εικονικής προσομοίωσης (Azher et al 2024)[4]

Η οδοντιατρική είναι ένας τομέας της ιατρικής που έχει αξιοποιήσει εκτενώς συστήματα εικονικής εκπαίδευσης που διαθέτουν απτικά χαρακτηριστικά. Σήμερα, αυτού του είδους τα συστήματα έχουν εισέλθει ακόμη και στην κατηγορία των επικυρωμένων εργαλείων για εικονικές εξετάσεις, όπως για τους οδοντοτεχνίτες. Οι Pang et al (2022)[58], παρουσίασαν για την ανάπτυξη και την επικύρωση του συστήματος OMEDT, ενός νέου εικονικού συστήματος προσομοίωσης εκπαίδευσης, για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του πλαισίου OMEDT μπορεί να επιλύσει τα πολύπλοκα προβλήματα που συναντώνται στην πρακτική εξέταση του πιστοποιημένου οδοντοτεχνίτη με εξαιρετική αποτελεσματικότητα, υψηλή ποιότητα και χαμηλό κόστος. Το σύστημα OMEDT διαπιστώθηκε ότι βελτιώνει τις πρακτικές δεξιότητες των φοιτητών μέσω της εκπαίδευσης με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Επιπλέον, διερευνήθηκαν διάφορα βασικά ερευνητικά θέματα, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της θετικής ανατροφοδότησης της γνώσης των αποτελεσμάτων στη βελτίωση του επιπέδου δεξιοτήτων των μαθητών και του μετασχηματισμού της κοινής λογικής των εκπαιδευτικών στο περιβάλλον τεχνολογίας εικονικής προσομοίωσης. Η ενότητα απτικής ανατροφοδότησης αναπτύχθηκε από το Unidental, έναν οδοντιατρικό προσομοιωτή τρίτης γενιάς που αναπτύχθηκε από Beijing Unidraw Virtual Reality Technology Research Co Ltd (Εικόνα 24) (Pang et al 2022)[58]



Εικόνα 24 Συσκευή απτικής ανάδρασης Unidental τοποθετημένη στη μονάδα D-Carving.(Pang et al 2022)

Η αυξανόμενη ποιότητα των απτικών διεπαφών είναι πολύ σημαντική για την εισαγωγή συστημάτων εικονικής εκπαίδευσης σε άλλους τομείς της ιατρικής, όπως η ουρολογία, όπου έχουν προταθεί για την αντικατάσταση των πτωματικών μοντέλων (Chahal et al., 202)[15]

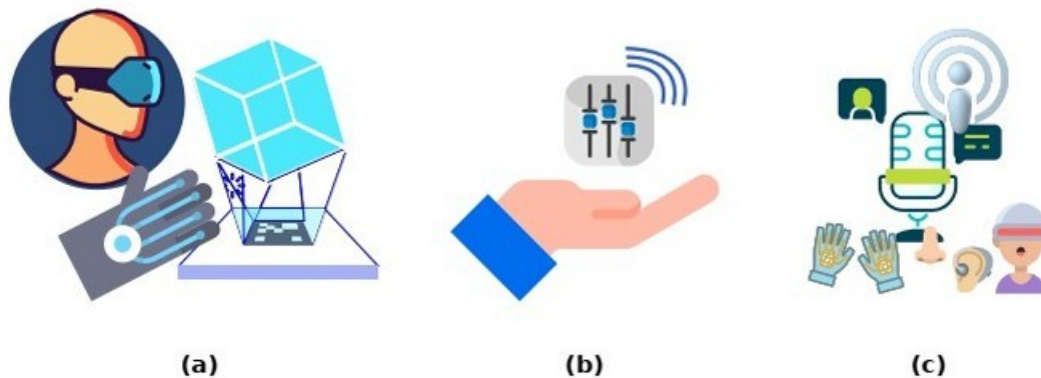
Στην ίδια ερευνητική γραμμή, το Πανεπιστήμιο Deakin παρουσίασε μια πρωτοποριακή εξέλιξη, ενσωματωμένη στο ρομπότ HeroSurg, για να δώσει στους χειρουργούς την αίσθηση της αφής, ενώ ένα ρομπότ οδηγείται μέσω υπολογιστή για να εκτελέσει ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές επεμβάσεις. Ο Δρ Dalvand δήλωσε ότι το HeroSurg θα βοηθήσει τους χειρουργούς να εκτελέσουν απαιτητικές χειρουργικές επεμβάσεις με άνεση, ακρίβεια και ασφάλεια, παρέχοντας αποφυγή συγκρούσεων σε πραγματικό χρόνο για τα ιατρικά εργαλεία και στερεοενδοσκοπική όραση. Πρόσθεσε ότι το επιπλέον σε πραγματικό χρόνο τρισδιάστατο εικονικό HeroSurg θα βοηθήσει τον χειρουργό να εντοπίσει τη σχέση θέσης των εργαλείων και του λαπαροσκοπίου. (Deakin University,2016)[21]

Τα απτικά έχουν συμπεριληφθεί σε συστήματα πολυτροπικής εικονικής πραγματικότητας (MVR) για την ιατρική εκπαίδευση, για παράδειγμα στη μαιευτική, όπου τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη μεταφορά απτικής γνώσης εμπειρογνομόνων στους σπουδαστές. Η απτική ανατροφοδότηση αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο των προσομοιώσεων εκπαίδευσης στη νευροχειρουργική, οι οποίες προτείνονται όλο και περισσότερο ως μέσο για συνεργασία χωρίς σύνορα στην εξέλιξη καινοτόμων διαδικασιών και τεχνικών στη νευροχειρουργική.

Η αξία της απτικής ανατροφοδότησης έχει επίσης αναγνωριστεί ευρέως στην ενδοσκοπική εκπαίδευση, συγκεκριμένα στην ενδοσκοπική νευροχειρουργική και στη λαπαροσκοπική χειρουργική, επιτρέποντας την αυτόματη αξιολόγηση της απόδοσης του εκπαιδευόμενου. Επιπλέον, η εκπαίδευση προσομοίωσης της μικρολαρυγγοσκόπησης με απτικά συστήματα έχει επίσης αξιολογηθεί θετικά από τους εκπαιδευόμενους. Ορισμένες πολύ ειδικές χειρουργικές επεμβάσεις και ιατρικές διαδικασίες, μπορούν να διδαχθούν με πλεονεκτικό τρόπο χρησιμοποιώντας διαδικασίες απτικά ενισχυμένης εικονικής πραγματικότητας. Η απτική παίζει επίσης μεγάλο ρόλο στη διδασκαλία της οδοντιατρικής αναισθησίας στον αποκλεισμό του κάτω φατνιακού νεύρου σε ένα τρισδιάστατο εκτυπωμένο μοντέλο της περιοχής στη διάνοιξη οστών σε εκπαιδευτικά σενάρια εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, η συγχώνευση δεδομένων απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού υψηλής ανάλυσης (οκτώ Teslas) με απτικά συστήματα επέτρεψε την προσομοίωση οστών υψηλής ανάλυσης κατά την ανατομή για την εκπαίδευση ωτοχειρουργών. (Irigoyen et al 2024) [37]

### 4.3 Παιχνίδια, παιχνιδιοποίηση και τηλεχειρισμός

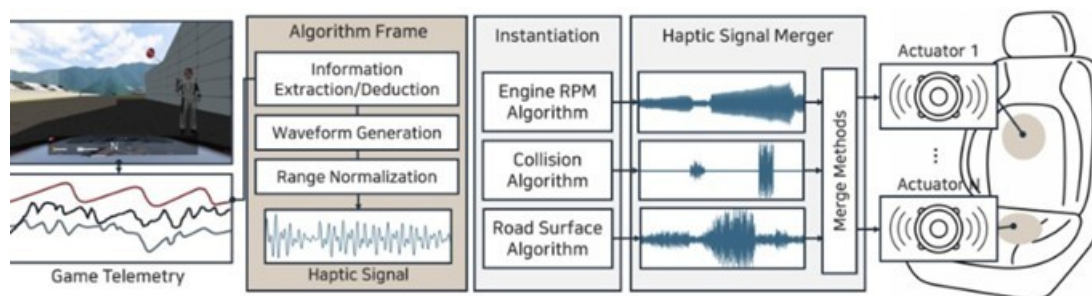
Οι νέες προτάσεις αλληλεπίδρασης παιχνιδιών από τα εργαστήρια εμπυθιστικής εικονικής πραγματικότητας όπως η Meta touch που απεικονίζεται στην Εικόνα 25, έχουν γίνει τέλεια εργαλεία για την αλληλεπίδραση με τον χρήστη και την ενίσχυση των αισθητηριακών διεργασιών, ανοίγοντας νέα σύνορα για την ανάπτυξη προηγούμενων λύσεων σε τομείς όπως η ειδική εκπαίδευση. Το Teslasuit είναι ένα άλλο παράδειγμα της προόδου της απτικής τεχνολογίας σε ορισμένους τομείς, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα λύσεων, όπως στολές και γάντια. Στις μέρες μας, σε γενικότερο πλαίσιο, είναι δυνατόν να βρεθούν κοινότητες στον απτικό κόσμο όπου προβάλλονται νέες προτάσεις και ιδέες, όπως στην περίπτωση του Hapticast, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25c. Οι σημερινές καυτές προσπάθειες στην ανάπτυξη απτικών για παιχνίδια είναι κυρίως αφιερωμένες στην παραγωγή αισθήσεων επιπτώσεων στο σώμα, όπως οι σφαίρες σε πολεμικά παιχνίδια, ή επιδράσεων που προκαλούν συναισθήματα, όπως ο χτύπος της καρδιάς κατά τη διάρκεια αγχωτικών καταστάσεων μέσα στο παιχνίδι. Ωστόσο, αυτά τα τεχνάσματα δεν είναι πολύ χρήσιμα σε παιχνίδια που έχουν εκπαιδευτικές εφαρμογές (Irigoyen et al 2024)[37]



Εικόνα 25 Αλληλεπίδραση με το περιβάλλον: (α) Meta-Inside Reality Labs: Φέρνοντας την αφή στον εικονικό κόσμο.(β) Teenage Engineering Rumble: ένα βιδωτό απτικό υπογούφερ για το OP-Z (γ) Hapticast: Εβδομαδιαίο podcast με απτικό υλικό γεμάτο με ειδήσεις για παιχνίδια.( Irigoyen et al., 2024)

Οι απτικές τεχνολογίες διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στην παιχνιδιοποίηση του εκπαιδευτικού περιεχομένου. Για παράδειγμα η Teenage Engineering έχει αναπτύξει ένα υπογούφερ Rumble για ένα από τα νεότερα συνθεσάιζερ, το OP-Z. Αυτή η απτική συσκευή ήχου μπορεί να εισαχθεί σε μια τσέπη, χάρη στη μικρογραφία της (Εικόνας 25b).Μια άλλη ενδιαφέρουσα εμπειρία είναι αυτή που αναπτύχθηκε από τους ερευνητές και τους καθηγητές που συνεργάζονται στο εργαστήριο CyberLearning & DataSciences του Tec Monterrey, το οποίο βρίσκεται στην πανεπιστημιούπολη της Πόλης του Μεξικού, όπου μέσω της πολυτροπικής απτικής αλληλεπίδρασης έδειξαν πως μπορούν να βελτιωθούν οι συμβατικές διαδικασίες διδασκαλίας-μάθησης.(Irigoyen et al., 2024)[37]

Η απτική αίσθηση στα παιχνίδια μπορεί να παραχθεί από πηγές, όπως ο ήχος ή τα δεδομένα τηλεμετρίας σε παιχνίδια αγώνων αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα, η χρήση δεδομένων τηλεμετρίας επιτρέπει την προσομοίωση συγκρούσεων αυτοκινήτων, την υφή του δρόμου και την απόκριση του κινητήρα του αυτοκινήτου στις εντολές του χρήστη (Lee et al., 2024)[45]



Εικόνα 26 Τηλεμετρική απτική απόδοση για βελτίωση της εμπειρίας των αγωνιστικών παιχνιδιών (Lee et al., 2024)

Μια πρόσφατη εργασία των Van Baelen et al (2020),[78] έδειξε ότι είναι δυνατή η αύξηση της ευαισθητοποίησης του χρήστη σε ένα σύστημα περιβάλλουσας προστασίας στον τηλεχειρισμό/εικονικό έλεγχο πτήσης, όπου ο χρήστης μπορεί να λάβει πέντε σήματα: πρώτον, ένα διακριτό σήμα δύναμης όταν πλησιάζει τα όρια χρήσης – δεύτερον, έναν αυξημένο συντελεστή ελατηρίου για αποκλίσεις ελέγχου σε θέσεις που βρίσκονται πιο κοντά στα όρια – τρίτον, μια ενέργεια κουνήματος για χαμηλές ταχύτητες – τέταρτον, μια κίνηση προσαρμοσμένη στην επιθυμητή είσοδο ελέγχου – και, τέλος, αυτόματη λειτουργία όταν υπερβαίνονται οι οριακές συνθήκες.

#### 4.4 Αποκατάσταση

Στην αποκατάσταση, οι απτικές συσκευές βοηθούν τους ασθενείς να βελτιώσουν την κινητική και αισθητηριακή τους συσκευή, είτε μέσω της βοήθειας στην πραγματοποίηση της κίνησης είτε μέσω της ενίσχυσης της περιβαλλοντικής τους αντίληψης. Προϊόντα όπως το e-dermis και το SPA-skin έχουν πολύ χρήσιμα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τον έλεγχο της πρόκλησης ορισμένων αισθήσεων, όπως ο πόνος, η πίεση, η θερμοκρασία κ.λπ. που μεταδίδονται στον εγκέφαλο μέσω των περιφερικών νεύρων. (Tech Briefs; EPEL, 2019)[73]

Το ανθρώπινο δέρμα αποτελείται από πολύπλοκο δίκτυο υποδοχέων που μεταδίδουν στον εγκέφαλο μια ποικιλία αισθήσεων. Η απόδοση μιας πιο ανθρώπινης πινελιάς στα σύγχρονα προσθετικά σχέδια είναι κρίσιμη, ειδικά όταν πρόκειται για ενσωμάτωση της ικανότητας να αισθάνεται πόνος. Εδώ έρχεται το e-dermis, το οποίο μεταφέρει πληροφορίες στον ακρωτηριασμένο διεγείροντας τα περιφερικά νεύρα στο χέρι, κάνοντας το λεγόμενο άκρο-φάντασμα να ζωντανέψει. Εμπνευσμένο από την ανθρώπινη βιολογία, το e-dermis επιτρέπει στον χρήστη του να αισθάνεται ένα συνεχές φάσμα απτικών αντιλήψεων, από το ελαφρύ άγγιγμα έως το επιβλαβές ή επώδυνο ερέθισμα (Tech Briefs, 2024)[73]

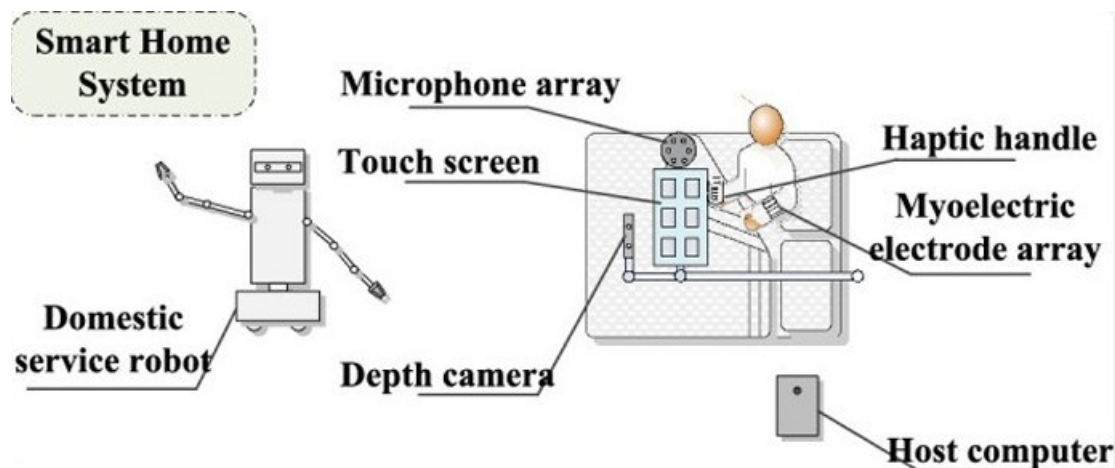
Το e-dermis το κάνει αυτό διεγείροντας ηλεκτρικά τα νεύρα του ακρωτηριασμένου με μη επεμβατικό τρόπο, μέσω του δέρματος. Κατασκευάστηκε ένα νευρομορφικό μοντέλο, το οποίο μιμείται τους υποδοχείς αφής και πόνου του ανθρώπινου νευρικού συστήματος και επιτρέπει στο e-dermis να κωδικοποιεί ηλεκτρονικά τις αισθήσεις όπως ακριβώς θα έκαναν οι υποδοχείς στο δέρμα. Παρακολουθώντας την εγκεφαλική δραστηριότητα μέσω ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG), διαπιστώθηκε ότι το υποκείμενο της δοκιμής ήταν σε θέση να αντιληφθεί αυτές τις αισθήσεις στο χέρι- φάντασμα. (Tech Briefs, 2024).[73]

Στη συνέχεια, οι ερευνητές συνέδεσαν την έξοδο του e-dermis με τον εθελοντή χρησιμοποιώντας μια μη επεμβατική μέθοδο γνωστή ως διαδερμική ηλεκτρική νευρική διέγερση (TENS). Σε μια εργασία ανίχνευσης πόνου, η ομάδα διαπίστωσε ότι το υποκείμενο της δοκιμής και η πρόθεση ήταν σε θέση να βιώσουν μια φυσική, αντανακλαστική αντίδραση στον πόνο κατά την επαφή με ένα αιχμηρό αντικείμενο και μη πόνο κατά την επαφή με ένα στρόγγυλο αντικείμενο.(Tech Briefs, 2024).[73]

Το e-dermis δεν είναι ευαίσθητο στη θερμοκρασία – για την μελέτη αυτή, η ομάδα επικεντρώθηκε στην ανίχνευση της καμπυλότητας του αντικειμένου (για την αντίληψη της αφής και του σχήματος) και της οξύτητας (για την αντίληψη του πόνου). Η τεχνολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να κάνει ρομποτικά συστήματα πιο ανθρώπινα και να επεκταθεί ή να επεκταθεί σε γάντια αστροναυτών και διαστημικές στολές. (Tech Briefs, 2024).[73]

Έχει αποδεχθεί ότι τα κίνητρα για θετική συμμετοχή σε σκληρή προπόνηση, όπως είναι η αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, μπορούν να ενισχυθούν μέσω της κοινωνικής

αλληλεπιδράσεις μέσω απτικών διεπαφών, ωστόσο, οι μελέτες σχετικά με τη χρησιμότητα των απτικών δυάδων με τη μεσολάβηση ρομπότ – δηλαδή των συστημάτων ανθρώπου- ρομπότ- ανθρώπου- ρομπότ, για την κινητική αποκατάσταση στη νευροαποκατάσταση είναι ασυνεπείς, αναφέροντας πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, ορισμένες εμπειρίες έχουν δείξει μια θετική επίδραση της χρήσης διεπαφών ανατροφοδότησης δύναμης σε διαδικασίες νευρικής αποκατάστασης (Qin et al., 2023)[61]



Εικόνα 27 Ένα σενάριο εφαρμογής του συστήματος. Μια κάμερα βάθους, οθόνη αφής και μια συστοιχία μικροφώνων εγκαθίστανται σε ένα περιστρεφόμενο βραχίονα δίπλα στο κρεβάτι. Μια απτική χειρολαβή και ένα βραχιόλι μυοηλεκτρικής συστοιχίας τοποθετούνται στο πλευρό του κρεβατιού. Ένας χρήστης επιλέγει διαφορετικές λειτουργίες για να εκφράσει απαιτήσεις. Υπό τη διαχείριση ενός κεντρικού υπολογιστή, το ρομπότ υπηρεσίας και το έξυπνο οικιακό σύστημα συνεργάζονται για να παρέχουν κάποια βοήθεια για την ανεξάρτητη διαβίωση, όπως η ανάληψη εργασιών και ο χειρισμός οικιακών συσκευών. (Qin et al., 2023)

#### 4.5 Προσωπική βοήθεια

Οι απτικές τεχνολογίες διαδραματίζουν επίσης μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη τεχνολογιών υποβοήθησης των ατόμων με αναπηρία κατά την υλοποίηση των καθημερινών τους καθηκόντων. Υπάρχουν στην αγορά ορισμένες μη παρεμβατικές λύσεις που βελτιώνουν τη ζωή των ατόμων με αναπηρία, όπως το WeWalk για άτομα με προβλήματα όρασης, το οποίο δονείται για να ενημερώνει τον χρήστη για χαμηλά εμπόδια που συχνά δεν τα αντιλαμβάνεται από το κάτω μέρος του μπαστουιού (Εικόνα 28), ή η αισθητηριακή υποκατάσταση, η οποία παρακάμπτει την απώλεια μιας αίσθησης τροφοδοτώντας τις πληροφορίες της μέσω μιας άλλης αισθητηριακής οδού. ( WeWalk.io; Sensory Sustitution)[82]



Εικόνα 28 Πρωτοποριακά χαρακτηριστικά μέσα στο λεπτό και ελαφρύ σχήμα ενός συνηθισμένου λευκού μαστουιού. Μοιάζει με λευκό μαστούι, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα έξυπνο μαστούι. ( <https://wewalk.io/en/product/> )

Επιπλέον υπάρχουν και άλλες πιο επεμβατικές λύσεις, όπως η παραγωγή απτικών αισθήσεων με άμεση νευρική διέγερση μέσω μαγνητικών συνάψεων, ή η πρόταση e-dermis, η οποία χρησιμοποιεί διαδερμική των νεύρων. Πρόσφατες προτάσεις για οικιακά ρομπότ που θα βοηθήσουν άτομα με μειωμένες ικανότητες έχουν συμπεριλάβει απτικές αισθήσεις στις διεπαφές πολυτροπικής αλληλεπίδρασης ως έναν τρόπο για την επίτευξη γρήγορης επικοινωνίας σε ακραίες συνθήκες. (Qin et al., 2023)[61]

## Κεφάλαιο 5ο: Η απτική στις ανάγκες της ειδικής εκπαίδευσης

### 5.1 Εισαγωγή

Η ποικιλομορφία των αναγκών σε εκπαιδευτικούς πόρους και εργαλεία αποτελεί ένα διαρκώς αυξανόμενο πρόβλημα, λόγω της αυξανόμενης κοινωνικής ευαισθητοποίησης για τις διαφορετικές συνθήκες των μαθητών όλων των ηλικιών. Απαιτούνται ολοένα και περισσότερα τεχνολογικές λύσεις για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων. Για παράδειγμα, η αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ ανοίγει νέους δρόμους για εκπαιδευτικές αλληλεπιδράσεις, όπου απλά παιχνίδια, όπως το κοινό χτύπημα των χεριών, μπορούν να έχουν θεραπευτικό αποτέλεσμα σε παιδιά με αναπτυξιακά σύνδρομα. Η μελέτη των Fitter & Kutchenecker (2018)[, επικεντρώθηκε σε δυο αισθητήρες IMU 9 DOF MPU1950 που είναι δεμένοι στους καρπούς ενός ανθρώπου χρήστη. Τα ίδια 12 κανάλια δεδομένων IMU (μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου και του γυροσκοπίου των αξόνων x, y και z από κάθε χέρι) διαβιβάστηκαν από ένα Arduino Tennsy στο πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων μας μέσω σύνδεσης USB στα 200 Hz. Ο ρομποτικός πράκτορας για αυτή την έρευνα ήταν ένα ερευνητικό ρομπότ Baxter της Rethink Robotics, μια ανθεκτική πλατφόρμα σε ανθρώπινο μέγεθος που μπορεί να ασκήσει δυνάμεις ανθρώπινου επιπέδου στα χέρια του χρήστη και να αντέξει επαφές με τα χέρια χωρίς να σπάσει ή να πέσει. Το ρομπότ Baxter ήταν εξοπλισμένο με δυο μη αρθρωτά προσαρμοσμένα χέρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 29. Αυτά τα προσαρμοσμένα χέρια είναι τρισδιάστατα εκτυπωμένα και καλύπτονται με εύκαμπτο καουτσούκ σιλικόνης. Ένα μικρό κυλιόμενο τραπέζι τοποθετήθηκε μεταξύ του Baxter και του συμμετέχοντα για να παρέχει αφενός μια επιφάνεια που μοιάζει με αγκαλιά και στην οποία ο Baxter θα μπορούσε να χτυπήσει για την κίνηση lap rat (LP) και αφετέρου να κρατήσει τον χρήστη σε σταθερή απόσταση από το ρομπότ. (Fitter & Kutchenecker, 2018)



Εικόνα 29 Η πειραματική διάταξη για τη μελέτη δι-χειροκίνητου χτυπήματος χεριών ανθρώπου-ρομπότ.(Fitter & Kutchenecker, 2018)

Οι συμβατικές προσεγγίσεις είναι συχνά εκτός συζήτησης σε πολλές περιπτώσεις και περιστάσεις. Για παράδειγμα, σε συνθήκες πανδημικού εγκλεισμού, η πρόσωπο με πρόσωπο διδασκαλία δεν επιτρέπεται. Οι απτικές διεπαφές έχουν αποδείξει την αξία τους όχι μόνο σε αυτές τις ακραίες συνθήκες αλλά και σε πιο συνηθισμένες καταστάσεις της ζωής όπου οι άνθρωποι έχουν πολύ αυστηρές ανάγκες για τις οποίες η απτική επικοινωνία έχει αποδείξει ιδιαίτερη αξία. Συχνά, η στέρηση των αισθήσεων ανοίγει νέους και φαινομενικά διαύλους επικοινωνίας.

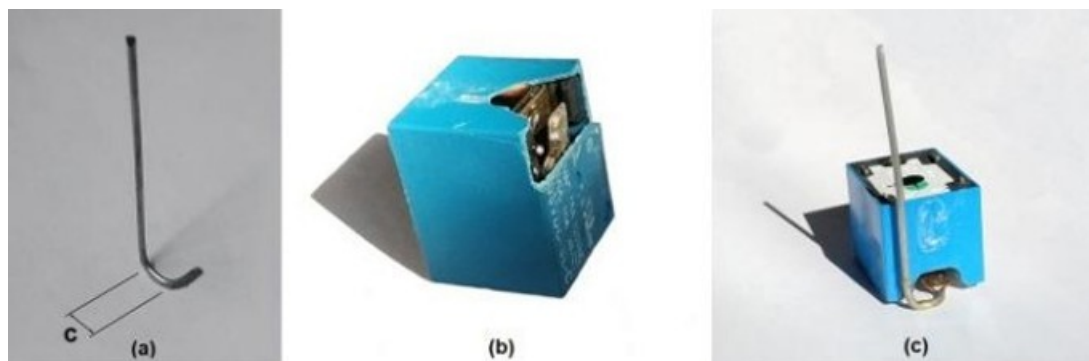
Μια πρόταση ανασκόπηση έδειξε ότι τα παιδιά με προβλήματα ακοής μπορούν επίσης να επωφεληθούν από την ψυχοκινητική τους ανάπτυξη με τη χρήση συστημάτων υποβοήθησης του υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων των απτικών διεπαφών. Ως άλλη απόδειξη, έχει αποδεχθεί ότι η συγχώνευση απτικών πληροφοριών και κίνησης έχει κύρια επίδραση στην αίσθηση ενσάρκωσης στην εικονική πραγματικότητα για τα παιδιά.(Zhu et al., 2016)[89]

## 5.2 Άτομα με προβλήματα όρασης

Για τα τυφλά άτομα, οι απτικές πληροφορίες είναι υφίστης σημασίας για την επικοινωνία. Για παράδειγμα, αναπτύχθηκαν παραλλαγές των τεστ νοημοσύνης για παιδιά με προβλήματα όρασης, βασισμένες σε πρώιμες απτικές διεπαφές, οι οποίες λίγο αργότερα προτάθηκαν ως ένας τρόπος εμπειρίας σεναρίων εικονικής πραγματικότητας από τυφλά άτομα.

Συγκεκριμένα η ανάγνωση των οθονών Braille είναι μια απαιτούμενη δεξιότητα για τους τυφλούς. Οι διαφορετικές απτικές ευαισθησίες και η απτική ανατροφοδότηση μπορούν να προσαρμοστούν από προσαρμοστικές οθόνες Braille με ρυθμιζόμενο μέγεθος κελιών (Εικόνα 30). Οι διατάξεις των ηλεκτρονόμων εντός της συσκευής απαιτούσαν την κάμψη του χαλύβδινου σύρματος σε δυο διακριτά σχήματα – ένα τρισδιάστατο «διπλό L» και ένα δισδιάστατο σχήμα «L». Το σχήμα «διπλό L» φαίνεται στην Εικόνα 30a. Αυτός ο τύπος ακίδας απαιτήθηκε για τους ηλεκτρονόμους που ενεργοποιούν τις κουκκίδες θέσεις 1,3,4,6. Για τις υπόλοιπες κουκκίδες 2,5 θέσεων απαιτούνταν οι ακίδες σχήματος « L ». Παρατηρήθηκε ότι η εκτροπή του άκρου της ακίδας δεν ήταν εντελώς κατακόρυφη. Υπήρχε επίσης μια οριζόντια συνιστώσα της κίνησης καθώς το πτερύγιο περιστροφών γύρω από έναν άξονα. Έτσι, το μήκος του πείρου διατηρήθηκε όσο το δυνατόν μικρότερο για να μειωθεί η οριζόντια συνιστώσα. Όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιούνταν, ο οπλισμός/το πτερύγιο προσκολλούνται στον πυρήνα. Όταν όμως απενεργοποιήθηκε, το ελατήριο επανέφερε τον οπλισμό

στην αρχική του θέση. Ένα μικρό κομμάτι από το εξωτερικό περίβλημα του ρελέ αφαιρέθηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 30b, ακριβώς έτσι ώστε να αποκαλυφθεί η άκρη του πτερυγίου. Έτσι, οι μορφές των ρελέ παρέμειναν αμετάβλητες και ταίριαζαν καλά στο συγκρότημα. Στη συνέχεια, ο πείρος συγκολλήθηκε στο πτερύγιο, το οποίο ήταν έτοιμο να χρησιμοποιηθεί ως ενεργοποιητής για τις κουκκίδες 1,3,4,6 παρουσιάζεται στην Εικόνα 30c (Saikot & Sanim, 2022) [



Εικόνα 30(a) Ακίδα σε σχήμα διπλού L για τις 1,3,4,6 τελείες. (b) ρελέ-διακόπτης με εκτεθειμένο κινητό σημείο επαφής. (c) Ενεργοποιητής για τις κουκκίδες 1,3,4,6. Ο πείρος είναι προσαρτημένος στον ηλεκτρονόμο.(Saikot & Sanim, 2022)

Οι μη λεκτικές πληροφορίες επικοινωνίας, όπως οι συναισθηματικές εκφράσεις του προσώπου μπορούν να μεταφραστούν σε δονητικές πληροφορίες με τεχνητή όραση και να μεταφερθούν στο άτομο με προβλήματα όρασης. Στη μελέτη των Buimer et al (2019), το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων αποτελείται από μια κάμερα τοποθετημένη σε γυαλιά, μια ταμπλέτα που εκτελεί λογισμικό αναγνώρισης συναισθημάτων προσώπου και μια ζώνη μέσης με δονητικούς διεγέρτες για την παροχή απτικής ανατροφοδότησης που αναπαριστά τα έξι καθολικά συναισθήματα του Ekman (Εικόνα 31). Συνολικά 8 άτομα με προβλήματα όρασης (4 γυναίκες και 4 άνδρες – μέσης ηλικία 46,75 έτη εύρος ηλικιών 28-66 έτη) συμμετείχαν σε δυο εκπαιδευτικές συνεδρίες και στη συνέχεια σε μια πειραματική συνεδρία. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι συμμετέχοντες συμμετείχαν σε δυο συνομιλίες διάρκειας 15 λεπτών, στη μια από τις οποίες φορούσαν το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων. Για την ολοκλήρωση της μελέτης, πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις εξόδου για την αξιολόγηση των εμπειριών των συμμετεχόντων. Λόγω τεχνικών προβλημάτων με την εγγραφή του λογισμικού αναγνώρισης συναισθημάτων, μόνο 6 συμμετέχοντες συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση βίντεο. (Buimer et al., 20219)

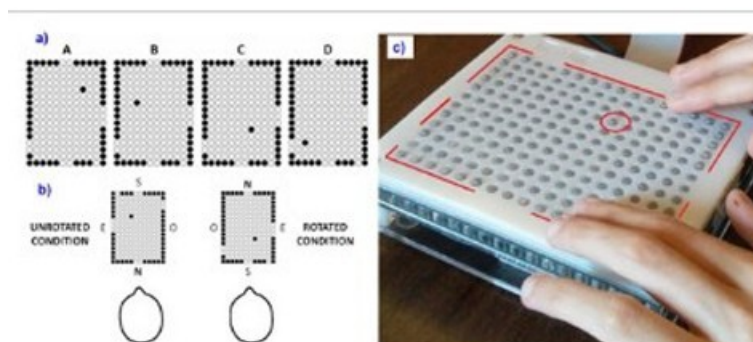
Διαπιστώθηκε ότι οι συμμετέχοντες ήταν γρήγορα σε θέση να μάθουν, να διακρίνουν και να θυμούνται τα δονητικά σήματα που σχετίζονται με τα έξι συναισθήματα. Συνολικά 4 συμμετέχοντες θεώρησαν ότι ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσουν τα δονητικά σήματα στη συζήτηση. Επιπλέον, οι 5 από τους 6 συμμετέχοντες δεν είχαν καμία δυσκολία να διατηρήσουν την κάμερα εστιασμένη στον

συνομιλητή τους. Η αναγνώριση συναισθημάτων ήταν πολύ ακριβής στην ανίχνευση της ευτυχίας, αλλά δεν είχε ικανοποιητικές επιδόσεις στην αναγνώριση των άλλων πέντε καθολικών συναισθημάτων ( Buimer et al., 2019)



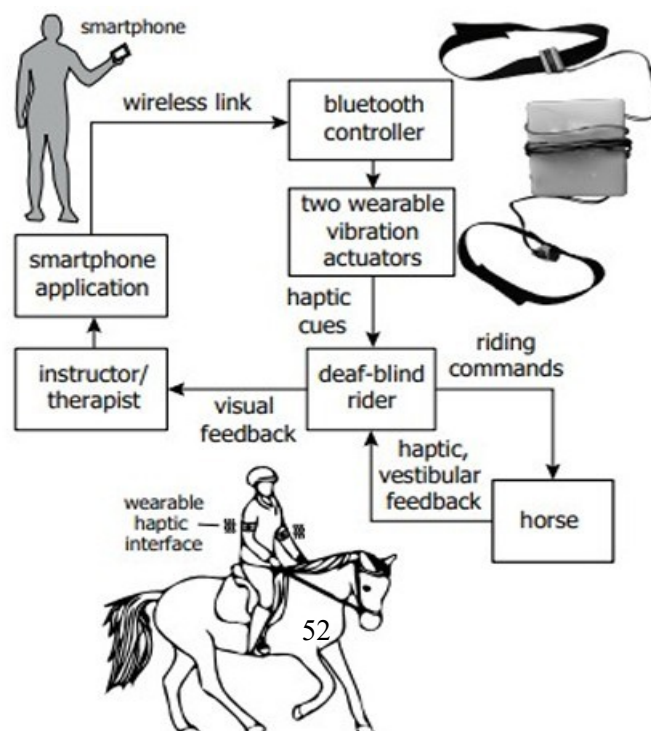
Εικόνα 31 Σχηματική επισκόπηση του χρησιμοποιούμενου συστήματος

Όσον αφορά τον χωρικό προσανατολισμό οι πίνακες pin-array επιτρέπουν τη συμπαγή αναπαράσταση χαρτιών που μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ενισχύσουν τον αυτοενοτισμό. Το πείραμα διεξήχθη με τη χρήση PAM με την ονομασία BlindPAD (Εικόνα 32a). Πρόκειται για μια ανανεώσιμη οθόνη αφής πολλαπλών γραμμών που αποτελείται από 192 κινούμενες ακίδες (taxels, δηλαδή το απτικό ισοδύναμο των εικονοστοιχείων) σε βήμα 8 mm. Κάθε taxel μπορεί να προγραμματιστεί ξεχωριστά ώστε να βρίσκεται στην κατάσταση «πάνω» ή «κάτω» σε λιγότερο από 20 ms και ολόκληρη η μήτρα ανανεώνεται σε λιγότερο από 2χάρη στη συστοιχία ηλεκτρομαγνητικών ενεργοποιητών 12x16 και στην ηλεκτρονική πλακέτα ελέγχου. Για τους σκοπούς της μελέτης το PAM συνδέθηκε ασύρματα με έναν τυπικό φορητό υπολογιστή και ελέγχθηκε από το PadDraw, ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από την Geomobile GmbH Γερμανία (Brayda et al., 2018)[10]



Εικόνα 32 **a)** Οι τέσσερις χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη με τον Βορρά στην κορυφή. Σημειώστε καθώς οι χάρτες διαφέρουν μόνο ως προς την εικονική θέση του στόχου που υποδεικνύεται από το μοναδικό υπερυψωμένο ταξιθέτη μέσα στο δωμάτιο- **(b)** κάθε χάρτης μπορούσε να εμφανιστεί είτε σε μη περιστρεφόμενη κατάσταση (αριστερά) είτε σε περιστρεφόμενη κατάσταση (δεξιά), ανάλογα με τη θέση Βορρά, με εξισορροπημένη σειρά – **(c)** ο χάρτης Β εμφανίζεται χωρίς περιστροφή στο BlindPAD, τον πίνακα συστοιχίας ακίδων που χρησιμοποιήσαμε στη μελέτη. Οι κόκκινες γραμμές επισημαίνουν τους τοίχους και τη θέση του στόχου.(Brayda et al., 2018)

Ακόμη και για τα κωφάλαλα άτομα, προτείνονται νέες απτικές λύσεις για την ενίσχυση των διαύλων επικοινωνίας τους. Ένα γάντι εφοδιασμένο με δονητικές μονάδες επαφής μπορεί να ενεργοποιηθεί από συστήματα αυτόνομης αναγνώρισης ομιλίας, επιτρέποντας τη μετάφραση της ομιλίας σε απτικά σήματα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Για κωφά-τυφλά παιδιά, ένας απτικός βοηθός επιτρέπει μια πιο ανεξάρτητη θεραπεία ιππασίας. Η συνολική ροή ελέγχου του συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 33. Επιλέχθηκαν δυο μοτέρ δόνησης (μοντέλο 307-100, Precision Microdrives Ηνωμένο Βασίλειο) για την εμφάνιση απτικών ενδείξεων σε έναν κωφάλαλο αναβάτη. Οι ενεργοποιητές είναι εγκιβωτισμένοι σε μια στιβαρή τρισδιάστατη εκτυπωμένη πλαστική θήκη και προσαρτημένοι σε φορητούς υφασμάτινους μάντες για ευκολία προσάρτησης. Σύμφωνα με το δελτίο δεδομένων του κατασκευαστή, οι χρόνοι ανόδου και παύσης για τους επιλεγμένους κινητήρες είναι 34 και 73 ms αντιστοίχια, οι οποίοι είναι επαρκείς για την ιππασία κατά την οποία η εκτέλεση των εντολών διαρκεί συνήθως περισσότερο από ένα δευτερόλεπτο. Οι κινητήρες τροφοδοτούνται από μια ειδικά σχεδιασμένη μονάδα ελέγχου, η οποία είναι αρκετά μικρή ώστε να μεταφέρεται στην τσέπη του αναβάτη. Η μονάδα ελέγχου περιέχει έναν μικροελεγκτή (Arduini Pro Mini) και ηλεκτρονικά στοιχεία ασύρματης επικοινωνίας και συνδέεται με μια φορητή συσκευή υποδοχής μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Bluetooth χρησιμοποιώντας τη μονάδα bluetooth RN41 (Roving Networks Inc). Η μονάδα και η ενσωματωμένη κεραία έχουν σχεδιαστεί για εμβέλεια έως 100 μέτρα. Η συσκευή τροφοδοτείται από μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία LiPO 3,7 V. Τα τρανζίστορ MOSFET που λειτουργούν ως διακόπτες ενισχύουν τα σήματα PWM που παράγει ο μικροελεγκτής. Η ανταλλαγή δεδομένων με τη συσκευή υποδοχής υλοποιήθηκε με το τυπικό πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας με ρυθμό 38400 baud. Το υλικό διασύνδεσης (χωρίς την κινητή συσκευή Android) κοστίζει λιγότερο από 50 λίρες Αγγλίας. Για τον έλεγχο της διεπαφής αναπτύχθηκε μια εφαρμογή Android OS. Η γραφική διεπαφή χρήστη της εφαρμογής αποτελείται από κουμπιά που ενεργοποιούν τις βασικές εντολές που περιγράφονται παραπάνω. Οι δονήσεις με το δεξί ή το αριστερό μοτέρ υποδηλώνουν στροφή προς την αντίστοιχη κατεύθυνση. Το «go» αντιπροσωπεύεται από έναν σύντομο παλμό δόνησης και με τους δυο κινητήρες και το «stop» από μια μακρά ταυτόχρονη διέγερση και των δυο κινητήρων. Η εφαρμογή επιτρέπει επίσης τη ρύθμιση της έντασης της δόνησης σε ένα επίπεδο που είναι άνετο για τον αναβάτη. Όλα τα συμβάντα εισόδου του χρήστη καταγράφηκαν από την εφαρμογή για περαιτέρω ανάλυση με ανάλυση ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου. ( Ogrinc et al., 2018)

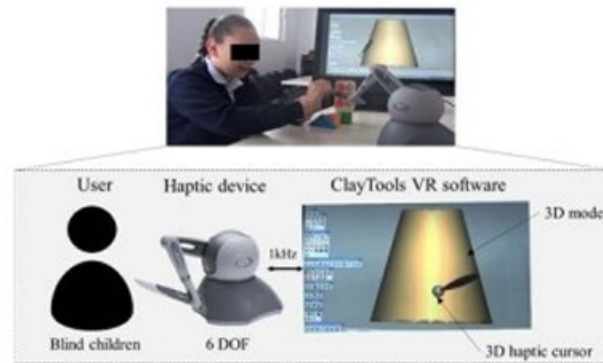


Εικόνα 33 Κύρια στοιχεία και λειτουργίες της διεπαφής. Ένας εκπαιδευτής στέλνει τις εντολές ιππασίας μέσω εφαρμογής έξυπνου τηλεφώνου και παρακολουθεί την ιππασία – οι εντολές εμφανίζονται σε έναν κωφάλαλο αναβάτη με απτικές ενδείξεις – ο αναβάτης αισθάνεται τις κινήσεις του αλόγου μέσω απτικών και αιθουσαίων αισθητηριακών ενδείξεων (Ogrine et al., 2018)

Η αλληλεπίδραση αφής-όρασης μπορεί να λειτουργήσει και με τους δυο τρόπους για παράδειγμα, για παιδιά με προβλήματα όρασης, η απτική τους εκπαίδευση μπορεί να ενισχυθεί από τις περιορισμένες δυνατότητες όρασης. Από την άλλη πλευρά, έχει διαπιστωθεί ότι τα παιδιά με οπτική αναπηρία έχουν έλλειμμα στην κινητική αναπαράσταση ενεργειών και αντικειμένων, το οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί με απτικούς βοηθούς. Πρόσφατα αναπτύχθηκε και εισήχθη πειραματικά στην τάξη ένα ρεπερτόριο εφαρμογών βασισμένων σε απτικά συστήματα για μαθητές μέσης εκπαίδευσης με οπτική αναπηρία, με σκοπό την υποβοήθηση της μελέτης επιστημόνων και μαθηματικών θεμάτων. Για τυφλά παιδιά, πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει την αξία της απτικής εικονικής πραγματικότητας για τη διδασκαλία σύνθετων αφηρημένων εννοιών, όπως η γεωμετρία τρισδιάστατων σχημάτων. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια πειραματική διαδικασία για τη διδασκαλία βασικών τρισδιάστατων σχημάτων με τη χρήση του εικονικού απτικού συστήματος που παρουσιάζεται στην Εικόνα 34. Προκειμένου να διερευνηθεί η χρήση της εικονικής πραγματικότητας και απτικής ως μαθησιακή προσέγγιση για τυφλά παιδιά, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ClayTools μαζί με μια απτική συσκευή Phantom Omni της Geomagic® (πρώην Senasable). Το λογισμικό ClayTools είναι ένας εικονικός μοντελοποιητής πηλού

που επιτρέπει στους χρήστες να αισθάνονται και να αγγίζουν τρισδιάστατα μοντέλα μέσω μιας απτικής συσκευής επιτρέποντας την εικονική απτική αντίληψη. Από την άλλη πλευρά η συσκευή Phantom Omni διαθέτει μια γραφίδα από καλούπι και καουτσούκ, την οποία ο χρήστης πρέπει να πιάσει και να μετακινήσει κατά τη διάρκεια της εικονικής αλληλεπίδρασης προκειμένου να εξερευνήσει, να αγγίξει ή να χειριστεί τα εικονικά αντικείμενα. Η απτική συσκευή λειτουργεί ως τρισδιάστατος δείκτης με έξι βαθμούς ελευθερίας ( 6 DOF), ώστε ο χρήστης να κινείται ελεύθερα στο εικονικό περιβάλλον. Η ανατροφοδότηση δύναμης παρέχεται στο χρήστη σε συχνότητα 1 kHz, η οποία βρίσκεται στο εύρος της φυσικής ανθρώπινης αντίληψης της αφής. Η εξαρτημένη μεταβλητή (αποτέλεσμα- συνέπεια) ορίστηκε ως το επίπεδο μάθησης και κατανόησης των βασικών τρισδιάστατων σχημάτων, ενώ το εργαλείο εικονικής πραγματικότητας με δυνατότητα αφής ορίστηκε ως η ανεξάρτητη μεταβλητή (αιτία-αντιμετώπιση). Η συνολική πειραματική μεθοδολογία περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία κύρια στάδια: (1) Εφαρμογή ενός προ-τεστ για τη μέτρηση της συμπεριφοράς της εξαρτημένης πριν από την απτική – εικονική μάθηση (2) εκτέλεση της απτικής-εικονικής μάθησης και (3) εφαρμογή ενός μετά-τεστ για τη μέτρηση της συμπεριφοράς της εξαρτημένης μεταβλητής μετά την απτική-εικονική μάθηση. Η πλήρης, πειραματική διαδικασία εξηγήθηκε στους συμμετέχοντες και εγκρίθηκε από το τυφλό εκπαιδευτικό ίδρυμα. Δυο εκπαιδευμένοι ερευνητές ενήργησαν ως δάσκαλοι και βοηθεί στην τάξη κατά τη διάρκεια της μελέτης,

διεξάγοντας τις συνεντεύξεις και ελέγχοντας τις αξιολογήσεις των παιδιών. Για τη συλλογή των ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών αναπτύχθηκαν τρία εργαλεία συλλογής δεδομένων: 1) βιντεοσκόπηση όλων των δοκιμασιών και των συνεντεύξεων, 2) pretest και posttest για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας της απτικής-εικονικής μάθησης και 3) ανοικτές συνεντεύξεις μετά την εργασία εξερεύνησης για να περιγράψουν οι συμμετέχοντες προφορικά την εμπειρία τους. (Espinosa- Castaneda, 2021)

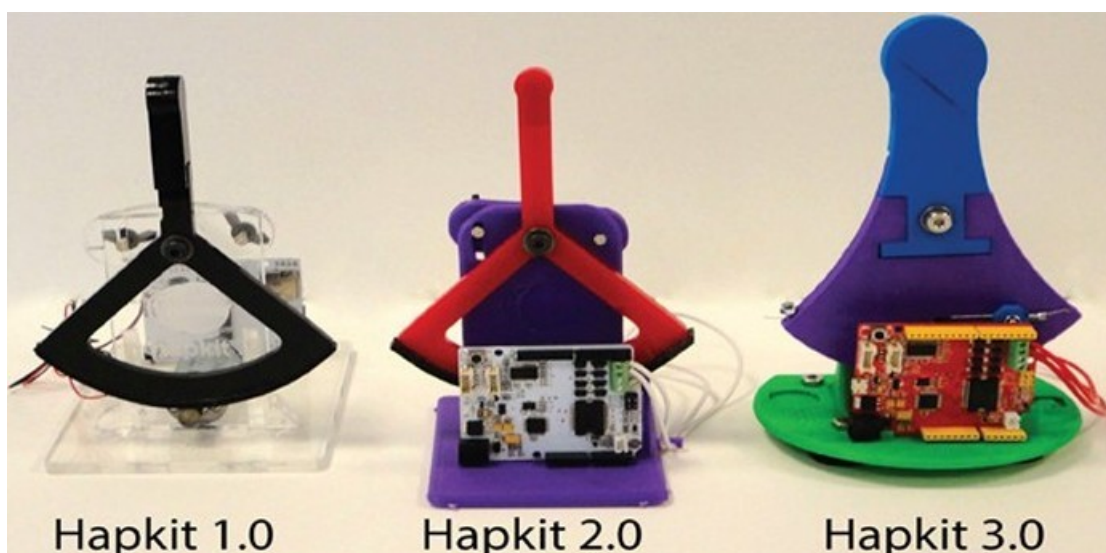


Εικόνα 34 Αρχιτεκτονική συστήματος (Espinosa-Castaneda, 2021)

### 5.3 Βοηθήματα γραφής

Μια κρίσιμη κινητική δεξιότητα που δεν μπορεί να υποτιμηθεί είναι η γραφή. Η απτική ανατροφοδότηση έχει αποδειχθεί χρήσιμη για την απόκτηση και τη βελτίωση των δεξιοτήτων γραφής με το χέρι για τα παιδιά των πρώτων τάξεων. Οι ανησυχίες για την ανάπτυξη αυτού του είδους των δεξιοτήτων έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, λόγω της πανταχού παρούσας παρουσίας οθονών, η οποία έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της νοητικής απεικόνισης. Πιο συγκεκριμένα, το συμπέρασμα έρευνας ήταν ότι πρώτον, τα παιδιά που περνούσαν μεγαλύτερο χρόνο χρησιμοποιώντας μέσα οθόνης παρουσίασαν στατιστικά χαμηλότερες επιδόσεις στην ακρίβεια της νοητικής απεικόνισης, σύμφωνα με την υπόθεση της μείωσης. Έτσι, η υπόθεση ότι η προβολή των μέσων οθόνης, λόγω του ότι παρέχουν έτοιμες νοητικές εικόνες που καταστέλλουν την ενεργητική παραγωγή εικόνων, λαμβάνει αρχική υποστήριξη. Δεύτερον, δεν βρήκαμε σχεδόν καμία διαφορά στην αρνητική διασταυρούμενη υστέρηση μεταξύ του χρόνου οθόνης και της νοητικής εικόνας για τα μέσα που ταξινομούνται ως ενεργητικά έναντι των παθητικών. Από τη μια πλευρά, αυτό το εύρημα προκαλεί έκπληξη, διότι αναμενόταν ότι τα πιο ενεργά μέσα θα εμπλέκουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις ικανότητες νοητικής απεικόνισης. Ωστόσο, η υπόθεση των ερευνητών δεν επαληθεύτηκε από εμπειρικά στοιχεία, έτσι ώστε να είναι εύλογο ότι ακόμη και πολλοί να εξακολουθούν να μην περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό την ενεργητική παραγωγή εικόνων, ίσως ειδικά σε σύγκριση με άλλες τυπικές εμπειρίες της παιδικής ηλικίας (π.χ αναγνώριση, παιχνίδι με φαντασία). Τρίτον σε αντίθεση με την υπόθεση της διέγερσης, ο χρόνος παραμονής στην οθόνη δεν σχετιζόταν με τους χρόνους καθυστέρησης απόκρισης των παιδιών στο έργο της νοητικής απεικόνισης όπως είχε υποτεθεί με βάση προηγούμενες εργασίες (Suggate & Martzok, 2020)[72]

Δυστυχώς ο σημερινός σχεδιασμός των εκπαιδευτικών εφαρμογών για ταμπλέτες και κινητά τηλέφωνα δεν ενθαρρύνει τις δεξιότητες γραφής και την αντίστοιχη οπτικοκινητική τους ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά, τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί απτικές συσκευές ανοικτού κώδικα για εκπαιδευτικούς σκοπούς που μπορούν να αντιστρέψουν αυτές τις τάσεις. Οι Orta-Martinez et al (2020), παρουσίασαν τον σχεδιασμό, την εξέλιξη και την ανάλυση του «Hapkit», μιας κινητικής απτικής συσκευής χαμηλού κόστους ανοικτού κώδικα για τη χρήση σε εκπαιδευτικές εφαρμογές. Το Hapkit αναπτύχθηκε το 2013 με βάση το σχεδιασμό του Stanford Haptic Paddle, με στόχο τη μείωση του κόστους και την αύξηση της προσβασιμότητας για εκπαιδευτικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της προσβασιμότητας διδασκαλίας, της χρήσης σε σχολεία K-12 και σε μαθήματα δυναμικών συστημάτων και ελέγχου σε πανεπιστήμια. Προκειμένου να αναπτύξουν το Hapkit για αυτούς τους σκοπούς, δοκίμασαν μια ποικιλία υλικών μετάδοσης, ενεργοποίησης και δομικών υλικών. Το Hapkit 3.0, η πιο πρόσφατη έκδοση, χρησιμοποιεί μια κίνηση capstan, έναν φθινό κινητήρα συνεχούς ρεύματος και τρισδιάστατα εκτυπωμένα δομικά υλικά. Χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος αναγνώρισης συστήματος στο πεδίο συχνότητας για να χαρακτηριστεί η δυναμική του Hapkit σε όλα τα διάφορα σχέδια. Η μέθοδος αυτή επικυρώθηκε με τη χρήση μιας μέτρησης παραμέτρων πρώτων αρχών και μιας ανάλυσης μεταβατικής απόκριση. Αυτός ο χαρακτηρισμός δείχνει ότι το Hapkit 3.0 έχει χαμηλότερη απόσβεση και τριβή Coulomb από τα προηγούμενα σχέδια. Πραγματοποιήθηκε επίσης μια μελέτη χρήστη που αποδεικνύει ότι το Hapkit 3.0 βελτιώνει τη διάκριση της εικονικής δυσκαμψίας σε σύγκριση με τα προηγούμενα σχέδια. Η σχεδιαστική εξέλιξη του Hapkit οδήγησε σε μια συσκευή χαμηλού κόστους υψηλής απόδοσης κατάλληλη για διάδοση ανοικτού κώδικα και εκπαιδευτικές εφαρμογές. (Orta- Martine et al 2020)[55]



Εικόνα 35 «Hapkit», μια κινητική απτική συσκευή χαμηλού κόστους ανοικτού κώδικα, για χρήση σε εκπαιδευτικές εφαρμογές. (Orta- Martine et al 2020)

## 5.4 Άτομα με κινητική αναπηρία

Τα κινητικά ελλείμματα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις ακαδημαϊκές επιδόσεις σε διάφορα επίπεδα. Για παράδειγμα, τα παιδιά με αναπτυξιακές διαταραχές συντονισμού έχουν περισσότερες δυσκολίες σε απλές εργασίες, όπως να εκτιμήσουν το μέγεθος ράβδων με καθαρή απτική αίσθηση. Καθώς η απτική αντίληψη μεταβάλλεται σε περιπτώσεις παιδιών με αναπτυξιακή διαταραχή συντονισμού και παιδιών με αναπτυξιακή διαταραχή συντονισμού και παιδιών με αναπτυξιακή γλωσσική διαταραχή, οι πιθανές βελτιώσεις που μπορούν να επιτευχθούν με την απτική εκπαίδευση με τη βοήθεια ρομπότ έχουν μεγάλη αξία. Παρεμπιπτόντως η επιτραπέζια αντισφαίριση έχει βρεθεί ότι είναι πολύ χρήσιμη για τέτοια παιδιά. Η μελέτη των Tseng et al (2022), εξέτασε κατά πόσον η επιτραπέζια αντισφαίριση ως μέθοδος αισθητικινητικής εκπαίδευσης βελτιώνει την απτική και κινητική λειτουργία και σε ποιο βαθμό η αύξηση της απτικής λειτουργίας συσχετίζεται με τις αλλαγές στην κινητική ικανότητα σε παιδιά με πιθανή αναπτυξιακή διαταραχή συντονισμού (pDCD). Τα παιδιά με pDCD κατανεμήθηκαν τυχαία στην ομάδα επιτραπέζιας αντισφαίρισης και στην ομάδα ελέγχου χωρίς προπόνηση. Τα παιδιά στην ομάδα της επιτραπέζιας αντισφαίρισης έλαβαν 36 συνεδρίες προπόνησης επιτραπέζιας αντισφαίρισης, συμπεριλαμβανομένων της ισορροπίας της μπάλας, του χτυπήματος της μπάλας στον τοίχο, των χτυπημάτων και του σέρβις. Μετρήθηκαν η απτική ευαισθησία, η οξύτητα και οι τομείς της κινητικής λειτουργίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση της απτικής ευαισθησίας κατά 41,5% στα παιδιά που εκτέθηκαν σε προπόνηση επιτραπέζιας αντισφαίρισης σε σύγκριση με 2,8% σε εκείνα που δεν έλαβαν προπόνηση. Αυτή η βελτιωμένη απτική ευαισθησία συσχετίστηκε σημαντικά με την αύξηση της κινητικής λειτουργίας, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα σωματοαισθητικά οφέλη συμβαίνουν ταυτόχρονα με τις αλλαγές στην κινητική λειτουργία στα παιδιά με pDCD. Αυτή η νέα προσέγγιση κινητικής εκπαίδευσης των άνω άκρων μπορεί να αποτελέσει μια ενδιαφέρουσα μέθοδο αισθητικινητικής εκπαίδευσης στη νευρολογική αποκατάσταση σε παιδιά με pDCD. (Tseng et al., 2022)[75]

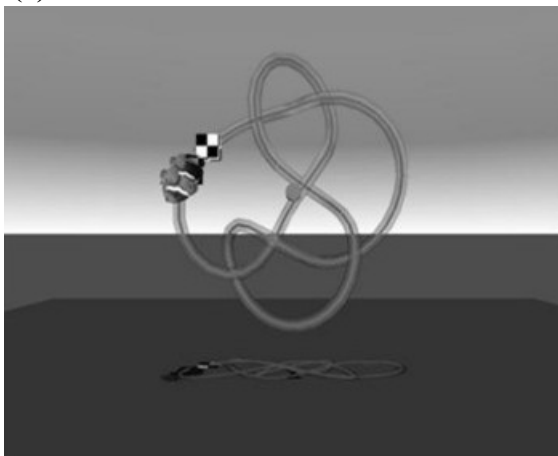
Η υποβοηθούμενη από υπολογιστή εκπαίδευση για την εκτέλεση των επαναλαμβανόμενων εργασιών που απαιτούνται για την εκμάθηση της γραφής έχει εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε τα ρομποτικά συστήματα να προτείνονται για τη βελτίωση των δεξιοτήτων ρουτίνας σε παιδιά με κινητικές δυσκολίες και για την ειδική αγωγή γενικότερα, λόγω του ότι επιτρέπουν την προσαρμογή της εκπαιδευτικής διαδικασίας στην ιδιοσυγκρασία του παιδιού. Η μελέτη των Shire et al. (2016), είχε ως στόχο να διερευνήσει τη δυνατότητα γενίκευσης των ωφελειών της κατάρτισης σε ένα ήδη καθιερωμένο μέτρο χειροκίνητων «δεξιοτήτων σχεδίασης», δηλαδή το Clinacal Kinematic Assessment Tool [CKAT]. Το CKAT χρησιμοποιεί το ίδιο υποκείμενο λογισμικό και εξοπλισμό με την εργασία σχεδίασης που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες μελέτες και παρέχει λεπτομερή κινηματική ανατροφοδότηση σχετικά με την απόδοση, συγκρίσιμη με τα εργαστηριακά συστήματα καταγραφής κίνησης. Η μπαταρία έχει σχεδιαστεί για να αξιοποιεί πολλές από τις δεξιότητες που απαιτούνται σε άλλες «πραγματικές» χειρωνακτικές εργασίες όπως η γραφή με το χέρι (π.χ άσκηση ακριβών δυνάμεων σε μια γραφίδα και χρήση του ελέγχου με ανατροφοδότηση και ανατροφοδότηση). Το CKAT έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε διάφορες με παιδιά για την αξιολόγηση των κινητικών δεξιοτήτων και έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ των επιπέδων κινητικού συντονισμού των παιδιών με βάση τη λειτουργική τους ικανότητα, την ηλικία και το φύλο. Ως εκ τούτου, αποτελεί ιδανική αξιολόγηση για να εξεταστεί κατά πόσον τα οφέλη της εκπαίδευσης είναι σε θέση να γενικευτούν στις χειρωνακτικές δεξιότητες που υποστηρίζουν άμεσα τη γραφή με το χέρι (Shire et al., 2016)[

Η παρούσα μελέτη χρησιμοποίησε έναν αντισταθμισμένο διασταυρούμενο σχεδιασμό που διερεύνησε τις επιδράσεις της απτικής εκπαίδευσης σε παιδιά που αναγνωρίστηκαν ως έχοντα δυσκολίες στο χειροκίνητο συντονισμό. Κατά συνέπεια, για πρώτη φορά κατέστη δυνατό να διερευνηθεί άμεσα κατά πόσον: (i) τα οφέλη μετά την προπόνηση στα νέα καθήκοντα του ρομποτικού βραχίονα αποδίδονταν άμεσα στην προπόνηση και όχι ως συνάρτηση της φυσικής βελτίωσης λόγω των αποτελεσμάτων της εξάσκησης ή της αρχικής ικανότητας (ii) υπήρχαν ενδείξεις γενίκευσης των οφελών στη συστοιχία CKAT του χειροκίνητου ελέγχου (iii) τα οποία οφέλη παρατηρήθηκαν στις επιδόσεις διατηρήθηκαν ακόμη και μετά την απόσυρση της προπόνησης. (Shire et al 2016)

Το ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα αποτελούνταν από μια γραφίδα συνδεδεμένη με μια απτική συσκευή: το PHANTOM Omni (Senesable Technologies, Inc). Το PHANTOM είναι μια συσκευή ελέγχου της εμπέδησης η οποία εξάγει μια δύναμη ως αντίδραση στη μετακίνηση της συσκευής εισόδου (γραφίδα) από τον χρήστη για να αλληλεπιδράσει με ένα εικονικό τρισδιάστατο περιβάλλον που εμφανίζεται σε μια οθόνη υπολογιστή (ως εικόνα 2,5D – δηλαδή με εικαστικές ενδείξεις που παρέχουν την εντύπωση του βάθους). Η δύναμη που χρησιμοποιήθηκε για την παρέμβαση αυτή μοντελοποιήθηκε ως εικονικό ελατήριο το οποίο τραβούσε τη γραφίδα πίσω στο πλησιέστερο σημείο της σωστής χωρικής διαδρομής όταν οι συμμετέχοντες παρουσίαζαν χωρική απόκλιση από αυτήν. Η ακαμψία του ελατηρίου μπορούσε να μεταβληθεί προκειμένου να ρυθμιστεί η δυσκολία της εργασίας, με τη δύναμη να ρυθμίζεται σε έξι διαφορετικά επίπεδα δυσκολίες που αντιστοιχούν σε δυνάμεις 2,02N, 1,08N, 0,83N, 0,57N, 0,33N και 0,13N. Το μήκος του εικονικού ελατηρίου ορίστηκε σε 0,5 cm από το κέντρο της διαδρομής κίνησης. Εάν η γραφίδα βρισκόταν εντός αυτής της οριακής απόστασης, δεν εφαρμόζονταν δυνάμεις. Αυτό δεν περιελάμβανε ενεργά εφαρμοζόμενες δυνάμεις (καθώς επρόκειτο για μια ελεγχόμενη με σύνθετη αντίσταση και όχι με επιρροή) και, επομένως δεν υπήρχαν ανησυχίες για την ασφάλεια των παιδιών. (Shire et al., 2016)

Οι δοκιμές που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της απτικής εκπαίδευσης ήταν οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες και περιλάμβαναν τη χρήση της γραφίδας για να ωθήσουν ένα εικονίδιο ψαριού γύρω από μια τρισδιάστατη διαδρομή κίνησης που είχε σχήμα τρισδιάστατου κόμπου (Εικόνα 36a). Οι συμμετέχοντες ξεκινούσαν από μια σταθερή θέση εκκίνησης και μετακινούσαν το εικονίδιο τους σε μια θέση τερματισμού, ενώ αγωνίζονταν ενάντια σε ελεγχόμενα από υπολογιστή «ανταγωνιστικά» ψάρια που παρουσιάζονταν σε μια οθόνη φορητού υπολογιστή διαμέτρου 15 ιντσών (Εικόνα 36b). Οι ίδιες οι διαδρομές διέφεραν ως προς το μήκος, την καμπυλότητα και τη στρέψη. Στην αρχή μιας εκπαιδευτικής συνεδρίας δόθηκαν σε όλα τα παιδιά δυο δοκιμαστικές διαδρομές αποτελούμενες από έναν κύκλο και έναν βρόχο, προκειμένου να εξοικειωθούν με τις απαιτήσεις του έργου. Μετά από την εξάσκηση όλα τα παιδιά ήταν σε θέση να ολοκληρώσουν τα μονοπάτια στο υψηλότερο (ευκολότερο) επίπεδο βοήθειας (δηλαδή στη μεγαλύτερη δυσκαμψία). (Shire et al., 2016)

(a)



(b)



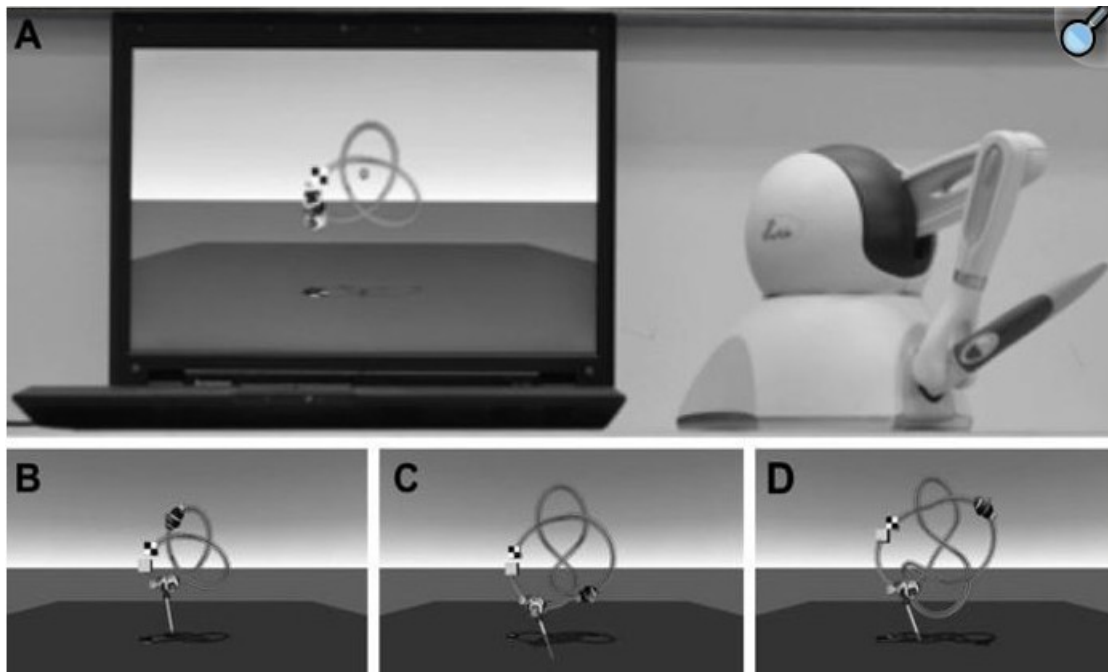
Εικόνα 36. Το παιδί διαγράφει μια τρισδιάστατη διαδρομή που αναπαριστάται στην οθόνη του φορητού υπολογιστή (α), χρησιμοποιώντας το στυλό που είναι προσαρτημένο στη ρομποτική συσκευή (β). (Shire et al., 2016)

Το πείραμα αυτό έδειξε, χρησιμοποιώντας έναν ισχυρό μεθοδολογικό σχεδιασμό, ότι το σύστημα ρομποτικού βραχίονα είναι αποτελεσματικό στην εκπαίδευση χειρωνακτικών δεξιοτήτων σε ένα ευρύ ηλικιακό φάσμα παιδιών με κινητικές δυσκολίες. Ωστόσο, δεν διαπιστώθηκε γενίκευση του οφέλους σε μια συστοιχία αξιολόγησης του χειροκίνητου συντονισμού των δεξιοτήτων γραφής, γεγονός που υποδεικνύει ότι μπορεί να είναι απαραίτητο τα ρομποτικά συστήματα να στοχεύουν σε συγκεκριμένες ενέργειες για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών προκειμένου να βελτιώσουν συγκεκριμένες χειροκίνητες δεξιότητες (όπως η γραφή με το χέρι) (Shire et al., 2016).

Μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα είδη απτικής βοήθειας (πλήρης απτική καθοδήγηση, μερική απτική καθοδήγηση, απτική καθοδήγηση διαταραχής) και έχει διαπιστωθεί ότι είναι ειδικά χρήσιμα για διαφορετικές εργασίες. Επίσης, η εκπαίδευσή τους σε συμμόρφωση με εργασίες τρισδιάστατης απτικής ιχνηλάτησης βελτίωσε τις ικανότητες σχεδίασης 2D των παιδιών με κινητικές δυσκολίες. Στη μελέτη τις ικανότητες των Snapp-Childs et al. (2016), εκτός από την εξέταση της εκμάθησης του έργου, εξετάστηκαν παιδιά τυπικής ανάπτυξης ηλικίας 7-8 και 10-12 ετών για να διαπιστωθεί αν η εκπαίδευση στο έργο της τρισδιάστατης ανίχνευσης θα μεταφερόταν θετικά σε ένα έργο σχεδίασης 2D. Πρώτον, διαπιστώθηκε μια άμεση σχέση μεταξύ της κλίμακας των αναπαραγομένων σχημάτων και της ποσότητας του χωρικού σφάλματος κατά την αναπαραγωγή του σχήματος-στόχου (δηλαδή τα αντιγραμμένα σχήματα που ήταν πολύ μεγάλα είχαν μεγάλες ποσότητες χωρικού σφάλματος). Δεύτερον, βρέθηκαν μικρές αλλά σημαντικές μειώσεις στα λάθη σχήματος που παρήγαγαν τα παιδιά μετά την εκπαίδευση – η εκπαίδευση μεταφέρθηκε θετικά στην εργασία σχεδίασης (Snapp-Childs et al. 2016).[69]

Οι συμμετέχοντες εκτελούσαν παραλλαγές του ίδιου τρισδιάστατης ανίχνευσης καθιστοί. Το καθήκον ήταν να σπρώξουν ένα (εικονικό) ψάρι με έντονα χρώματα κατά μήκος μιας καμπύλης διαδρομής από ένα σημείο εκκίνησης σε ένα σημείο τερματισμού (ένα καρό τετράγωνο), ενώ αγωνίζονταν με ένα ανταγωνιστικό ψάρι. Οι συμμετέχοντες έπιασαν μια γραφίδα που ήταν προσαρτημένη σε μια επιτραπέζια συσκευή απτικής εικονικής πραγματικότητας με ανάδραση δύναμης (PHANTOM Omni από την Sensable Technologies) και σε έναν υπολογιστή (Εικόνα 37a) και χρησιμοποίησαν τη γραφίδα για να αισθανθούν τη διαδρομή του σύρματος και να σπρώξουν το ψάρι (Snapp-Childs et al., 2016)[69]

Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν μια σειρά από ενέργειες τρισδιάστατης ιχνηλάτησης που διέφεραν ως προς το μήκος, την καμπυλότητα και τη στρέψη (Εικόνα 37b,c,d), όπου αγωνίστηκαν εναντίον δυο διαφορετικών ανταγωνιστών – ο ένας ανταγωνιστής ολοκλήρωσε τη διαδρομή σε 25 δευτερόλεπτα, ενώ ο άλλος ολοκλήρωσε τη διαδρομή σε 15 δευτερόλεπτα. Η πρώτη εκπαιδευτική συνεδρία ξεκίνησε με το υψηλότερο επίπεδο υποστήριξης («μαγνητική έλξη»), τον πιο αργό ανταγωνιστή δυο φορές στη σειρά για να προχωρήσει στον πιο γρήγορο ανταγωνιστή (Snapp-Childs et al., 2016).[69]



Εικόνα 37. Το PHANTOM Omni με την οθόνη που απεικονίζει τη διαδρομή που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμασίες της αρχικής και της μεταδοκιμασίας. Β), Γ), Δ) Απεικονίσεις των διαδρομών που χρησιμοποιήθηκαν κατά εκπαίδευση στο έργο τρισδιάστατης ιχνογράφησης. (Snapp-Childs et al.,2016)

Διαπιστώθηκε ότι: 1) τα μεγαλύτερα παιδιά είχαν αρχικά καλύτερες επιδόσεις από τα μικρότερα παιδιά μόνο στο έργο της 2D σχεδίασης, όχι στο έργο της 3D αντίληψης. 2) η αρχική επίδοση στο έργο της 3D αντίληψης από αυτά τα παιδιά με κινητικές δυσκολίες ήταν χειρότερη από εκείνη των προηγούμενων δοκιμασμένων μαθητών χωρίς κινητικές δυσκολίες και συγκρίσιμη με εκείνη των προηγούμενων δοκιμασμένων παιδιών που είχαν διαγνωστεί με CDC. 3) η εξάσκηση στο έργο της 3D αντίληψης επέφερε βελτιώσεις στο έργο της 3D αντίληψης, ανεξάρτητα από την ηλικία. 4) η

εξάσκηση στο έργο της 3D ανίχνευσης επέφερε βελτιώσεις σε ένα έργο 2D σχεδίασης και 5) η εξάσκηση στο έργο της 3D ανίχνευσης δεν εξάλειψε τις ηλικιακές διαφορές στο έργο της 2D σχεδίασης. (Snapp-Childs et al.,2016).[69]

Παιδιά με ημιπληγική εγκεφαλική παράλυση έχουν υποκινηθεί να εκτελούν ασκήσεις αποκατάστασης με παιχνίδια εμβυθιστικής πραγματικότητας, συμπεριλαμβανομένης της απτικής ανατροφοδότησης, επιτυγχάνοντας καλύτερη εμπλοκή και μερική αποκατάσταση σε αρκετές από τις μελέτες. Όπως προέκυψε από μελέτες, η διάρκεια των συνεδριών παρέμβασης εικονικής πραγματικότητας κυμαινόταν μεταξύ 30 και 60 λεπτών και οι εν λόγω συνεδρίες παρέμβασης εικονικής πραγματικότητας διεξήχθησαν σε διάστημα που κυμαινόταν μεταξύ τεσσάρων και δώδεκα εβδομάδων. Οι περισσότερες από τις αναθεωρημένες τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές είχαν εξαιρετικά ετερογενείς ομάδες συμμετεχόντων και μικρά μεγέθη δείγματος. Τα συστήματα VR που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες μελέτες περιλαμβάνουν το Nintendo Wii, το Playstation, το Xbox. Το Neofect Smart Glove, το Leap Motion Controller, το Gesture Xtreme και το Super Pop VR. Με τη συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία, τα παιχνίδια που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα παρέχουν ελκυστικά, διασκεδαστικά και οικονομικά αποδοτικά μέσα λειτουργικής κατάρτισης υψηλής έντασης που παρακινούν τα παιδιά με σπαστική ημιπληγία CP να χρησιμοποιούν και τα δύο άνω άκρα. Αυτό το κίνητρο για να παίξουν παιχνίδια VR αυξάνει την εκούσια προσπάθεια για να αποκτήσουν ενισχυμένο έλεγχο της πρόσληψης των μυών και να συντονίσουν με ακρίβεια τις συσπάσεις των μυών του χεριού. Αυτό μπορεί να διευκολύνει τη χρήση του πάσχοντος άνω άκρου και στις δραστηριότητες της καθημερινής ζωής, γεγονός που, με τη σειρά του, μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη λειτουργική ανεξαρτησία και μειωμένη επιβάρυνση της φροντίδας. Παρόλο που τα αρχικά αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα, είναι δικαιολογημένη η περαιτέρω διερεύνηση της δοσιμετρίας και της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης στη λειτουργία σε παιδιά με συγκεκριμένους τύπους CP με τη χρήση τεχνολογικά προηγμένων συστημάτων VR (Goyal et al., 2022)[34]

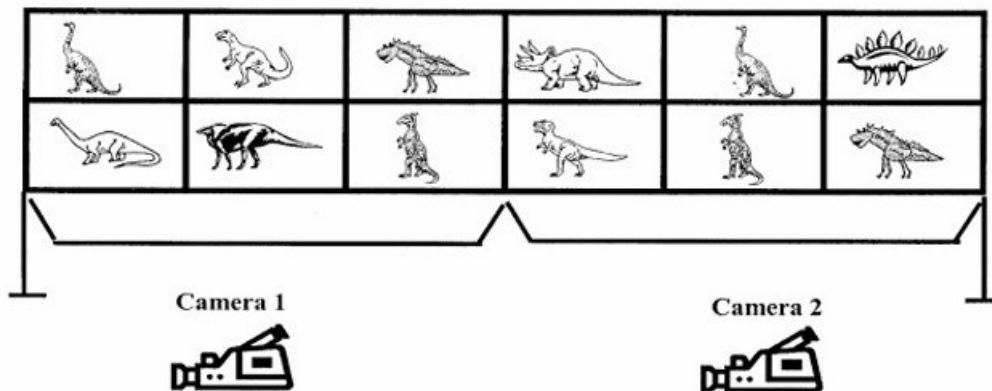
## 5.5 Άτομα με γνωστικές διαταραχές

Το ενδιαφέρον για τα απτικά όργανα για την εκπαιδευτική αποκατάσταση παιδιών με ειδικές ανάγκες εμφανίστηκε στις αρχές της εποχής των υπολογιστών, κατά την οποία υπήρξαν συγκεκριμένες προτάσεις για τη θεραπεία παιδιών με μη τυπική νοητική ανάπτυξη, μετά την πρόωμη αναγνώριση του ρόλου της ενεργητικής και παθητικής αφής στη διαδικασία οικοδόμησης της αντίληψης πραγματικών αντικειμένων [143], ακόμη και για τα νήπια. Η σημασία της αίσθησης της αφής στην υπέρβαση των περιορισμών της εκ των προτέρων γνώσης έχει γίνει εμφανής, όπως φάνηκε σε ένα πείραμα όπου τα παιδιά αναγνώριζαν γνωστά και άγνωστα αντικείμενα με απτικά μέσα. (Alexander et al., 2002)[1]

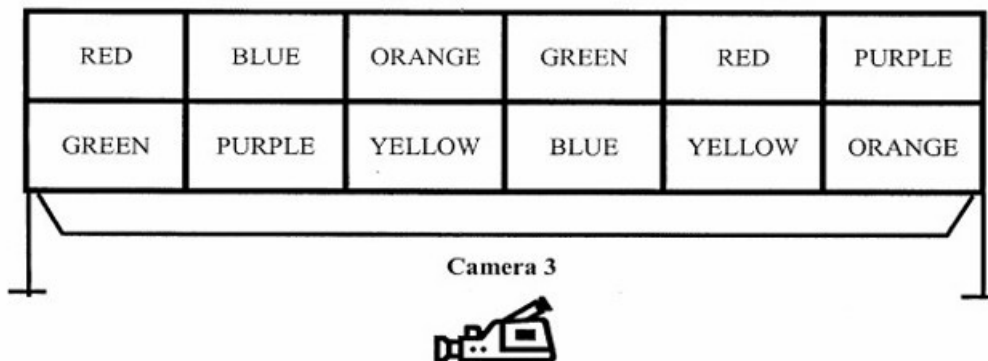
Παιδιά ηλικίας 4-9 ετών με διαφορετικά επίπεδα γνώσεων σχετικά με τους δεινόσαυρους ολοκλήρωσαν ένα έργο διασταυρούμενης σύγκρισης στο οποίο εξερεύνησαν απτικά ζεύγη γνωστών (δεινόσαυρος) και άγνωστων (θαλάσσιο πλάσμα) μοντέλων που διέφεραν ως προς το βαθμό διαφοροποίησής τους. Τα μεγαλύτερα παιδιά εξερεύνησαν τα μοντέλα πιο εξαντλητικά, βρήκαν περισσότερα διαφοροποιητικά χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια έκαναν λιγότερα λάθη από ότι τα

μικρότερα παιδιά. Η υψηλή γνώση επέτρεψε στα παιδιά να αναγνωρίζουν σωστά τα μοντέλα, αλλά συνδέθηκε επίσης με τη χρήση μιας στρατηγικής ελέγχου υποθέσεων, η οποία οδήγησε τα παιδιά να κάνουν μεγαλύτερο αριθμό λαθών "αστοχίας" στο έργο της διασταυρούμενης σύγκρισης. Οι επιδόσεις στον τομέα του ελέγχου κατέδειξαν ότι η στρατηγική ελέγχου υποθέσεων ήταν ειδική για τον τομέα της υψηλής γνώσης. (Alexander et al., 2002) [1]

### Back View



### Front View



Εικόνα 38. Σχηματικό διάγραμμα της συσκευής εργασιών διασταυρούμενης σύγκρισης. (Alexander et al., 2002).

Η χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας, ειδικά με τη χρήση απτικών συσκευών εξετάζεται εδώ και αρκετό καιρό για διάφορες παθήσεις, όπως η διαταραχή του φάσματος του αυτισμού, η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής και υπερκινητικότητας και η εγκεφαλική παράλυση.

Οι Mitchell et al (2007)[53] ανέπτυξαν και δοκίμασαν ένα εικονικό καφέ για παιδιά με αυτισμό για να αντιμετωπίσουν τις δυσκολίες στην κοινωνική αλληλεπίδραση. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να ολοκληρώσουν συγκεκριμένες εργασίες στο εικονικό καφέ, όπως η παραγγελία και η πληρωμή ενός ποτού και η εύρεση θέσης για να καθίσουν. Και πάλι, η πλοήγηση επιτεύχθηκε μέσω ποντικιού. Ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα κοινωνικής κατανόησης VR χορηγήθηκε σε 6 εφήβους, 14-16 ετών, ο καθένας με επίσημη διάγνωση διαταραχής του φάσματος του αυτισμού. Κατά τη διάρκεια των εκπαιδευτικών συνεδριών, διδάχθηκαν και εξασκήθηκαν 4 τύποι δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές διαβαθμίστηκαν σε δυσκολία και δημιουργήθηκαν με βάση ορισμένες κοινωνικές συμβάσεις που σχετίζονται με την εύρεση θέσης σε ένα άδειο ή γεμάτο καφέ, την παραγγελία, την πληρωμή και την κατάλληλη συνομιλία με άλλους. Η κοινωνική κατανόηση αυτών των εφήβων αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας βαθμολογίες των προφορικών περιγραφών τους για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με το πως θα συμπεριφέρονταν σε δύο διαφορετικά κοινωνικά σενάρια: ένα καφέ και ένα λεωφορείο. Το πρώτο ήταν παρόμοιο με τις καταστάσεις που συναντούσαν στο εικονικό καφενείο, ενώ το δεύτερο αξιολογούσε τη δυνατότητα γενίκευσης της κοινωνικής κατανόησης που έμαθαν οι συμμετέχοντες. Τα αποτελέσματα ήταν ποικίλα και μόνο 2 συμμετέχοντες παρουσίασαν κέρδη στην κοινωνική γνώση και στα δυο σενάρια. Η πραγματική απόδοση σε πραγματικές καταστάσεις δεν αξιολογήθηκε. Καθώς οι αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό καφενείο απαιτούν συνήθως την αφή αντικειμένων, όπως χρήματα ή κούπες καφέ, η ενσωμάτωση πιο σύνθετων απτικών στοιχείων σε αυτό το είδος προγράμματος μπορεί να διευκολύνει την πιο ρεαλιστική αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του VE. Ο αυξημένος ρεαλισμός θα επηρέαζε τον βαθμό οικολογικής εγκυρότητας που επιτυγχάνεται και τον επακόλουθο βαθμό μεταφοράς δεξιοτήτων. Η αυξανόμενη σε πολυπλοκότητα τεχνολογία των οθονών αφής έχει διευκολύνει την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή χωρίς το παραδοσιακό ποντίκι και το joystick. (Mitchell et al., 2007)[73]

Οι Herrera et al. (2008)[35] δημιούργησαν ένα εικονικό σούπερ μάρκετ σε μια οθόνη επίπεδης οθόνης για να διδάξουν σε 2 παιδιά, 8 και 15 ετών, πως να σκέφτονται αφηρημένα και να παίζουν με φαντασία. Τα παιδιά εξερεύνησαν το εικονικό σούπερ μάρκετ αγγίζοντας την οθόνη. Αλληλεπιδρούσαν με αντικείμενα με όλο και πιο ευφάνταστους τρόπους, όπως το να μετατρέψουν ένα ιπτάμενο παντελόνι σε αυτοκινητόδρομο. Οι συγγραφείς αξιολόγησαν τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας ένα τεστ λειτουργικής χρήσης αντικειμένων (δηλαδή πως πρέπει να χρησιμοποιείται ένα αντικείμενο), το Symboliv Play Test (SPT), το Test of Pretend (ToPP) και το τεστ κατανόησης της φαντασίας και της μαγείας. Και τα δύο παιδιά βελτιώθηκαν σε όλες τις δοκιμασίες εκτός από το SPT. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το εργαλείο τους VR είναι χρήσιμο για τη βελτίωση των δεξιοτήτων συμβολικής σκέψης αυτών των παιδιών και ότι οι δεξιότητες αυτές μεταφράζονται σε συγκεκριμένες συμπεριφορές συμβολικού παιχνιδιού. Η οθόνη αφής διευκόλυνε την εύκολη αλληλεπίδραση μεταξύ των παιδιών και της διεπαφής της οθόνης και επέτρεψε τη συμμετοχή και του εκπαιδευτή. Αυτή η πολυδιάστατη αλληλεπίδραση παρέχεται φυσικά από την τεχνολογία της οθόνης αφής- επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ παιδιού και υπολογιστή, εκπαιδευτή και υπολογιστή και εκπαιδευτή και παιδιού. Το DiamondToych (Circle Twelve Inc., Framingham, Mass., USA), ένα υπερσύγχρονο τραπέζι πολλαπλών χρηστών και πολλαπλής αφής, επιτρέπει σε πολλά άτομα να αλληλεπιδρούν με αντικείμενα στην οθόνη που τραπεζιού ταυτόχρονα μέσω της αφής. (Herrera et al., 2008)[35]

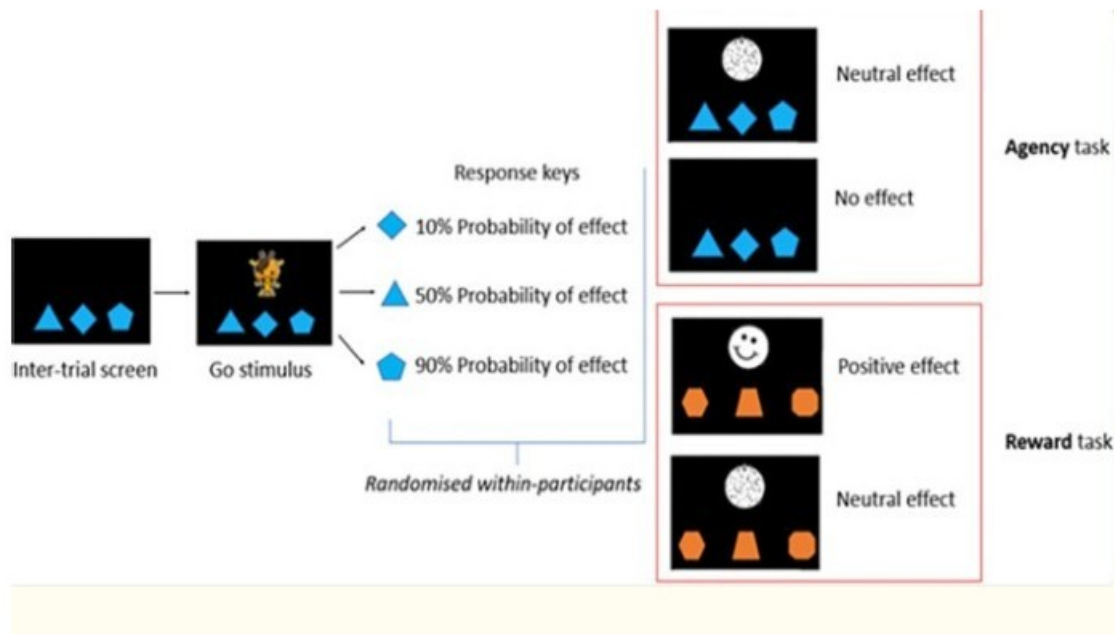
Παρόμοια με την οθόνη αφής των Herrera et al (2008)[35], το τραπέζι DiamondTouch βυθίζει τους χρήστες σε μια φανταστική σκηνή όπου οι ενέργειες και οι αποφάσεις τους έχουν συνέπειες σε πραγματικό χρόνο μέσα στον εικονικό κόσμο. Η τεχνολογία DiamondTouch ενσωματώθηκε με τη διεπαφή StoryTable για να επιτρέψει σε πολλά παιδιά να δημιουργήσουν μαζί μια φανταστική ιστορία επιλέγοντας συνδυάζοντας και διαδοχικά μια σειρά από εικονικούς χαρακτήρες και γεγονότα στη οθόνη. Ορισμένα στοιχεία της ιστορίας απαιτούσαν την αφή 2 παιδιών πριν ενσωματωθούν στην ιστορία, ενισχύοντας την κοινή προσοχή, την επικοινωνία και τη διαπραγμάτευση.

Οι Bauminger et al (2007)[7] αξιολόγησαν αυτό το σύστημα με 3 δυάδες παιδιών με αυτισμό, ηλικίας 9-11 ετών, για να διδάξουν και να ενισχύσουν βασικές κοινωνικές δεξιότητες, όπως η οπτική επαφή, η λήψη σειράς, το μοίρασμα και η από κοινού κατευθυνόμενη συμπεριφορά. Κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, οι δυάδες καθοδηγήθηκαν να δημιουργήσουν και να αφηγηθούν ιστορίες χρησιμοποιώντας φόντο και χαρακτήρες που επιλέχθηκαν από κοινό. Η διδασκαλία επικεντρώθηκε σε τρεις στόχους: εκτέλεση κοινών δραστηριοτήτων, αλληλοβοήθεια και ενθάρρυνση και πειθώ και διαπραγμάτευση κατά τη δημιουργία των ιστοριών. Συμπληρώθηκαν αξιολογήσεις των κοινωνικών συμπεριφορών από βίντεο των συνεδριών StoryTable- επιπλέον, οι συγγραφείς αξιολόγησαν τη δυνατότητα γενίκευσης των κοινωνικών δεξιοτήτων των παιδιών μέσω ενός παιχνιδιού συναρμολόγησης τύπου Lego, MarbleWorks. Μετά τις εκπαιδευτικές συνεδρίες, όλα τα παιδιά αξιολογήθηκαν ως έχοντα περισσότερες εμφανίσεις θετικών κοινωνικών συμπεριφορών κατά τη διάρκεια του StoryTable και περισσότερες θετικές συμπεριφορές κατά τη διάρκεια του MarbleWorks. Εκτός από τις βελτιώσεις στις θετικές κοινωνικές συμπεριφορές, η ποιότητα του παιχνιδιού των δυάδων βελτιώθηκε από το απλό παράλληλο παιχνίδι χωρίς οπτική επαφή στο σύνθετο, συντονισμένο παιχνίδι. Τέλος, οι τύποι των σημαντικών εκφράσεων μετατράπηκαν από λιγότερο αφηγηματικές εκφράσεις (σχετικά με τις τεχνικές πτυχές του προγράμματος) σε περισσότερο αφηγηματικές, σχετικά εκφράσεις (σχετικά με τους χαρακτήρες το σκηνικό και την πλοκή της ιστορίας). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η παρέμβαση StoryTable αύξησε τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα της κοινωνικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των δυάδων. Αυτές οι βελτιώσεις γενικεύτηκαν σε μια παρόμοια εργασία, το MarbleWorks. (Bauminger et al., 2007)[7]

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι συνομήλικοι ίδιας ηλικίας, τυπικοί συνομήλικοι χρησιμεύουν ως αποτελεσματικά πρότυπα για τα παιδιά με αυτισμό για την ενίσχυση των φιλοκοινωνικών και κατάλληλων για την ηλικία συμπεριφορών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρόλο που συσκευές όπως το ποντίκι, το joystick και η οθόνη αφής δεν μπορούν να προσομοιώσουν τις απτικές αλληλεπιδράσεις της πραγματικής ζωής, όπως η αίσθηση της υφής μιας επιφάνειας, η ενσωμάτωση της αίσθησης της αφής προσθέτει ένα ακόμη επίπεδο αλληλεπίδρασης μέσα στο πρόγραμμα. Η συμμετοχή σε συμπεριφορές αιτίου-αποτελέσματος σε πραγματικό χρόνο μπορεί να συμβάλλει στη συνολική αίσθηση παρουσίας και παρακίνησης του παιδιού κατά τη διάρκεια του προγράμματος παρέμβασης (Wang et al., 2011)[80]

Μπορούν να εφαρμοστούν ως διαγνωστικά βοηθητικά εργαλεία για ορισμένες παθήσεις όπως η ΔΕΠΥ – ωστόσο, η έρευνα σχετικά με τη χρήση τους ως βοηθητικών εργαλείων για τη θεραπεία της πάθησης βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα. Για παράδειγμα έχει πραγματοποιηθεί μελέτη του τρόπου με τον οποίο τα παιδιά με ΔΦΑ αντιμετωπίζουν την εξουσία και την ανταμοιβή με τη χρήση παιχνιδιών σε πλατφόρμες αφής (Valori et al.,2023)[77]

Στόχος της μελέτης των Valori et al (2023)[77], ήταν να διαχωρίσει το ρόλο της δράσης και της ανταμοιβής στην επιλογή δράσης αυτιστικών και μη αυτιστικών παιδιών και ενηλίκων, από τους οποίους ζητήθηκε να επιλέξουν ελεύθερα μια από τρεις καραμέλες και να ταΐσουν τα ζώα που εμφανίζονταν σε ένα tablet. Οι καραμέλες συσχετίστηκαν με διαφορετικές πιθανότητες παροχής ουδέτερου έναντι μηδενικού αποτελέσματος (agency) ή θετικού έναντι ουδέτερου αποτελέσματος (έργο ανταμοιβής). Μετρήθηκαν οι επιλογές και οι χρόνοι αντίδρασης (RT) για να γίνει κατανοητό κατά πόσο οι συμμετέχοντες προτιμούσαν και ήταν ταχύτεροι στην επιλογή επιλογών με μεγαλύτερη πιθανότητα να παράγουν ουδέτερο έναντι μηδενικού αποτελέσματος (agency) ή θετικό ουδέτερου αποτελέσματος (reward). Οι επιλογές των συμμετεχόντων και ο χρόνος RT δεν επηρεάστηκαν από το πρακτορείο, ενώ προέκυψε συχνότερη επιλογή της επιλογής με μεγαλύτερη πιθανότητα θετικού έναντι ουδέτερου αποτελέσματος σε όλες τις ομάδες, υποδηλώνοντας έτσι ένα αποτέλεσμα ανταμοιβής. Οι αυτιστικοί συμμετέχοντες επέλεξαν λιγότερο συχνά την επιλογή με επίπεδο πιθανότητας να λάβουν ουδέτερο ή καθόλου αποτέλεσμα γεγονός που θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως ένδειξη μειωμένης ανοχής στην αβεβαιότητα. Σε όλες τις εργασίες, τις συνθήκες και τις ηλικιακές ομάδες, οι αυτιστικοί συμμετέχοντες παρουσίασαν μικρότερη RT, η οποία αποτελεί δείκτη μειωμένου σχεδιασμού και ελέγχου της δράσης. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εμβαθύνει στον τρόπο με τον οποίο η ανοχή στην αβεβαιότητα, ο σχεδιασμός δράσης και ο έλεγχος επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο τα αυτιστικά άτομα κάνουν επιλογές σε καταστάσεις της καθημερινής ζωής συμβάλλοντας ενδεχομένως σε περιορισμένες και επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές (Valori et al., 2023)[77]

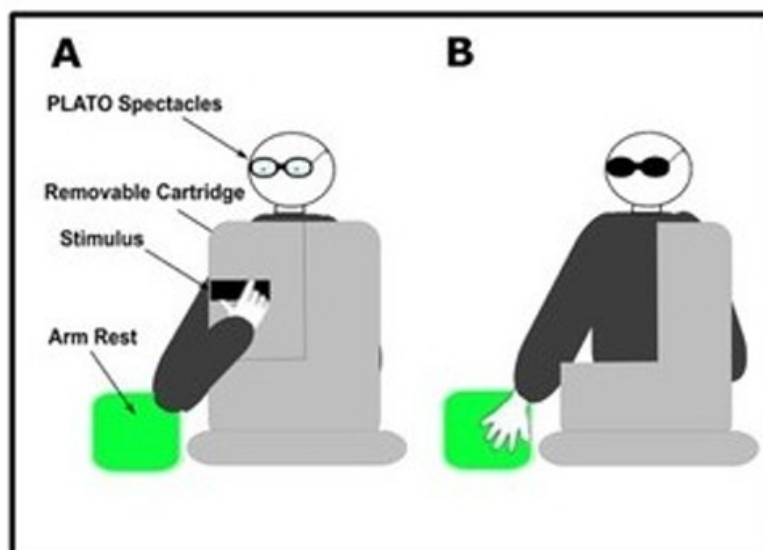


Εικόνα 39 Καθήκοντα αντιπροσώπευσης και ανταμοιβής (Valori et al., 2023)

Από εμπορική άποψη, είναι διαθέσιμη πληθώρα εφαρμογών που απευθύνονται σε παιδιά ΔΦΑ, αν και οι περισσότερες από αυτές είναι μικρής αξίας, ακόμη και όταν οι προγραμματιστές ισχυρίζονται ότι χρησιμοποιούν τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης.

Ωστόσο, η απτική μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των αναπτυξιακών συνδρομών. Από την άποψη αυτή, έχει αποδειχθεί ότι οι απτικές συσκευές δεν έχουν αρνητική επίδραση στο να βοηθούν τα παιδιά που έχουν διαγνωστεί με ΔΦΑ (Διαταραχή του Φάσματος του Αυτισμού) να μεταβαίνουν μεταξύ των εργασιών εργοθεραπείας, τις οποίες μπορούν να μοιράζονται με τα παιδιά νευροτυπικής ανάπτυξης. Η απτική μοντελοποίηση αντικειμένων βρέθηκε να είναι πιο ακριβής σε μια μικρή ομάδα παιδιών με ΔΦΑ που ακολούθησαν στρατηγικές παρόμοιες με εκείνες των νευροτυπικών παιδιών. (Poole et al., 2017)[60]

Πρόσφατες θεωρίες έχουν προτείνει ότι οι άτυπες αισθήσεις και αντιλήψεις που συνήθως αναφέρονται στο φάσμα του αυτισμού (ASC) μπορεί να οφείλονται σε διαφορές στη χρήση των πληροφοριών αξιοπιστίας. Επιπλέον, πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι η πολυαισθητηριακή επεξεργασία είναι λιγότερο αποτελεσματική στα άτομα με την πάθηση σε σύγκριση με τα νευροτυπικά άτομα (NT). Στη μελέτη των Poole et al (2017), ενήλικες με ASC (n=13) και μια αντίστοιχη ομάδα NT (n=13) ολοκλήρωσαν ένα έργο οπτικής-οπτικής κρίσης μεγέθους στο οποίο οι συμμετέχοντες συνέκριναν το ύψος ξύλινων μπλοκ χρησιμοποιώντας είτε την όραση είτε την αφή, και σε μια συνθήκη διπλής τροποποίησης στην οποία τα οπτικά-οπτικά ερεθίσματα παρουσιάστηκαν σε σύγκρουση μεγέθους. Οι συμμετέχοντες με ASC έτειναν να παράγουν πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις από την ομάδα NT. Ωστόσο, η επίδοση με διπλή διαφοροποίηση δεν προβλέφθηκε καλά από το μοντέλο MLE για καμία από τις δυο ομάδες. Η απόδοση συγκρίθηκε στη συνέχεια με εναλλακτικά μοντέλα στα οποία ο συμμετέχων είτε άλλαξε μεταξύ των τρόπων από δοκιμή σε δοκιμή (αντί να ενσωματώνει) και με ένα μοντέλο μη βέλτιστης ενσωμάτωσης. Οι επιδόσεις και των δυο ομάδων ήταν στατιστικά συγκρίσιμες με το μοντέλο εναλλαγής ενδείξεων. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι οι ενήλικες με ASC υιοθετούν μια παρόμοια στρατηγική με του NT κατά την επεξεργασία αντικρουόμενων οπτικό-απτικών πληροφοριών. (Poole et al., 2017) [60]



Εικόνα 40 Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. (Α) Σε μια δοκιμή διπλής τροποποίησης ο συμμετέχων βλέπει τα οπτικά ερεθίσματα στο μπροστινό μέρος μιας αφαιρούμενης κασέτας ενώ εξερευνά τα απτικά ερεθίσματα στο πίσω μέρος της κασέτας χρησιμοποιώντας τον αντίχειρα και τον δείκτη του κυρίαρχου χεριού του (Β) Κατά τη διάρκεια του διαστήματος μεταξύ των ερεθισμάτων, ο συμμετέχων επιστρέφει το χέρι του στο στήριγμα του βραχίονα και τα γυαλιά PLATO ήταν κλειστά, ενώ ο πειραματιστής άλλαζε την κασέτα.

Βρέθηκε ότι οι ενήλικες με ΔΦΑ υψηλότερης λειτουργικότητας παραβιάζουν μια κεντρική προσδοκία στις επιστήμες της συμπεριφοράς, τον λεγόμενο νόμο του Weber, σε διάφορες εργασίες αντίληψης, συμπεριλαμβανομένης της απτικής διάκρισης βάρους, γεγονός που υποδεικνύει συγκεκριμένα διαγνωστικά/θεραπευτικά εργαλεία στο μέλλον, όπως η βελτιωμένη ποσοτική μέτρηση της συμπεριφοράς του χεριού-ματιού για την αξιολόγηση διαδραστικών εργασιών. Στη μελέτη των Cassellato et al., (2017)[13] αναπτύχθηκε ένα ρομποτικό πρωτόκολλο, καταγράφοντας δεδομένα για το βλέμμα και το χέρι κατά τη διάρκεια εργασιών των άνω άκρων, στο οποίο μια απτική λαβή που μοιάζει με στυλό κινείται κατά μήκος συγκεκριμένων τροχιών που εμφανίζονται στην οθόνη. Το πρωτόκολλο περιλαμβάνει δοκιμές προσέγγισης κάτω από ένα διαταραγμένο δυναμικό πεδίο και σύλληψης κινούμενων στόχων, με ή χωρίς οπτική διαθεσιμότητα ολόκληρης της διαδρομής. Συμμετείχαν 16 παιδιά τυπικής ανάπτυξης μαθητικής ηλικίας και ένα παιδί με ΔΦΑ ως μελέτη περίπτωσης. Αξιολογήθηκαν η αντιστάθμιση ταχύτητας-ακρίβειας, η κινητική απόδοση και ο χωρικός συντονισμός βλέμματος-χεριού. Σε σύγκριση με τους τυπικά αναπτυσσόμενους συνομηλίκους στην ακολουθία δυναμικού πεδίου, το παιδί με ΔΦΑ παρουσίασε άθικτη αλλά καθυστερημένη μάθηση και πιο μεταβλητά μοτίβα gazehand. Στις δοκιμές σύλληψης έδειξε λιγότερο αποτελεσματικές κινήσεις, αλλά μια άθικτη ικανότητα εκμετάλλευσης του διαθέσιμου a-priori σχεδίου. Το προτεινόμενο πρωτόκολλο αντιπροσωπεύει ένα ισχυρό εργαλείο, εύκολα ρυθμιζόμενο για ποσοτική (διαχρονική) αξιολόγηση και για εκπαίδευση προσαρμοσμένη στα άτομα με ΔΦΑ. (Casellato et al., 2017)[13]

Ωστόσο στην καθημερινή επαφή με τα παιδιά πρέπει να έχουμε επίγνωση και σεβασμό των ιδιαιτεροτήτων τους. Η τεχνολογία δεν είναι η μόνη λύση, ίσως ούτε καν η καλύτερη λύση. Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ήσυχων δωματίων φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευεργετική για τα παιδιά με ΔΦΑ, ανακουφίζοντας το άγχος που προκαλείται από τα ελλείμματα αισθητηριακής ενσωμάτωσης που παρουσιάζουν τα παιδιά με ΔΦΑ. Αυτό το αποτέλεσμα, προφανώς δεν μπορεί να επιτευχθεί με καμία τεχνολογική λύση που κινδυνεύει να αυξήσει τον γνωστικό και αισθητηριακό κορεσμό του παιδιού.

## 5.6 Άτομα με προβλήματα ακοής

Η ακουστική στέρηση επηρεάζει τη χωρική οργάνωση του εγκεφάλου έτσι, σε αντίθεση με τα παιδιά χωρίς ακουστική υστέρηση, τα οποία έχουν δείξει ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου για τη χωρική προσοχή, έχει παρατηρηθεί μια άτυπη αμφίπλευρη ή αριστερή ημισφαιρική ενεργοποίηση στα παιδιά με ακουστική υστέρηση. Επιπλέον, η χωρική νόηση προάγεται από την εξειδίκευση στη χωρική γλώσσα και η απουσία γλώσσας οδηγεί σε φτωχές επιδόσεις σε μη γλωσσικά χωρικά καθήκοντα, ιδίως σε εκείνα που συνδυάζουν διαφορετικές χωρικές αναπαραστάσεις. Για παράδειγμα, μια συνεπής γλωσσική σήμανση αριστερά-δεξιά σχετίζεται με την αναζήτηση υπό αποπροσανατολισμό ή μια συνεπής σήμανση της πληροφορίας του εδάφους σχετίζεται με την

αναζήτηση σε περιστρεφόμενες διατάξεις σε κωφούς νοηματιστές. Σε αντίθεση με τις χρονικές ικανότητες, οι χωρικές ικανότητες είναι πιθανό να βελτιώνονται στα παιδιά με ακουστική υστέρηση, ιδίως με τη χρήση της νοηματικής γλώσσας.

Οι χρονικές δεξιότητες ανακαλούν τη σειρά, το χρόνο και την αλληλουχία. Η απώλεια ακοής μειώνει την ικανότητα χρήσης λεπτών χρονικών σημάτων για την αναγνώριση της ομιλίας και των μη-ομιλούμενων ενδείξεων μέσα από τον μεταβλητό περιβαλλοντικό θόρυβο. Η χρονική επεξεργασία των ιδιοδεκτικών και απτικών σημάτων είναι επίσης μειωμένη στα παιδιά με ακουστική υστέρηση. Τα εγκεφαλικά δυναμικά που σχετίζονται με γεγονότα αποκάλυψαν λιγότερο ακριβείς φωνολογικές αναπαραστάσεις του ρυθμού της προφορικής γλώσσας ή της θέσης της νοηματικής γλώσσας σε παιδιά με ακουστική υστέρηση, σε σύγκριση με παιδιά τα οποία δεν είχαν ακουστική υστέρηση. Παρόλα αυτά, οι χρήστες κοχλιακών εμφυτευμάτων είχαν παρόμοιες επιδόσεις σε εργασίες χρονικής οργάνωσης με τα άτομα χωρίς ακουστική υστέρηση. Από την άλλη πλευρά, η διατροφική πλαστικότητα που καθοδηγείται από την εμπειρία μπορεί να επιτρέπει στα άτομα με ακουστική υστέρηση μια φυσιολογική απόδοση κατά τον συγχρονισμό χρονικά διακριτών οπτικών ερεθισμάτων και τον οπτικό συγχρονισμό (Penenory et al., 2018)[59]

Οι Zhu et al. (2016) [89] χρησιμοποίησαν απτά αντικείμενα για να αλληλεπιδράσουν με ψηφιακά στοιχεία σε ένα συνεργατικό παιχνίδι ρόλων. Τα παιδιά εκπαίδευσαν την έκφραση και τις κινήσεις του σώματός τους ενώ έπαιζαν με τους συμπαίκτες τους πολεμώντας τους εχθρούς, κουνώντας τα όπλα σύμφωνα με διαφορετικούς ρυθμούς. Χρησιμοποιώντας πλακέτες Arduino ή παρόμοιες πλακέτες υλικού, οι ερευνητές δημιούργησαν αντικείμενα που τα παιδιά με ακουστική υστέρηση μπορούν να κρατούν και να χειρίζονται, τα οποία έλεγχαν την αλληλεπίδραση και ενημέρωναν για τη θέση ή την κίνησή τους μέσω επιτα χυσιόμετρων. Κατά την αξιολόγηση του συστήματος, οι συμμετέχοντες παρακινήθηκαν περισσότερο να συμμετάσχουν συνεργατικά στη δραστηριότητα λόγω της χρήσης απτών στοιχείων όπως σπαθιά, ασπίδες και ραβδιά. Ωστόσο, ορισμένοι συμμετέχοντες αντιμετώπισαν δυσκολίες λόγω της έλλειψης διαχείρισης του ρυθμού και της γνώσης της μουσικής, επομένως, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οπτικά βοηθήματα. (Zhu et al., 2016). [89]

## **Κεφάλαιο 6ο: Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις**

Η απτική πληροφορία μπορεί να ρέει προς δυο κατευθύνσεις, προς και από τον χρήστη, κατά την αλληλεπίδραση του με τεχνητά αυτοματοποιημένα συστήματα, τα οποία μπορεί να είναι υπολογιστές, ρομπότ ή άλλες συσκευές, επειδή η απτική και τα υποκατάστατά της εμπλέκονται σε πληθώρα σχεδίων διαδραστικών συστημάτων. Τα περισσότερα από τα συστήματα που εξετάζονται στην τεράστια βιβλιογραφία εξετάζουν μόνο μια από αυτές τις κατευθύνσεις. Για παράδειγμα, οι νέες

εξελίξεις των απτικών στόλων για εφαρμογές παιχνιδιών επικεντρώνονται στο να δίνουν την εντύπωση γεγονότων (όπως η λήψη μιας σφαίρας) και εφέ που πρέπει να εντυπωσιάσουν τον χρήστη (όπως η αίσθηση ενός τεχνητού καρδιακού παλμού για να προστεθεί άγχος ή αγωνία), αλλά δεν εξετάζεται η λήψη ανατροφοδότησης σχετικά με την κατάσταση του χρήστη. Δεδομένα σχετικά με τη φυσιολογία του χρήστη ή τις κινητικές αντιδράσεις, εκτός από τους αδρανειακούς αισθητήρες (που δεν μπορούν να θεωρηθούν απτική ανατροφοδότηση), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της πραγματικής εμπλοκής του χρήστη και ακόμη και για την πρόληψη ανώμαλων καταστάσεων, όπως καρδιακές παθήσεις ή γνωστικές συγκρούσεις. Σε ορισμένα από τα ποικίλα σχέδια απτικών συστημάτων, η εφαρμογή μιας αμφίδρομης ροής πληροφοριών μπορεί να είναι ανέφικτη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των οπτικών απτικών συστημάτων δεν υπάρχει πραγματικός τρόπος να λαμβάνεται η απτική ανατροφοδότηση του χρήστη. (Irigoyen et al., 2024)[37]

Στη βάση της διαδικασίας των απτικών δεδομένων, είτε πρόκειται για την παραγωγή τους από εικονικούς χώρους σε απτικούς επενεργητές είτε για την ερμηνεία τους από πραγματικούς απτικούς αισθητήρες, βρίσκεται η αντιστοιχία πολύπλοκων αναπαραστάσεων σε απτικά δεδομένα. Αυτές οι αναπαραστάσεις και αντιστοιχίσεις δεν είναι γενικές. Κάθε εφαρμογή έχει έναν συγκεκριμένο τομέα αναπαραστάσεων, συγκεκριμένες μετρούμενες μεταβλητές και συγκεκριμένες ερμηνείες. Είναι, επομένως, μάλλον δύσκολο να διατυπωθεί κάτι σαν μια γενική θεωρία της απτικής επιστήμης. Αυτή τη στιγμή, τα περισσότερα συστήματα και λύσεις δεν μπορούν να μεταφραστούν σε διαφορετικούς τομείς και σε διαφορετικά είδη χρηστών. Η ανάγκη για μια τέτοια γενική θεωρία της απτικής μπορεί να υποτιμάται στην τρέχουσα κατάσταση, όπου πολλές εταιρείες και ερευνητικά κέντρα ακολουθούν αποκλίνουσες ερευνητικές κατευθύνσεις, αλλά μπορεί να γίνει πιο επείγουσα καθώς τα συστήματα αυξάνουν την πολυπλοκότητα τους και ο πληθυσμός των χρηστών αυξάνεται από τα περιορισμένα οικοσυστήματα στο ευρύτερο κοινό. (Irigoyen et al., 2024).[37]

Η πολυπλοκότητα είναι το κλειδί για την ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων αλληλεπίδρασης που περιλαμβάνουν απτικά συστήματα. Δεν υπάρχει σχεδόν κανένα αμιγώς απτικό σύστημα στην αγορά: μπορεί να έχει νόημα μόνο για εξαιρετικά περιορισμένα υποκείμενα, όπως οι τυφλοί-κουφοί, των οποίων η μοναδική αίσθηση του χώρου είναι η αίσθηση της αφής. Τα περισσότερα τρέχοντα συστήματα βασίζονται σε πλεονάζουσες πληροφορίες που προέρχονται από την όραση ή τους ακουστικούς αισθητήρες ή και από τα δυο. Αυτές οι πλούσιες πληροφορίες πρέπει επίσης να υποβάλλονται σε επεξεργασία ή/και να παράγονται με συντονισμένο τρόπο. Οι συγκρούσεις μεταξύ των αισθητηριακών πληροφοριών πρέπει να επιλύονται προκειμένου να αποφεύγεται η γνωστική δυσφορία του χρήστη. Για παράδειγμα, η οπτική αναπαράσταση κενών χώρων μπορεί να συγκρούεται με τις απτικές αισθήσεις των ορίων ή αντίστροφα, τα όρια, όπως οι τοίχοι, δεν πρέπει να διασχίζονται ελεύθερα όσον αφορά τους απτικούς αισθητήρες. Ως εκ τούτου, η πολυπλοκότητα θέτει πρόσθετα ζητήματα επεξεργασίας δεδομένων που μπορούν να περιορίσουν τη βελτιωμένη εμπειρία του χρήστη. (Irigoyen et al., 2024)[37]

Οι νέες εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη (TN) θέτουν αμφίδρομες προκλήσεις. Από τη μια πλευρά, υπάρχει η δυνητική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη καινοτόμων απτικών συστημάτων. Σήμερα, τα απτικά δεδομένα αναλύονται μέσω στατιστικών εργαλείων, συμπεριλαμβανομένων των εργαλείων μηχανικής μάθησης (ML). Είναι δυνατόν να ενισχυθεί η ανάλυση απτικών δεδομένων μέσω καινοτόμων αρχιτεκτονικών TN, όπως τα μεγάλα

γλωσσικά μοντέλα (LLM); Τα LLMs αποτελούν την κύρια τάση στα τρέχοντα παραγωγικά μοντέλα για εφαρμογές όπως τα chatbots. Μήπως είναι δυνατόν να διατυπωθούν οι απτικές αλληλεπιδράσεις στο πλαίσιο των αλληλεπιδράσεων chatot; Για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι δυνατός ο σχεδιασμός καινοτόμων συστημάτων αλληλεπίδρασης ικανών να παράγουν επαρκή χωρικά απτικά ερεθίσματα που ενεργοποιούνται από πληροφορίες χειρονομιών ή περιβάλλοντος, όπως τα τρέχοντα chatbots που βασίζονται σε LLM παράγουν απαντήσεις κειμένου με ερωτήματα κειμένου. Τα τρέχοντα πολυτροπικά θεμελιώδη μοντέλα, όπως τα μοντέλα μετατροπής όρασης σε γλώσσα (VLM) ή τα μοντέλα μετατροπής γλώσσας σε όραση (LVM) που μεταφράζουν δεδομένα μεταξύ των τρόπων, θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια ορισμένη έμπνευση για αυτά τα καινοτόμα μοντέλα μετατροπής γλώσσας σε απτική (LHM) και τις σχετικές εξελίξεις.(Irigoyen et al., 2024)[37]

Συγκεκριμένα για τους τυφλούς-κωφούς η κύρια πρόκληση είναι η κατασκευή σύνθετων νοητικών αναπαραστάσεων που μπορούν να εκφραστούν στη γλώσσα από την καθαρή απτική εμπειρία. Πως να οικοδομηθεί και να μεταφερθεί η αναπαράσταση κτιρίων, βουνών, ουρανού και άλλων χωρικών εννοιών από καθαρές απτικές αισθήσεις; Σχετικό με αυτό είναι και το πρόβλημα της επικοινωνίας. (Irigoyen et al., 2024)[37]

Από την άλλη πλευρά, η ενσωμάτωση της απτικής αίσθησης στα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης τους επιτρέπει να επιτύχουν καλύτερη γείωση με την πραγματικότητα. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η σημασιολογία συνδέεται στενά με τα αισθητηριακά δεδομένα, δηλαδή οι νοητικές κατηγορίες συχνά σχετίζονται με αισθητηριακά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, οι όροι «πάνω» ή το «κάτω». Από αυτή την άποψη, η απτική αίσθηση μπορεί να προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία αισθητηριακών ερεθισμάτων που συνδέονται με όρους που κατά τα άλλα είναι ασαφείς. Η πρόκληση στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον θα είναι να μεταφερθούν αυτές οι έννοιες σε συστήματα γενικής τεχνητής νοημοσύνης (General Artificial Intelligence, GAI) με την ενσωμάτωση απτικών και άλλων αισθήσεων. Πολλές γνωστικές κατηγορίες που σχετίζονται με τον πόνο και την ευχαρίστηση βασίζονται σε απτικές αισθήσεις τις οποίες τα συστήματα ΓΑΔ θα πρέπει να κατακτήσουν προκειμένου να προσεγγίσουν την ανθρώπινη νοημοσύνη.(Irigoyen et al., 2024)[37]

Όταν εξετάζονται παιδιά με αναπτυξιακά σύνδρομα όπως η ΔΦΑ ή η ΔΕΠΥ, η μεγάλη πρόκληση είναι να προσαρμοστούν τα συστήματα στις ιδιαιτερότητες των παιδιών. Αυτά τα αναπτυξιακά σύνδρομα έχουν ένα ευρύ φάσμα πραγματικών συμπτωμάτων και καταστάσεων. Ως εκ τούτου, κανένα ενιαίο σύστημα με άκαμπτη δομή και ορισμένο των αλληλεπιδράσεων και των σκοπών δεν μπορεί να είναι γενικά ωφέλιμο για κάθε παιδί που έχει διαγνωστεί με αυτά τα σύνδρομα. Απαιτείται προσεκτική μοντελοποίηση του παιδιού και ο τομέας της συνεχούς μάθησης θα πρέπει να δώσει λύσεις σε αυτό το αίνιγμα. Τα απτικά συστήματα είναι μια πολύ πιο στενή αλληλεπίδραση από τα συστήματα που βασίζονται στην όραση και θα πρέπει να αποδειχθούν πολύτιμα σε μια τέτοια στενή μοντελοποίηση του ατόμου. Η ενσωμάτωση των συστημάτων GAI και των απτικών λύσεων φαίνεται η πιο υποσχόμενη οδός έρευνας για την επίτευξη ενός στενά εξατομικευμένου βαθμού για παιδιά με αναπτυξιακά σύνδρομα.(Irigoyen et al., 2024)[37]

Η απτική για ενισχυμένη εμπύθιση σε συστήματα παιχνιδιών έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή, λόγω της μεγάλης οικονομικής αξίας ακόμη και μικρών προόδων και βελτιώσεων. Είναι αναμενόμενο ότι η ταχύτερη εξέλιξη των συσκευών αλληλεπίδρασης για παιχνίδια θα χρησιμεύσει για τη μείωση του κόστους των μεμονωμένων μονάδων και για την εκθετική αύξηση της ποιότητας και των προσφερόμενων χαρακτηριστικών τους. Στο πλαίσιο αυτό, θα είναι πρόκληση η μεταφορά λύσεων

παιχνιδιών σε εκπαιδευτικούς τομείς, ειδικά για τα άτομα που κινδυνεύουν να αποκλειστούν. Για παράδειγμα, οι υψηλής ποιότητας και υψηλής ανάλυσης στολές παιχνιδιών, που προσεγγίζουν ένα τεχνητό δέρμα ενισχυμένο με GAI, θα μπορούσαν να δημιουργήσουν εικονικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα για τυφλούς-κωφούς.(Trigoyen et al., 2024)[37]

## Συμπέρασμα

Η ανάλυση της χρήσης των απτικών διεπαφών, όπως παρουσιάζεται στην εργασία, οδηγεί σε πολλαπλά και σημαντικά συμπεράσματα. Πρώτα απ' όλα, γίνεται φανερό ότι οι απτικές διεπαφές αποτελούν ένα καθοριστικό παράγοντα στη μετάβαση προς πιο φυσικές και ανθρώπινες μορφές αλληλεπίδρασης με τις ψηφιακές τεχνολογίες. Η ικανότητά τους να ενισχύουν την αισθητηριακή εμπειρία με ανατροφοδότηση αφής προσδίδει μια νέα διάσταση στην επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής.

Η τεχνολογία πρόοδος σε συσκευές όπως τα απτικά γάντια, οι ρομποτικοί βραχίονες και τα φορητά απτικά μέσα επιτρέπει την προσομοίωση ρεαλιστικών φυσικών αλληλεπιδράσεων, διευρύνοντας τις δυνατότητες των εφαρμογών σε τομείς όπως η εικονική εκπαίδευση, η απομακρυσμένη ιατρική και η βιομηχανική κατάρτιση. Τα παραδείγματα εφαρμογών που εξετάζονται στην εργασία αποδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση της απτικής τεχνολογίας προσφέρει αυξημένη εμπύθιση, βελτιωμένη κατανόηση και ικανότητα χειρισμού αντικειμένων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Παρόλα αυτά, δεν αγνοούνται οι προκλήσεις. Τεχνικοί περιορισμοί, όπως η πολυπλοκότητα των μηχανισμών ανατροφοδότησης, το κόστος παραγωγής και τα ζητήματα εργονομίας, αποτελούν εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Επίσης, εγείρονται ηθικά ζητήματα σχετικά με την υπερβολική εμπύθιση και την εξάρτηση από τεχνολογίες αφής, ειδικά σε ευάλωτους πληθυσμούς.

Η μελλοντική ανάπτυξη των απτικών διεπαφών αναμένεται να επηρεάσει δραστικά τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε με το ψηφιακό περιβάλλον. Οι διεπιστημονικές συνεργασίες ανάμεσα σε επιστήμονες πληροφορικής, μηχανικούς, νευροεπιστήμονες και σχεδιαστές διεπαφών θεωρούνται κρίσιμες για τη δημιουργία πιο αποτελεσματικών και ηθικά αποδεκτών λύσεων. Η πορεία προς πιο ρεαλιστική, οικονομική και φιλική στον χρήστη απτική ανατροφοδότηση δείχνει να είναι η κατεύθυνση που θα καθορίσει το μέλλον των διεπαφών.

Εν κατακλείδι, η εργασία καταδεικνύει ότι οι απτικές διεπαφές δεν αποτελούν απλώς τεχνολογικό επίτευγμα, αλλά μια ριζική μεταβολή στον τρόπο που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται και συνδιαλέγεται με τον ψηφιακό κόσμο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alexander, J. M., Johnson, K. E., & Schreiber, J. B. (2002). Knowledge is not everything: analysis of children's performance on a haptic comparison task. *Journal of experimental child psychology*, 84(4), 341–366. [https://doi.org/10.1016/s0022-0965\(02\)00100-5](https://doi.org/10.1016/s0022-0965(02)00100-5)
- [2] Alleblas, C. C. J., Vleugels, M. P. H., Coppus, S. F. P. J., & Nieboer, T. E. (2017). The effects of laparoscopic graspers with enhanced haptic feedback on applied forces: a randomized comparison with conventional graspers. *Surgical endoscopy*, 31(12), 5411–5417. <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5623-9>
- [3] Almusawi, H.A.; Durugbo, C.M.; Bugawa, A.M. Wearable Technology in Education: A Systematic Review. *IEEE Trans. Learn. Technol.* 2021, 14, 540–554
- [4] Azher, S., Mills, A., He, J., Hyjazie, T., Tokuno, J., Quaiattini, A., & Harley, J. M. (2024). Findings Favor Haptics Feedback in Virtual Simulation Surgical Education: An Updated Systematic and Scoping Review. *Surgical innovation*, 31(3), 331–341. <https://doi.org/10.1177/15533506241238263>
- [5] Ban, Y., & Ujitoko, Y. (2024). Age and Gender Differences in the Pseudo-Haptic Effect on Computer Mouse Operation in a Desktop Environment. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 30(8), 5566–5580. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3295389>
- [6] Bara, F.; Gentaz, E. Haptics in teaching handwriting: The role of perceptual and visuo-motor skills. *Hum. Mov. Sci.* 2011, 30, 745–759
- [7] Bauminger N, Gal E, Goren-Bar D (eds): Enhancing social communication in highfunctioning children with autism through a co-located interface. 6th Int Workshop on Social Intelligence Design, Trento, 2007
- [8] Bernard, C., Monnoyer, J., Wiertelowski, M., & Ystad, S. (2022). Rhythm perception is shared between audio and haptics. *Scientific reports*, 12(1), 4188.

- [9]Bortone, I., Barsotti, M., Leonardis, D., Crecchi, A., Tozzini, A., Bonfiglio, L., & Frisoli, A. (2020). Immersive Virtual Environments and Wearable Haptic Devices in rehabilitation of children with neuromotor impairments: a single-blind randomized controlled crossover pilot study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 17(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00771-6>
- [10]Brayda, L., Leo, F., Baccelliere, C., Ferrari, E., & Vigini, C. (2018). Updated Tactile Feedback with a Pin Array Matrix Helps Blind People to Reduce Self-Location Errors. *Micromachines*, 9(7), 351. <https://doi.org/10.3390/mi9070351>
- [11]Broeren, J., Rydmark, M., & Sunnerhagen, K. S. (2004). Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: a single-case study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(8), 1247–1250. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.09.020>
- [12]Carter, T., Seah, S. A., Long, B., Drinkwater, B., and Subramanian, S. (2013). “Ultrahaptics: multi-point mid-air haptic feedback for touch surfaces,” in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (ACM), 505–514. doi: 10.1145/2501988.2502018
- [13]Casellato, C., Gandolla, M., Crippa, A., & Pedrocchi, A. (2017). Robotic set-up to quantify hand-eye behavior in motor execution and learning of children with autism spectrum disorder. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings], 2017*, 953–958. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009372>
- [14]Caserman, P., Krug, C., & Göbel, S. (2021). Recognizing Full-Body Exercise Execution Errors Using the Teslasuit. *Sensors*, 21(24), 8389. <https://doi.org/10.3390/s21248389>
- [15]Chahal, B., Aydin, A., & Ahmed, K. (2024). Virtual reality vs. physical models in surgical skills training. An update of the evidence. *Current opinion in urology*, 34(1), 32–36. <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000001145>
- [16]Chinello, F., Malvezzi, M., Pacchierotti, C., and Prattichizzo, D. (2012). “A three DoFs wearable tactile display for exploration and manipulation of virtual objects,” in *2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)* (IEEE), 71–76. doi: 10.1109/HAPTIC.2012.6183772
- [17]Cho, Y., Liang, K., Folowosele, F., Miller, B., and Thakor, N. V. (2007). “Wireless temperature sensing cosmesis for prosthesis,” in *2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics* (IEEE), 672–677. doi: 10.1109/ICORR.2007.4428497

[18]Cholewiak, R. W., and Collins, A. A. (2003). Vibrotactile localization on the arm: effects of place, space, and age. *Percept. Psychophys.* 65, 1058–1077. doi: 10.3758/BF03194834

[19]Choukou, M.-A., Mbabaali, S., Bani Hani, J., & Cooke, C. (2021). Haptic-Enabled Hand Rehabilitation in Stroke Patients: A Scoping Review. *Applied Sciences*, 11(8), 3712. <https://doi.org/10.3390/app11083712>

[20]de Tinguy, X., Howard, T., Pacchierotti, C., Marchal, M., and Lécuyer, A. (2020). “Weatavix: wearable actuated tangibles for virtual reality experiences,” in *EUROHAPTICS 2020*.

[21]Deakin University Deakin Builds Robotic Surgical System with Sense of Touch 13 October, 2026 <https://www.deakin.edu.au/about-deakin/news-and-media-releases/articles/deakin-builds-robotic-surgical-system-with-sense-of-touch>

[22]Deutsch, J.E.; Merians, A.S.; Burdea, G.C.; Boian, R.; Adamovich, S.V.; Poizner, H. Haptics and Virtual Reality Used to Increase Strength and Improve Function in Chronic Individuals Post-stroke: Two Case Reports. *J. Neurol. Phys. Ther.* 2002, 26, 79–86

[23]Dubuque, E. M., Collins, L., & Dubuque, M. L. (2020). Improving Performance Covertly and Remotely with Tactile Stimulation. *Behavior analysis in practice*, 14(1), 203–207. <https://doi.org/10.1007/s40617-020-00493-0>

[24]Dunn, W., Griffith, J. W., Sabata, D., Morrison, M. T., MacDermid, J. C., Darragh, A., Schaaf, R., Dudgeon, B., Connor, L. T., Carey, L., & Tanquary, J. (2015). Measuring change in somatosensation across the lifespan. *The American journal of occupational therapy : official publication of the American Occupational Therapy Association*, 69(3), 6903290020p1–6903290020p9. <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.014845>

**[25]EPFL 2019 Artificial skin could help rehabilitation and enhance virtual reality** <https://actu.epfl.ch/news/artificial-skin-could-help-rehabilitation-and-enha/>

Fitter, N. T., & Kuchenbecker, K. J. (2018). Teaching a Robot Bimanual Hand-Clapping Games via Wrist-Worn IMUs. *Frontiers in robotics and AI*, 5, 85. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00085>

[26]Fletcher M. D. (2021). Can Haptic Stimulation Enhance Music Perception in Hearing-Impaired Listeners?. *Frontiers in neuroscience*, 15, 723877. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.723877>

Fletcher, M. D. (2020). Using haptic stimulation to enhance auditory perception in hearing-impaired listeners. *Expert Review of Medical Devices*, 18(1), 63–74. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1863782>

[27]Fleury M, Lioi G, Barillot C and Lécuyer A (2020) A Survey on the Use of Haptic Feedback for Brain-Computer Interfaces and Neurofeedback. *Front. Neurosci.* 14:528. doi: 10.3389/fnins.2020.00528

Fleury M, Lioi G, Barillot C and Lécuyer A (2020) A Survey on the Use of Haptic Feedback for Brain-Computer Interfaces and Neurofeedback. *Front. Neurosci.* 14:528. doi: 10.3389/fnins.2020.00528

[28]Flores Ramones, A., & del-Rio-Guerra, M. S. (2023). Recent Developments in Haptic Devices Designed for Hearing-Impaired People: A Literature Review. *Sensors*, 23(6), 2968. <https://doi.org/10.3390/s23062968>

[29]Frisoli, A., Solazzi, M., Salsedo, F., and Bergamasco, M. (2008). A fingertip haptic display for improving curvature discrimination. *Presence Teleoper. Virt. Environ.* 17, 550–561. doi: 10.1162/pres.17.6.550

[30]Frolov, A. A., Mokienko, O., Lyukmanov, R., Biryukova, E., Kotov, S., Turbina, L., et al. (2017). Post-stroke rehabilitation training with a motor-imagery-based brain-computer interface (BCI)-controlled hand exoskeleton: a randomized controlled multicenter trial. *Front. Neurosci.* 11:400. doi: 10.3389/fnins.2017.00400

[31]Gabardi, M., Solazzi, M., Leonardis, D., and Frisoli, A. (2016). “A new wearable fingertip haptic interface for the rendering of virtual shapes and surface features,” in *2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)* (IEEE), 140–146. doi: 10.1109/HAPTICS.2016.7463168

[32]Gertler, I., Serhat, G., & Kuchenbecker, K. J. (2023). Generating Clear Vibrotactile Cues with a Magnet Embedded in a Soft Finger Sheath. *Soft robotics*, 10(3), 624–635. <https://doi.org/10.1089/soro.2021.0184>

[33]Giri, G. S., Maddahi, Y., & Zareinia, K. (2021). An Application-Based Review of Haptics Technology. *Robotics*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.3390/robotics10010029>

[34]Goyal, C., Vardhan, V., & Naqvi, W. (2022). Virtual Reality-Based Intervention for Enhancing Upper Extremity Function in Children With Hemiplegic Cerebral Palsy: A Literature Review. *Cureus*, 14(1), e21693. <https://doi.org/10.7759/cureus.21693>

[35]Herrera G, Alcantud F, Jordan R, Blanquer A, Labajo A, De pablo C: Development of symbolic play through the use of virtual reality tools in children with autistic spectrum disorders. *Autism* 2008;12:143–157

- [36]Hirao, Y., Narumi, T., Argelaguet, F., & Lecuyer, A. (2024). Revisiting Walking-in-Place by Introducing Step-Height Control, Elastic Input, and Pseudo-Haptic Feedback. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 30(7), 3210–3223. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3228171>
- [37]Irigoyen, E., Larrea, M., & Graña, M. (2024). A Narrative Review of Haptic Technologies and Their Value for Training, Rehabilitation, and the Education of Persons with Special Needs. *Sensors*, 24(21), 6946. <https://doi.org/10.3390/s24216946>
- [38]Jáuregui, D.A.G.; Argelaguet, F.; Olivier, A.H.; Marchal, M.; Multon, F.; Lécuyer, A. Toward “pseudo-haptic avatars”: Modifying the visual animation of self-avatar can simulate the perception of weight lifting. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* **2014**, 20, 654–661
- [39]Jones, L. A., and Ho, H.-N. (2008). Warm or cool, large or small? The challenge of thermal displays. *IEEE Trans. Haptics* 1, 53–70. doi: 10.1109/TOH.2008.2
- Jones, L. A., and Sarter, N. B. (2008). Tactile displays: guidance for their design and application. *Hum. Fact.* 50, 90–111. doi: 10.1518/001872008X250638
- [40]Kärcher, S. M., Färber, B., & Steimle, J. (2016). "The Mobile Lorm Glove: A communication device for the deaf-blind using haptic feedback." *IEEE Transactions on Haptics*, 9(2), 188-200
- [41]Kawabe, T. Mid-Air Action Contributes to Pseudo-Haptic Stiffness Effects. *IEEE Trans. Haptics* **2020**, 13, 18–24
- [42]Kim, S., Ishii, M., Koike, Y., and Sato, M. (2000). “Haptic interface with 7 DOF using 8 strings: SPIDAR-G,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Artificial Reality and Tele-existence (ICAT '00)*.
- [43]Klatzky, R. L., and Lederman, S. J. (2003). “Touch,” in *Handbook of Psychology* (Wiley Online Library), 147–176. doi: 10.1002/0471264385.wei0406
- [44]Lee, J.; Kim, J.; Kang, J.; Jo, E.; Park, D.C.; Choi, S. Telemetry-Based Haptic Rendering for Racing Game Experience Improvement. *IEEE Trans. Haptics* **2024**, 17, 72–79
- [45]Leonardis, D., Barsotti, M., Loconsole, C., Solazzi, M., Troncossi, M., Mazzotti, C., et al. (2015). An EMG-controlled robotic hand exoskeleton for bilateral rehabilitation. *IEEE Trans. Haptics* 8, 140–151. doi: 10.1109/TOH.2015.2417570
- [46]López-Larraz, E., Sarasola-Sanz, A., Irastorza-Landa, N., Birbaumer, N., and Ramos-Murguialday, A. (2018). Brain-machine interfaces for rehabilitation in stroke: a review. *Neurorehabilitation* 43, 77–97. doi: 10.3233/NRE-172394

- [47]Lugoda, P.; Arm, R.; Wooler, A.; Barnes, L.; Butt, A.T.; Oliveira, C.; Shahidi, A.; Navaraj, W. HaptiYarn: Development of an Actuator Yarn That Can Transform Everyday Textiles Into Haptic Devices. *IEEE Trans. Haptics* 2024.
- [48]Marwati, A.; Dewi, O.C.; Wiguna, T.; Aisyah, A. Visual-sensory-based quiet room: A study of visual comfort, lighting, and safe space in reducing maladaptive behaviour and emotion for autistic users. *J. Access. Des. All* 2023, *13*, 69–93
- [49]Massie, T. H., and Salisbury, J. K. (1994). “The phantom haptic interface: a device for probing virtual objects,” in *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Vol. 55 (Citeseer),295–300
- [50]Meta 2021 Inside Reality Labs Research: Bringing Touch to the Virtual World. <https://about.fb.com/news/2021/11/reality-labs-haptic-gloves-research/>
- [51]Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Vallet, G. T., Ris, L., & Loureiro, I. S. (2022). Differences related to aging in sensorimotor knowledge: Investigation of perceptual strength and body object interaction. *Archives of gerontology and geriatrics*, *102*, 104715. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104715>
- [52]Mirzaei, M., Kán, P., & Kaufmann, H. (2021). Effects of Using Vibrotactile Feedback on Sound Localization by Deaf and Hard-of-Hearing People in Virtual Environments. *Electronics*, *10*(22), 2794. <https://doi.org/10.3390/electronics10222794>
- [53]Mitchell P, Parsons S, Leonard A: Using virtual environments for teaching social understanding to 6 adolescents with autistic spectrum disorders. *J Autism Dev Disord* 2007; *37*:589–600
- [54]Nierling, L., & Maia, M. (2020). Assistive Technologies: Social Barriers and Socio-Technical Pathways. *Societies*, *10*(2), 41. <https://doi.org/10.3390/soc10020041>
- [55]Orta Martinez, M., Nunez, C. M., Liao, T., Morimoto, T. K., & Okamura, A. M. (2020). Evolution and Analysis of Hapkit: An Open-Source Haptic Device for Educational Applications. *IEEE transactions on haptics*, *13*(2), 354–367. <https://doi.org/10.1109/TOH.2019.2948609>
- [56]Pacchierotti, C., Sinclair, S., Solazzi, M., Frisoli, A., Hayward, V., and Prattichizzo, D. (2017). Wearable haptic systems for the fingertip and the hand: taxonomy, review, and perspectives. *IEEE Trans. Haptics* *10*, 580–600. doi: 10.1109/TOH.2017.2689006

- [57] Pacheco-Barrios, K., Ortega-Márquez, J., & Fregni, F. (2024). Haptic Technology: Exploring Its Underexplored Clinical Applications-A Systematic Review. *Biomedicines*, *12*(12), 2802. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12122802>
- [58] Pang, M., Zhao, X., Lu, D., Dong, Y., Jiang, L., Li, J., & Ji, P. (2022). Preliminary User Evaluation of a New Dental Technology Virtual Simulation System: Development and Validation Study. *JMIR serious games*, *10*(3), e36079. <https://doi.org/10.2196/36079>
- [59] Peñeñory, V. M., Manresa-Yee, C., Riquelme, I., Collazos, C. A., & Fardoun, H. M. (2018). Scoping Review of Systems to Train Psychomotor Skills in Hearing Impaired Children. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *18*(8), 2546. <https://doi.org/10.3390/s18082546>
- [60] Poole, D., Poliakoff, E., Gowen, E., Couth, S., Champion, R. A., & Warren, P. A. (2017). Similarities in Autistic and Neurotypical Visual-Haptic Perception When Making Judgements About Conflicting Sensory Stimuli. *Multisensory research*, *30*(6), 509–536. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002551>
- [61] Qin, C., Song, A., Wei, L., & Zhao, Y. (2023). A multimodal domestic service robot interaction system for people with declined abilities to express themselves. *Intelligent service robotics*, 1–20. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11370-023-00466-6>
- [62] Ramos-Murguialday, A., Schürholz, M., Caggiano, V., Wildgruber, M., Caria, A., Hammer, E. M., Halder, S., & Birbaumer, N. (2012). Proprioceptive feedback and brain computer interface (BCI) based neuroprostheses. *PLoS one*, *7*(10), e47048. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047048>
- [63] Ramos-Murguialday, A., Schürholz, M., Caggiano, V., Wildgruber, M., Caria, A., Hammer, E. M., et al. (2012). Proprioceptive feedback and brain computer interface (BCI) based neuroprostheses. *PLoS ONE* *7*:e47048. doi: 10.1371/journal.pone.0047048
- [64] Schiatti L. *et al.*, "A Novel Wearable and Wireless Device to Investigate Perception in Interactive Scenarios," *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 3252-3255, doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9176167.
- [65] Sensory Substitution. 2024 <https://eagleman.com/science/sensory-substitution/>
- [66] Severgnini, F.M.; Martinez, J.S.; Tan, H.Z.; Reed, C.M. Snake Effect: A Novel Haptic Illusion. *IEEE Trans. Haptics* **2021**, *14*, 907–913

- [67]Shi, Y., & Shen, G. (2024). Haptic Sensing and Feedback Techniques toward Virtual Reality. *Research (Washington, D.C.)*, 7, 0333. <https://doi.org/10.34133/research.0333>
- [68]Shull, P. B., & Damian, D. D. (2015). Haptic wearables as sensory replacement, sensory augmentation and trainer - a review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12, 59. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0055-z>
- [69]Snapp-Childs, W., Shire, K., Hill, L., Mon-Williams, M., & Bingham, G. P. (2016). Training compliance control yields improved drawing in 5-11year old children with motor difficulties. *Human movement science*, 48, 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.05.006>
- [70]Sorgini, F.; Calì, R.; Carrozza, M.C.; Oddo, C.M. Haptic-assistive technologies for audition and vision sensory disabilities. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* 2018, 13, 394–421
- [71]Spencer B. S. (2006). Incorporating the sense of smell into patient and haptic surgical simulators. *IEEE transactions on information technology in biomedicine : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 10(1), 168–173. <https://doi.org/10.1109/titb.2005.856851>
- [72]Suggate, S.P.; Martzog, P. Screen-time influences children’s mental imagery performance. *Dev. Sci.* 2020, 23, e12978
- [73]Tech Briefs Electronic “Skin” Brings Sense of Touch and Pain to Prosthetic Hands. September 2020a <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/bio-medical/37624>
- [74]Tian, Y., Bai, H., Zhao, S., Fu, C. W., Yu, C., Qin, H., Wang, Q., & Heng, P. A. (2024). Kine-Appendage: Enhancing Freehand VR Interaction Through Transformations of Virtual Appendages. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 30(7), 3298–3313. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3230746>
- [75]Tseng, Y. T., Tsai, C. L., Wu, T. H., Chen, Y. W., & Lin, Y. H. (2022). Table Tennis, as a Method of Sensorimotor Training, Induces Haptic and Motor Gains in Children With a Probable Developmental Coordination Disorder. *Motor Control*, (20), 1-18. <https://doi.org/10.1123/mc.2021-0123>
- [76]Turolla, A., Daud Albasini, O. A., Oboe, R., Agostini, M., Tonin, P., Paolucci, S., Sandrini, G., Venneri, A., & Piron, L. (2013). Haptic-based neurorehabilitation in poststroke patients: a feasibility prospective multicentre trial for robotics hand rehabilitation. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2013, 895492. <https://doi.org/10.1155/2013/895492>

- [77]Valori, I., Carnevali, L., & Farroni, T. (2023). Agency and reward across development and in autism: A free-choice paradigm. *PloS one*, 18(4), e0284407. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284407>
- [78]Van Baelen, D., Ellerbroek, J., van Paassen, R., & Mulder, M. (2020). Design of a Haptic Feedback System for Flight Envelope Protection. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics: devoted to the technology of dynamics and control*, 43(4), 700-714. <https://doi.org/10.2514/1.G004596>
- [79]Vi, C.T.; Ablart, D.; Gatti, E.; Velasco, C.; Obrist, M. Not just seeing, but also feeling art: Mid-air haptic experiences integrated in a multisensory art exhibition. *Int. J.-Hum.-Comput. Stud.* **2017**, *108*, 1–14
- [80]Wang, M.; Reid, D. Virtual reality in pediatric neurorehabilitation: Attention deficit hyperactivity disorder, autism and cerebral palsy. *Neuroepidemiology* **2011**, *36*, 2–18
- [81]Waters, E.L.; Johnson, M.J. Motor Learning in Robot-Based Haptic Dyads: A Review. *IEEE Trans. Haptics* **2024**, 1–18
- [82]WeWALK Smart Cane. Available online: <https://wewalk.io/en>
- [83]Wójcik, M. Haptic technology—Potential for library services. *Libr. Hi Tech* 2019, *37*, 883–893.
- [84]Wolf, K., and Bäder, T. (2015). “Illusion of surface changes induced by tactile and visual touch feedback,” in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1355–1360. doi: 10.1145/2702613.2732703
- [85]Xydas, E. G., & Louca, L. S. (2008). *Upper Limb Assessment of People With Multiple Sclerosis With the Use of a Haptic Nine-Hole Peg-Board Test. Volume 2: Automotive Systems; Bioengineering and Biomedical Technology; Computational Mechanics; Controls; Dynamical Systems*. doi:10.1115/esda2008-59446
- [86]Yeh, S.-C.; Lee, S.-H.; Chan, R.-C.; Chen, S.; Rizzo, A. A virtual reality system integrated with robot-assisted haptics to simulate pinch-grip task: Motor ingredients for the assessment in chronic stroke. *Neurorehabilitation* 2014, *35*, 435–449
- [87]Yoon, H. U., Anil Kumar, N., & Hur, P. (2017). Synergistic Effects on the Elderly People's Motor Control by Wearable Skin-Stretch Device Combined with Haptic Joystick. *Frontiers in neurorobotics*, *11*, 31. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00031>

[88]Zhang, S., Fu, Q., Guo, S., & Fu, Y. (2018). Coordinative Motion-Based Bilateral Rehabilitation Training System with Exoskeleton and Haptic Devices for Biomedical Application. *Micromachines*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.3390/mi10010008>

[89]Zhu F., Sun W., Zhang C., Ricks R. BoomChaCha; Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems; San Jose, CA, USA. 7–12 May 2016; pp. 184–187.

