

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ: ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: << ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ
ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΑΘΛΗΤΙΚΟΣ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΗΣ >>**

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΕΡΑΚΗΣ Α.Μ 21683186

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΤΑΡΑΞΙΔΗΣ Α.Μ 20683111

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

**Δρ. ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ, Καθηγήτρια, Τμήμα Φυσικοθεραπείας,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΛΑΚΟΥΤΣΗΣ, MSc, Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Φυσικοθεραπείας,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

ΑΘΗΝΑ, 2024

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA: DEPARTMENT OF
PHYSIOTHERAPY**



**UNDERGRADUATE THESIS: “VALIDITY AND RELIABILITY OF
VIRTUAL REALITY DIGITAL TOOLS IN SPORTS
PHYSIOTHERAPY”**

STUDENTS:

NIKOS YERAKIS A.M 21683186

STATHIS TARAXEDES A.M 20683111

SUPERVISOR:

Dr. MARIA PAPANDREOU, Professor

ASSISTANT SUPERVISOR:

Dr. GEORGE PLAKOYTSIS, MSc, PhD Candidate, Physiotherapy Department,
University of West Attica

ATHENS, 2024

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ, Καθηγήτρια

2. ΚΡΕΚΟΥΚΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

3. ΜΟΥΤΖΟΥΡΗ ΜΑΡΙΑ, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι ΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ ΤΑΡΑΞΙΔΗΣ, με αριθμό μητρώου 21683186 και 20683111 φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Φυσικοθεραπείας, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μας».

Οι Δηλούντες:



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αθλητική φυσικοθεραπεία αποτελεί απαραίτητο πυλώνα στον τομέα του αθλητισμού, λειτουργώντας ως γέφυρα μεταξύ τραυματισμού και αποκατάστασης, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την αθλητική απόδοση. Η αθλητική αξιολόγηση είναι το πρώτο και βασικότερο συστατικό στην δημιουργία ενός πλάνου αποκατάστασης για έναν αθλητή. Από νεότερες μελέτες φαίνεται πως η διαδραστική τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να ωφελήσει την αξιολόγηση στην αθλητική φυσικοθεραπεία καθώς μπορεί να προσομοιώσει διάφορες ακουστικές και οπτικές πληροφορίες που μιμούνται σενάρια πραγματικής ζωής και αθλήματα. Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνήσει μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας εάν τα εργαλεία αξιολόγησης της επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας (VR) έχουν την απαραίτητη εγκυρότητα και αξιοπιστία έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια από τον αθλητικό φυσικοθεραπευτή.

Σύμφωνα με τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν η επαυξημένη εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιώντας παιχνίδια ή ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο αποτελεί μια έγκυρη και αξιόπιστη διαδικασία αξιολόγησης των μετρήσεων που λαμβάνονται κατά την αθλητική φυσικοθεραπεία. Ειδικότερα, μελετήθηκαν κάποια από τα πιο διαδεδομένα ψηφιακά εργαλεία εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούνται από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές και περιεγράφηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και η εφαρμογή τους ως προς τη λήψη πληροφοριών σε διάφορες μεθοδολογικές διαδικασίες. Συνολικά τρία εργαλεία VR επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση: 1) Το NINTENDO Wii Fit, 2) Το XBOX ή MICROSOFT KINECT και 3) το σύστημα TRAZER. Στη συνέχεια, δόθηκαν σχετικές πληροφορίες μέσα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικές με την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των εργαλείων αυτών σε αθλητικό και γενικό πληθυσμό. Εν κατακλείδι, μέσα από τα άρθρα που επιλέχθηκαν το Kinect και το Nintendo Wii fit φάνηκαν να έχουν την καλύτερη εγκυρότητα και αξιοπιστία ενώ για το Trazer οι πληροφορίες δεν ήταν τόσο ακριβείς.

Λέξεις – Κλειδιά : αθλητική φυσικοθεραπεία, εγκυρότητα, αξιοπιστία, εικονική πραγματικότητα.

ABSTRACT

Sports physiotherapy is an essential pillar in the field of athletics, acting as a bridge between injury and recovery while simultaneously enhancing athletic performance. Sports assessment is the first and most fundamental component in creating a rehabilitation plan for an athlete. Recent studies suggest that the interactive technology of virtual reality can benefit assessment in sports physiotherapy as it can simulate various auditory and visual information that mimic real-life scenarios and sports. The aim of this paper is to investigate through a review of the literature whether augmented virtual reality (VR) assessment tools have the necessary validity and reliability so that they can be used safely by the sports physiotherapist.

According to the studies included, augmented virtual reality using games or real-time feedback constitutes a valid and reliable assessment process for the measurements taken during sports physiotherapy. Specifically, some of the most widespread virtual reality tools used by sports physiotherapists were studied, and their technical characteristics and applications in obtaining information in various methodological processes were described. A total of three VR tools were selected for further investigation: 1) NINTENDO Wii Fit, 2) XBOX or MICROSOFT KINECT, and 3) the TRAZER system. Subsequently, relevant information was provided from the literature review regarding the validity and reliability of these tools in both athletic and general populations. In conclusion, through the selected articles, Kinect and Nintendo Wii Fit were found to have the best validity and reliability, while information on Trazer was not as precise.

Keywords: sports physiotherapy, validity, reliability, virtual reality.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές οι οποίοι μας καθοδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας δίνοντάς μας χρήσιμες συμβουλές και διαθέτοντας το χρόνο τους προκειμένου να τεθεί εις πέρας αυτό το έργο.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. Η ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ VIRTUAL REALITY	12
2.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ VIRTUAL REALITY	12
2.2. ΤΟ VR ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	15
3. ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	17
3.1. VR ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	17
3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ VR	19
3.3. NINTENDO Wii Fit	19
3.3.1. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ Wii ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ Η ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	23
3.4. KINECT	26
3.4.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ KINECT ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ Η ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	28
3.5. TRAZER	30
3.5.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ TRAZER ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ Η ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	31
4. ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	33
4.1. ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	33
4.1.1. ΤΥΠΟΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΕ ΕΡΕΥΝΕΣ	33
4.1.2. ΤΥΠΟΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΡΕΥΝΕΣ	33
4.1.3. ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΕΥΕΙ Η ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	33
4.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ : VR ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	34
4.2.1. KINECT	34
4.2.2. NINTENDO Wii	39
4.2.3. TRAZER	44
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	47
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	53

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

VR	Virtual Reality
3D	Three Dimensional
WBB	Wii Balance Board
3DMA	Three-dimensional motion analysisist
FPI	Foot Posture Index
BESS	Balance Error Scoring System
SEBT	Star Excursion Balance Test
COP	Centre of pressure

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Τα συστήματα VR	Σελίδα 12
Εικόνα 3.3.1	Το NINTENDO Wii Fit	Σελίδα 18
Εικόνα 3.3.2	Wii Remote και Nunchuk	Σελίδα 19
Εικόνα 3.4.1	Το Xbox Kinect	Σελίδα 26
Εικόνα 3.4.2	Οι θέσεις των αρθρώσεων που αναγνωρίζει το Kinect	Σελίδα 28
Εικόνα 3.5.1	Το σύστημα TRAZER	Σελίδα 32
Εικόνα 3.5.2	Ο ψηφιακός χώρος του TRAZER	Σελίδα 35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Διαφορές συστημάτων VR	Σελίδα 12
Πίνακας 3.3.1	Περιγραφή των παιχνιδιών φυσικής άσκησης Wii Fit	Σελίδα 20
Πίνακας 4.2.1	Αποτελέσματα ερευνών KINECT	Σελίδα 48
Πίνακας 4.2.2	Αποτελέσματα ερευνών Nintendo Wii Fit	Σελίδα 52
Πίνακας 4.2.3	Αποτελέσματα έρευνας TRAZER	Σελίδα 55

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επαυξημένη εικονική πραγματικότητα ή αλλιώς Virtual Reality (VR) ορίζεται ως η υπολογιστική προσομοίωση που επιτρέπει στον χρήστη να αλληλοεπιδρά με ένα τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον και επιτυγχάνεται με την χρήση διαφόρων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων όπως ψηφιακά κιάλια και γάντια ή χειριστήρια (Lowood, 2024). Η τρέχουσα τεχνολογία VR χρησιμοποιεί συχνά περιβάλλοντα πολλαπλών προβολών, μερικές φορές σε συνδυασμό με φυσικά περιβάλλοντα ή σκηνικά, για τη δημιουργία εικόνων, ήχων και άλλων αισθήσεων (όπως κραδασμούς) που προσομοιώνουν τη φυσική παρουσία ενός χρήστη σε ένα εικονικό ή φανταστικό περιβάλλον.

Για να είναι όσο πιο πετυχημένη γίνεται η <<εμβύθιση>> ενός χρήστη σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, είναι σημαντικό να απομονωθεί ο χρήστης (και οι αισθήσεις του από το πραγματικό κόσμο), επικαλύπτοντας τα ερεθίσματα του πραγματικού κόσμου με αντίστοιχα εικονικά, φτιαγμένα από το σύστημα της εικονικής πραγματικότητας. Η αξιοποίηση του VR στον τομέα της φυσικοθεραπείας έχει ξεκινήσει από τις αρχές του 1990 (Greenleaf, et al., 1997) και λαμβάνει προοδευτικά ολόένα και μεγαλύτερη έκταση στις μέρες μας. Υπάρχουν ενδείξεις από αρκετές μελέτες πως αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των επιστημόνων, καθώς δύναται αυτό να λειτουργήσει ως ένα μέσο αξιολόγησης, εκπαίδευσης και θεραπείας πληθυσμών.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν νεότερες έρευνες που ασχολούνται ενδελεχώς με την εφαρμογή των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας στην αθλητική φυσικοθεραπευτική αξιολόγηση. Με μία σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση μπορούν να εντοπιστούν πολλές παραλλαγές στην εφαρμογή των συστημάτων VR, διότι υπάρχουν ποικίλοι προσομοιωτές αθλημάτων ή λειτουργικών δοκιμασιών αλλά και διαφορές παραμέτρων προσαρμοζόμενες στην εκάστοτε αξιολόγηση. Επιπλέον, παρατηρείται η ύπαρξη ικανοποιητικής ποικιλίας ερευνών που εξετάζουν διάφορες καταστάσεις όπως η ανάλυση κίνησης, οι γνωστικές λειτουργίες (μετά από διάσειση για παράδειγμα), η ταχύτητα αντίδρασης, το επίπεδο δεξιοτήτων και πολλά άλλα. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο αθλητικός φυσικοθεραπευτής μπορεί να προσθέσει στα εργαλεία του ένα εργαλείο αξιολόγησης που αφορά κινητικοαισθητικές λειτουργίες, τη γνωστική συμπεριφορά, την ανάλυση κινητικών μοτίβων, την κινησιοφοβία (και άλλα) πριν ή/και μετά τον τραυματισμό (παρέχοντας την δυνατότητα προσομοίωσης των δυναμικών καταστάσεων που αφορούν το άθλημα), (Greenleaf, et al., 1997).

Έτσι, του δίνεται η δυνατότητα να πραγματοποιήσει έναν πιο ορθό και στοχευμένο κλινικό συλλογισμό για τη πορεία εξέλιξης του ασθενούς του. Κρίνεται, ακόμη, σκόπιμο να επισημανθεί πως παρά τις ποικίλες εφαρμογές του δεν απαιτεί εκτεταμένη εκπαίδευση και κατάρτιση προκειμένου να χρησιμοποιηθεί από τον φυσικοθεραπευτή. Για αυτό τον λόγο θέτει γερά θεμέλια για καθημερινή και εύκολη χρήση (Lowood, 2024).

Ωστόσο, ενώ έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή του VR στην αθλητική αξιολόγηση έχει παραμεληθεί σημαντικά από την βιβλιογραφία η διερεύνηση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων εργαλείων. Η εγκυρότητα αφορά το βαθμό με τον οποίο ένα εργαλείο μετρά τη παράμετρο την οποία είναι σχεδιασμένο να μετρήσει. Η αξιοπιστία, από την άλλη, εξετάζει τη συνέπεια και την επαναληψιμότητα των μετρήσεων που προκύπτουν από το εργαλείο (Lowood, 2024).

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνήσει μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας εάν τα εργαλεία αξιολόγησης της επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας (VR) έχουν την απαραίτητη εγκυρότητα και αξιοπιστία έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια από τον αθλητικό φυσικοθεραπευτή. Η χρήση των εργαλείων αυτών μπορεί να προσδώσει τη δυνατότητα να προσομοιώνονται λειτουργικές καταστάσεις που αφορούν το εκάστοτε άθλημα καθώς και τη πιθανότητα συμπόρευσης των βελτιώσεων σε αυτές τις πλατφόρμες, με πιθανή ταυτόχρονη βελτίωση των επιδόσεων στην αθλητική ζωή. Δημιουργούνται τα ερωτήματα όπως α) Τα εργαλεία αξιολόγησης VR μπορούν να παρέχουν πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση για την ανάλυση της κίνησης των αρθρώσεων, τον υπολογισμό γωνιών και της μυϊκής ενεργοποίησης; β) Τι βαθμό ευαισθησίας και ειδικότητας θα μπορούσαν να έχουν στις μετρήσεις που πραγματοποιούνται; Αυτά είναι κάποια από τα ερωτήματα που προτίθενται να απαντηθούν στη παρούσα μελέτη, η οποία αφορά μια σύγχρονη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

2. Η ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ: VIRTUAL REALITY

2.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ VIRTUAL REALITY

Η επαυξημένη εικονική πραγματικότητα ή αλλιώς virtual reality (VR) αφορά ένα εξαιρετικά διαδραστικό και <<εμβυθιστικό>> περιβάλλον το οποίο δημιουργείται από

υπολογιστή και προσδίδει την ικανότητα στο χρήστη να αλληλοεπιδράσει με αυτό. Το περιβάλλον το οποίο δημιουργεί το VR μπορεί να είναι ιδιαίτερα ρεαλιστικό δίνοντας την αίσθηση στον χρήστη ότι ζει πραγματικά μέσα σε αυτό καθώς, οπτικά, μπορούν να διακριθούν το βάθος, το ύψος και το πλάτος σε τρισδιάστατη μορφή (3D) και, επίσης, μπορεί να υπάρχει πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση μεταξύ του χρήστη και του (πλασματικού) περιβάλλοντός του (Lucena-Anton et al., 2022). Τα στοιχεία που διαθέτει, κατά βάση, η επαυξημένη εικονική πραγματικότητα είναι: ένας υπολογιστής, που επεξεργάζεται τα δεδομένα και αποδίδει την προσομοίωση, οι αισθητηριακές οθόνες, οι οποίες είναι φτιαγμένες για την απεικόνιση των δεδομένων (εικόνων, ήχων και διαφόρων άλλων εφέ) που φτιάχνει ο υπολογιστής για τον χρήστη (όπως το head mounted display, οι κάρτες επιτάχυνσης διεργασιών (πχ κάρτες γραφικών), ένα σύστημα παρακολούθησης της θέσης του χρήστη στο χώρο και, τέλος, input συσκευές, που μεταφέρουν τις κινήσεις του χρήστη μέσα στο περιβάλλον προσομοίωσης (Onyegolu, et al. 2011).

Τα συστήματα VR μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριες ομάδες ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο <<εμβυθίζονται>> τον χρήστη στο εικονικό περιβάλλον: IMMERSIVE(IVR), SEMI- IMMERSIVE VR(SIVR) και NON-IMMERSIVE VR(NIVR) (Εικόνα 2.1).

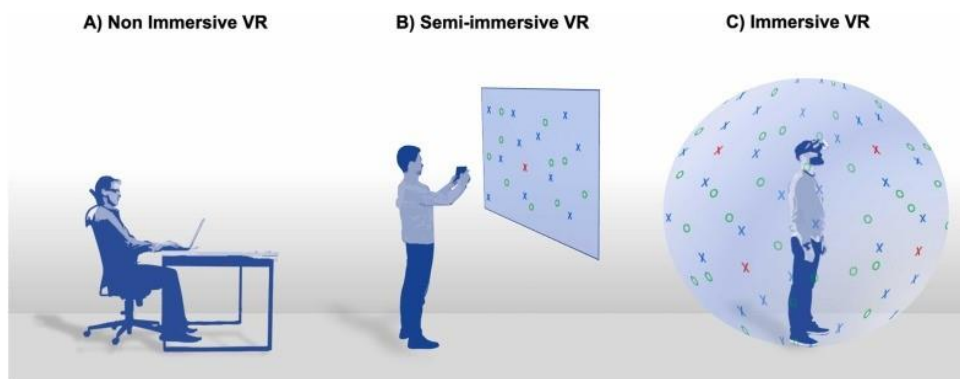
A) Στα συστήματα επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας-IVR, ο χρήστης είναι πλήρως <<εμβυθισμένος>>, δηλαδή αποκομμένος πλήρως από τον πραγματικό κόσμο. Έχει τη δυνατότητα να αλληλοεπιδρά μόνο με τον εικονικό κόσμο(Virtual Environment- VE) που παράγει το σύστημα. Το περιβάλλον που απεικονίζεται είναι τρισδιάστατο. Δημιουργεί, δηλαδή, την αίσθηση του ύψους του βάθους και του πλάτους, δίνοντας, έτσι, την αντίληψη στο χρήστη ότι <<ζει πραγματικά>>. Όλο το VE είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας ενός υπολογιστή. Τα δεδομένα που φτιάχνονται από το σύστημα αυτό μεταβιβάζονται στο υποκείμενο μέσω διαφόρων εξαρτημάτων όπως το head- mounted display(αναλύθηκε ανωτέρω). Το γεγονός ότι ο χρήστης της IVR δύναται να δει και να αλληλοεπιδράσει μόνο με το VE, αποτελεί το κύριο παράγοντα διαφοροποίησης του IVR με τα συστήματα SIVR και NIVR, όπως θα φανεί και παρακάτω (Brady et al., 2021; Shahrbanian et al., 2012).

B) Τα συστήματα SIVR, από την άλλη, διαθέτουν, κατά βάση, μια οθόνη που απεικονίζει ένα VE, με το οποίο ο χρήστης δύναται να έρθει σε επαφή και να αλληλοεπιδράσει μέσω κάποιων κονσόλων. Ονομάζονται, επίσης, και υβριδικά συστήματα, για το λόγο ότι <<απορροφάται>> ο χρήστης στο VE που απεικονίζεται στην οθόνη, αλλά ταυτόχρονα δεν

<<εμβυθίζεται>> σε αυτό, καθώς είναι έξω από το VE και το παρατηρεί μόνο από την οθόνη του υπολογιστή. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιεί διάφορα εξαρτήματα ή αισθητήρες, οι οποίοι καταγράφουν τις κινήσεις του και τις μεταφέρουν στην οθόνη, στην οποία συχνά παρουσιάζεται ένα avatar που αναπαριστά την κάθε του κίνηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος SIVR αποτελεί το CAVE. Ένα σύστημα που αποτελεί τις περισσότερες φορές ένα ολόκληρο δωμάτιο στο οποίο ο χρήστης απαιτείται να είναι εντός για να έρθει σε επαφή με το VE (Bamodu και Ye, 2013, Muhanna, 2015).

Γ) Τα συστήματα NIVR, όπως και τα SIVR, αφορούν την αλληλεπίδραση του υποκειμένου με μία οθόνη που μεταδίδει ένα διδιάστατο(2D) περιβάλλον, μέσω κονσόλας ή πληκτρολογίου, κυρίως. Παλαιότερες ονομασίες του συστήματος είναι οι: Desktop VR system, Fish tank αλλά και Windows on World system. Ο χρήστης αλληλοεπιδρά με το VE που φτιάχνει μία στερεοφωνική οθόνη, ενώ ο ίδιος φοράει ειδικά γυαλιά τα οποία, συνδυαστικά με την οθόνη θα του δώσουν τη 3D εικόνα (Bamodu και Ye, 2013, Shahrbanian et al., 2012).

Επομένως, το κυριότερο διαχωριστικό στοιχείο μεταξύ IVR και SIVR/NIVR είναι πως, μόνο στη πρώτη κατηγορία, όπως προαναφέρθηκε, ο χρήστης της τεχνολογίας αποκόβεται πλήρως αισθητικά από τον πραγματικό κόσμο βιώνοντας καταστάσεις και αναπαράγοντας συναισθήματα και αντιδράσεις αποκλειστικά από την VR τεχνολογία. Στα άλλα δύο είδη δεν παρατηρείται αυτό, παρά το ότι υπάρχει μερική έως μεγάλη εμβύθιση του ατόμου στο σύστημα και αίσθηση παρουσίας στο VE του. Ένας άλλος διαχωριστικός παράγοντας μεταξύ των συστημάτων είναι η χρηματική αξία τους. Τα IVR και SIVR απαιτούν πιο ακριβό εξοπλισμό προκειμένου να πράξουν το έργο τους συγκριτικά με τα NIVR που έχουν απλό και φθηνό εξοπλισμό (πίνακας 2.1).



Εικόνα 2.1: Τα συστήματα VR (Salatino et al., 2023).

Πίνακας 2.1: Διαφορές συστημάτων VR, (Mujber et al., 2004).

VR system	Non-immersive VR	Semi-immersive VR	Fully-immersive VR
Input devices	Mice, keyboards, joysticks and trackballs.	Joystick, space balls and data gloves.	Gloves and voice commands.
Output devices	Standard high-resolution monitor	Large screen monitor, large screen projector system, and multiple television projection systems	Head mounted display (HMD), CAVE
Resolution	High	High	Low–medium
Sense of immersion	Non-low	Medium–high	High
Interaction	Low	Medium	High
Price	Lowest cost VR system	Expensive	Very expensive

Πρέπει να επισημανθεί πως το VR δεν είναι μία καινούργια τεχνολογία. Η παρουσία του φαίνεται ακόμη από το 1960 απλά με διάφορες μορφές και ονομασίες όπως synthetic environment, artificial reality, cyber space και άλλες (Okechukwu & Udoka, 2011). Η εικονική πραγματικότητα φάνηκε ως χρήσιμο εργαλείο σε πολλούς κλάδους της επιστήμης όπως οι φυσικές επιστήμες, η μηχανολογία, η ιατρική και ακόμη έχει μεγάλη εφαρμογή στην διδασκαλία και μάθηση. Ως ένα τόσο διαδραστικό εργαλείο με τόσο μεγάλο εύρος εφαρμογής, το VR ήταν επόμενο να χρησιμοποιηθεί και στον κλάδο της αποκατάστασης.

2.2. VR ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στην φυσικοθεραπεία από την δεκαετία του 1990 (Greenleaf et al., 1997) και πλέον έχει τεράστιο εύρος εφαρμογής στην αποκατάσταση αφού χρησιμοποιείται σε διάφορους κλάδους της φυσικοθεραπείας και σε διάφορες παθολογικές καταστάσεις. Έχει χρησιμοποιηθεί στη φυσικοθεραπευτική αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικά επεισόδια, πχ. ισχαιμικά ή αιμορραγικά, προκειμένου να ευοδωθεί η διαδικασία της νευροπλαστικότητας και να αποκατασταθεί η λειτουργικότητα των κάτω άκρων σε υποξεία και χρόνια περιστατικά (Kiper et al., 2020), στο Parkinson, όπου, συνδυαστικά με τη φυσικοθεραπεία, υπάρχουν ενδείξεις, για βελτίωση στην ισορροπία, το περπάτημα, τη λειτουργία των χεριών και την

συνολική ψυχική υγεία (Pazzaglia et al., 2020), σε μυικές δυστροφίες Duchenne και Becker στα παιδιά, που υπάρχουν ενδείξεις για βελτιώσεις στη μυϊκή δύναμη, την ισορροπία και το συνολικό λειτουργικό επίπεδο των παιδιών χωρίς αρνητικές επιδράσεις (Kurt-Aydin et al., 2024), συνδυαστικά με φυσικοθεραπεία για βελτίωση της σωματικής ικανότητας ασθενών με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (Rutkowski et al., 2020) και γενικότερα στην μυοσκελετική φυσικοθεραπεία για την πρόληψη, αποκατάσταση τραυματισμών και βελτίωση της ιδιοδεκτικότητας.

Ειδικότερα, οι Guma et al., (2019) αναφέρουν ότι υπάρχουν ενδείξεις για αποτελεσματικότητα του VR στο χρόνιο πόνο του αυχένα και το σύνδρομο πρόσκρουσης των ώμων, δηλαδή την ανάπτυξη φλεγμονής στον υποακρωμιακό χώρο που προκαλείται από τον ερεθισμό των τενόντων του στροφικού πετάλου καθώς έρχονται σε επαφή με το ακρώμιο οδηγώντας σε συμπτώματα όπως πόνο, αδυναμία και περιορισμένη κινητικότητα των ώμων, ενώ η χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε συνδυασμό με ασκήσεις έχουν παρόμοια αποτελέσματα στη ρευματοειδή αρθρίτιδα, την αρθρίτιδα του γόνατος, την αστάθεια του αστραγάλου και την αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού. Οι Kim και Heo (2015) αναφέρουν, επίσης, ότι τα προγράμματα εικονικής πραγματικότητας που εφάρμοσαν βελτίωσαν τη στατική ισορροπία και τη δυναμική ισορροπία ατόμων με λειτουργική αστάθεια αστραγάλου. Πλέον το VR και οι διάφορες μορφές του τείνουν να εδραιωθούν στον χώρο της αποκατάστασης καθώς φαίνεται να είναι ιδιαίτερα εύχρηστα για τους φυσικοθεραπευτές και διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα.

Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως: α) δίνει την αίσθηση της παρουσίας στο χρήστη που είναι πολύ σημαντικό καθώς ο ίδιος αναπαράγει συναισθήματα και συμπεριφορές οι οποίες είναι αυθεντικές, β) λόγω της διαδραστικότητας, προκαλεί στον ασθενή μεγαλύτερη δυνατότητα προσήλωσης στον στόχο ενώ παρέχει μία συνεχόμενη ροή ανατροφοδότησης κάνοντας πιο αποτελεσματική την θεραπεία, γ) η επαναληψιμότητα που υπάρχει στα παιχνίδια εκτός του ότι εκπαιδεύουν τον ασθενή, τον βοηθούν επίσης να ξεχά την πάθηση του, δ) είναι μια μορφή κινήτρου για τον ασθενή κατά την θεραπεία καθώς αυτός αλληλοεπιδρά με ένα διαδραστικό παιχνίδι κάνοντας την όλη διαδικασία λιγότερο κουραστική και επίπονη (Lucena-Anton et al., 2022, Aran et al., 2017, Lee et al., 2012).

Από την άλλη πλευρά, επιβάλλεται να επισημανθούν κάποια από τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του VR, όπως: α) ο τρόπος χρήσης τους δεν είναι ευρέως διαδεδομένος στη φυσικοθεραπεία και ως εκ τούτου β) η χρήση του στην αποκατάσταση

καθίσταται περιορισμένη, γ) απαιτείται συνήθως ακριβός εξοπλισμός, ενώ δ) εμφανίζει και χαμηλή ευαισθησία του συστήματος προς τα άτομα με αναπηρίες (Aran et al., 2017, Glegg & Levas, 2018). Κρίνεται σκόπιμη, λοιπόν, η ανάπτυξη της βιβλιογραφίας γύρω από τη χρησιμότητα της επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας καθώς η ίδια αποτελεί μία τεχνολογία που έχει να προσφέρει πολλά ακόμα σε κάθε φάσμα της καθημερινότητας και στην υγεία, γενικότερα, αλλά και σε διάφορους τομείς της φυσικοθεραπείας, ειδικότερα.

3. ΨΗΦΙΑΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

3.1. VR ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως και στους υπόλοιπους κλάδους της φυσικοθεραπείας το VR έχει μεγάλη εφαρμογή και στην αθλητική αποκατάσταση. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια το VR χρησιμοποιείται από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές λόγω της δυνατότητας που έχει για την προσομοίωση πραγματικών αθλητικών δραστηριοτήτων και των υπόλοιπων πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω (Rutkowski, et al., 2020). Οι Kiefer et al., (2017) στην πρωτοποριακή έρευνά τους, μελέτησαν την επίδραση της νευρομυκικής εκπαίδευσης μέσω συστήματος εικονικής πραγματικότητας με βιοανάδραση σε πληθυσμό ποδοσφαιριστών.

Σκοπός τους ήταν οι αθλητές να αφομοιώσουν τα σωστά κινητικά πρότυπα των κάτω άκρων προκειμένου να αποφευχθεί ο τραυματισμός του προσθίου χιαστού τους, κατά τη διάρκεια της προπόνησης. Αυτό το VR σύστημα παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές των κινητικών προτύπων που προκαλούνται από την εκπαίδευση. Έπειτα, λοιπόν, από εξάμηνη εκπαίδευση των αθλητών στα σωστά κινητικά πρότυπα, παρατηρήθηκε ελάττωση στην έσω στροφή του ισχίου(η αυξημένη έσω στροφή του ισχίου θεωρείται επιβαρυντικός παράγοντας για την ακεραιότητα του προσθίου χιαστού) σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε (Howard, 2017).

Επομένως, γίνεται διακριτή η ικανότητα της επαυξημένης τεχνολογίας όχι μόνο να αξιολογεί και να αναλύει κινητικά πρότυπα και γωνίες των αρθρώσεων, μα και να αποτελεί ένα μέσο προπόνησης των αθλητών με στόχο τη πρόληψη τραυματισμών μα και τη βελτίωση της ολικής τους απόδοσης στο σπορ. Επιτρέπει την προπόνηση τους ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών, δημιουργώντας ένα ψηφιακό περιβάλλον ελεγχόμενο και με δυνατότητα

τροποποίησης ώστε να ανταποκρίνεται στο άθλημα και τη δυσκολία που αντιπροσωπεύει τις ικανότητες του εκάστοτε χρήστη (Cipresso, et al., 2018).

Παράλληλα μπορεί να διαδραματιστεί ένα κλίμα ανταγωνισμού μέσα στο παιχνίδι μεταξύ του χρήστη και άλλων χρηστών (πραγματικών ή εικονικών-*avatar*). Με αυτό το ανταγωνιστικό κλίμα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο αθλητής δημιουργεί κίνητρο, που λειτουργεί θετικά για τη διεκπεραίωση της εκπαίδευσής του (Neumann D et al., 2018; Lee et al., 2012). Η δυνατότητα αξιοποίησης των εργαλείων VR για την λήψη μετρήσεων στον αθλητισμό έχει ιδιαίτερη σημασία για διάφορους λόγους. Οι Polechoński et al., (2022), μελετώντας τεστ αντανάκλαστικών που πραγματοποιήθηκαν μέσω εικονικής πραγματικότητας σε αθλητές μεικτών πολεμικών τεχνών (ή άλλως MMA), αναφέρουν πως η αξιοπιστία αυτών των τεστ προσομοιάζει της αξιοπιστίας ανάλογων κλασσικών τεστ αντανάκλαστικών μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (Polechoński et al., 2022). Υπογραμμίζεται, επίσης, πως η τεχνολογία επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας μπορεί να γίνει μέσο ανάπτυξης διαφόρων εργαλείων, ικανών να κάνουν διάγνωση ψυχοκινητικών ικανοτήτων (Javaid και Haleem, 2020).

Αρχικά, είναι σημαντικό για τον φυσικοθεραπευτή να έχει στη διάθεσή του καινοτόμες και εύχρηστες τεχνολογίες με τις οποίες θα πραγματοποιεί τις μετρήσεις του. Είναι μείζονος σημασίας η ύπαρξη μίας τέτοιας τεχνολογίας να είναι και εύκολα διαχειρίσιμη από τον επαγγελματία υγείας, όπως ειπώθηκε ανωτέρω, προκειμένου ο ίδιος να την εντάξει στα εργαλεία του φυσικοθεραπευτηρίου του και στη θεραπεία των ασθενών του. Ωστόσο, δεν πρέπει να αμεληθεί η σημασία του κόστους των μηχανημάτων. Τα περισσότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα και θεωρούνται μείζονος σημασίας για την λήψη μετρήσεων στον αθλητισμό, όπως για παράδειγμα το 3D MOTION ANALYSIS ή το σύστημα BIODEX εκτός του ότι απαιτούν εκτεταμένη εκπαίδευση και κατάρτιση, παράλληλα είναι ακριβά, πράγμα που καθιστά τέτοια εργαλεία μη ρεαλιστικά για καθημερινή χρήση από το ευρύ κοινό των αθλητικών φυσικοθεραπευτών (Hogg et al., 2021).

Επίσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ένα μεγάλο πλεονέκτημα των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας είναι πως μπορούν να προγραμματιστούν έτσι ώστε το εικονικό περιβάλλον που θα δημιουργούν να προσαρμόζεται ανάλογα στον αθλητή/χρήστη του συγκεκριμένου VR. Για παράδειγμα, οι Kimura et al. (2018) ανέπτυξαν ένα σύστημα VR εξειδικευμένο στο άθλημα του baseball, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να βιώσει της εμπειρία του χτυπήματος με το ρόπαλο μέσα σε εικονικό γήπεδο baseball.

Οι Tellez et al. (2023) περιγράφουν την ανάπτυξη ενός εργαλείου VR που, σε συνδυασμό με σύστημα ανατροφοδότησης, θα παρέχει πληροφορίες που αφορούν το άγχος/στρες του αθλητή αμερικανικού ράγκμπι όσο αυτός θα βρίσκεται μέσα στον εικονικό αγώνα. Η έρευνα των Lee et al. (2012) περιγράφει ένα παιχνίδι γκολφ στο οποίο οι παίκτες διέθεταιν πραγματικά μπαστούνια και βίωναν μέσω αυτών την αίσθηση της μπάλας, ενώ οι Kiefer et al. (2017) περιγράφουν ένα VR παιχνίδι που εμπεριέχει διάφορες αθλητικές δοκιμασίες που αφορούν το ποδόσφαιρο. Όλα τα ανωτέρω αποτελούν και παραδείγματα της κύριας χρήσης του VR. Συνεπώς, ένα σύστημα το οποίο έχει δείξει πως μπορεί να αξιολογεί και να λαμβάνει μετρήσεις μέσα από ένα ελεγχόμενο περιβάλλον και παράλληλα να προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό τις πραγματικές δυναμικές καταστάσεις του εκάστοτε αθλήματος, είναι ζωτικής σημασίας για τον αθλητικό φυσικοθεραπευτή και για τον αθλητή/ασθενή για τους λόγους που προαναφέρθηκαν.

Εφόσον λοιπόν το VR μπορεί να προσφέρει τέτοιες δυνατότητες αξιολόγησης και μέτρησης και ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται αρκετά στην αθλητική φυσικοθεραπεία δημιουργούνται τα εξής ερωτήματα: α) ποια είναι τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας τα οποία είναι διαδεδομένα μέχρι στιγμής και βρίσκονται σε χρήση στην αθλητική φυσικοθεραπεία; β) ποιες οι μετρήσεις και η αξιολόγηση που πραγματοποιούν στα διάφορα αθλήματα; γ) Πως λειτουργούν και λαμβάνουν τις εκάστοτε μετρήσεις;

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ VR

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν κάποια από τα πιο γνωστά ψηφιακά εργαλεία εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούνται από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές σήμερα και θα αναλυθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και η εφαρμογή τους από διάφορους ερευνητές στην λήψη μετρήσεων και στην αξιολόγηση. Συνολικά τρία εργαλεία VR επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση: 1) Το NINTENDO Wii Fit, 2) Το XBOX ή MICROSOFT KINECT και 3) το σύστημα TRAZER.

3.3. NINTENDO Wii Fit

Το NINTENDO Wii Fit είναι ένα διαδραστικό ηλεκτρονικό παιχνίδι που ανήκει στην κατηγορία των semi-immersive VR και κατασκευάστηκε το 2007 από την NINTENDO (Εικόνα 3.3.1). Το σύστημα Wii χρησιμοποιείται σήμερα στον χώρο της φυσικοθεραπείας και της αθλητικής αποκατάστασης κυρίως για την αξιολόγηση της ισορροπίας (SM Deans, 2011). Όσον αφορά τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, το Wii fit αποτελείται από λογισμικό το

οποίο συνδέεται σε οθόνη και παράλληλα επικοινωνεί με το κύριο εξάρτημα του παιχνιδιού, μία πλατφόρμα ισορροπίας εδάφους η οποία διαθέτει σύστημα που αναλύει την μεταφορά βάρους και τις κινήσεις του χρήστη (Clark et al., 2010). Αφού η πλατφόρμα Wii λάβει την κινητική πληροφορία μεταβιβάζει τις κινήσεις του χρήστη στο λογισμικό και τις ψηφιοποιεί με την μορφή άβαταρ το οποίο αναπαριστά κάθε κίνηση του χρήστη στην οθόνη όπου έχει συνδεθεί το σύστημα.



Εικόνα 3.3.1: Το NITENDO Wii Fit (wii fit, wikipedia// wii balance board)

Το Wii περιέχει στο λογισμικό του μία βιβλιοθήκη παιχνιδιών με ποικιλία δραστηριοτήτων που προάγουν τη φυσική κατάσταση, συμπεριλαμβανομένων ασκήσεων για ενίσχυση της δύναμης, της αερόβιας ικανότητας, της ισορροπίας και της συνολικής ευεξίας (Park & Lee, 2014). Τα παιχνίδια Wii Sports χρησιμεύουν ως εικονικές προσομοιώσεις διαφόρων αθλητικών δραστηριοτήτων, όπως πυγμαχία, κανό και πινγκ-πονγκ. Αυτά τα παιχνίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικό των προγραμμάτων θεραπείας, καθώς προάγουν τις αδρές κινήσεις, ενισχύουν την οπτική αντίληψη και βελτιώνουν τον έλεγχο της ισορροπίας (Anderson, et al., 2010). Από την άλλη πλευρά, τα βιντεοπαιχνίδια Wii Fit, σε συνδυασμό με το Wii Balance Board και το ασύρματο τηλεχειριστήριο γνωστό ως Wii Remote, επαναλαμβάνουν ρουτίνες άσκησης όπως γιόγκα, αερόβιες ασκήσεις, προπόνηση δύναμης και παιχνίδια που στοχεύουν στην ενίσχυση της ισορροπίας και της στάσης του σώματος (Nintendo.co.; Bateni, 2012). Και οι δύο αυτές επιλογές βιντεοπαιχνιδιών παρέχουν στους χρήστες συνεχή ανατροφοδότηση μέσω οπτικών και ακουστικών ενδείξεων (Chao, et al., 2015).

Τα εξαρτήματα της κονσόλας Wii περιλαμβάνουν το Wii Remote και το Nunchuk, και τα δύο είναι υπεύθυνα για τον εντοπισμό και τη διαχείριση των κινήσεων των άνω άκρων. Μέσω αυτών των συσκευών, οι παίκτες έχουν τη δυνατότητα να χειρίζονται αντικείμενα στην οθόνη, να στοχεύουν και να ασχολούνται με τον εικονικό κόσμο που παρουσιάζεται σε κάθε παιχνίδι (Εικόνα 3.3.2.). Χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους αισθητήρες επιτάχυνσης και κίνησης, το Wii Remote είναι σε θέση να ανιχνεύει αλλαγές στην κατεύθυνση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση σε τρεις διαστάσεις. Αυτή η προηγμένη τεχνολογία επιτρέπει στους χρήστες να συμμετέχουν ενεργά σε παιχνίδια ενώ ταυτόχρονα εμπλέκονται σε κινήσεις των άνω άκρων (Park & Park, 2016).

Οι κονσόλες Nintendo Wii διαθέτουν μια περιφερειακή πλατφόρμα γνωστή ως Wii Balance Board (WBB), η οποία έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την ισορροπία και τη σταθερότητα (Anderson, et al., 2010). Εξοπλισμένο με τέσσερις μονοαξονικούς κατακόρυφους μετατροπείς δυνάμεων που βρίσκονται στις γωνίες, το WBB συλλαμβάνει και μεταδίδει τη θέση και τις κατακόρυφες δυνάμεις του χρήστη μέσω των συντεταγμένων του κέντρου πίεσης (COP) (Bartlett, et al., 2014, Park & Lee, 2014).

Το WBB εξυπηρετεί διπλό σκοπό τόσο ως παιχνίδι για το Wii Fit όσο και ως ζυγαριά. Έχει την ικανότητα να διακρίνει την πίεση που ασκείται από τα δύο κάτω άκρα ξεχωριστά (Triplette, et al, 2017). Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του WBB είναι ότι όχι μόνο λειτουργεί ως εργαλείο για προπόνηση ισορροπίας, αλλά παρέχει επίσης μετρήσεις για το κέντρο της πίεσης, την ισορροπία και το βάρος (Reed-Jones, et al, 2012).



Εικόνα 3.3.2. Wii Remote και Nunchuk (Jalink, 2014)

Το πρόγραμμα Wii Fit περιλαμβάνει τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ασκήσεων: μουσική ενδυνάμωση, γιόγκα, αερόβιο και ισορροπία. Στην κατηγορία της αεροβικής,

υπάρχουν τρεις συγκεκριμένοι τύποι: hula hooping, step aerobic και τζόκινγκ. Το τμήμα των παιχνιδιών ισορροπίας αποτελείται από εννέα δραστηριότητες, όπως σλάλομ σκι, άλμα με σκι, κλίση στο τραπέζι, ποδόσφαιρο, φούσκα ισορροπίας, τεντωμένο σχοινί, τσουλήθρα πικουίνων, σλάλομ σνόουμπορντ και ζαζέν. Αυτά τα παιχνίδια απαιτούν από τους παίκτες να χρησιμοποιούν το κέντρο βάρους τους για τον έλεγχο του παιχνιδιού (Gioftsidou, et al, 2013). Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται μερικά από τα παιχνίδια που περιλαμβάνονται στο σύστημα Wii.

Πίνακας 3.3.1. Περιγραφή των παιχνιδιών φυσικής άσκησης Wii Fit
(τροποποιημένος από Agmon, et al, 2011)

Παιχνίδια ισορροπίας και αεροβικής άσκησης	Περιγραφή παιχνιδιών	Θεραπευτικοί στόχοι
1. Ski slalom	Οι συμμετέχοντες κάνουν ελιγμούς λυγίζοντας τα γόνατά τους και ανακατανέμοντας το βάρος τους καθώς πλοηγούνται στην πορεία. Τα κριτήρια αξιολόγησης για αυτή τη δραστηριότητα περιλαμβάνουν τόσο την ταχύτητα με την οποία οι συμμετέχοντες ολοκληρώνουν την πορεία όσο και την ικανότητά τους να κάνουν σκι με ακρίβεια μεταξύ των πόλων.	Στατική ισορροπία και κίνηση ολόκληρου του σώματος. Συντονισμός και προσοχή. Οπτική και ακουστική ανατροφοδότηση.
2.Soccer heading	Ο στόχος για τους συμμετέχοντες είναι να χτυπήσουν αποτελεσματικά τις εικονικές μπάλες ποδοσφαίρου που προβάλλονται προς το μέρος τους στην οθόνη της τηλεόρασης, απαιτώντας από αυτούς να προσαρμόσουν την ισορροπία και το κέντρο βάρους τους. Το σκορ καθορίζεται από τον αριθμό των επιτυχημένων χτυπημάτων της μπάλας και την ικανότητα να παραμείνει συγκεντρωμένος ο χρήστης και να αποφύγει τυχόν περισπασμούς.	Στατική ισορροπία. Συντονισμός και προσοχή. Οπτική και ακουστική ανατροφοδότηση.
3.Table tilt	Ο στόχος των συμμετεχόντων είναι να χειριστούν την πλατφόρμα μετατόπισης ρυθμίζοντας το κέντρο βάρους τους για να οδηγήσουν τις μπάλες στην τρύπα. Το σύστημα βαθμολόγησης βασίζεται στον αριθμό των σφαιρών που μπαίνουν	Στατική ισορροπία. Οπτική και ακουστική ανατροφοδότηση.

	με επιτυχία στην τρύπα.	
4.Step basic	Στην οθόνη της τηλεόρασης, οι συμμετέχοντες καθοδηγούνται σε μια σειρά ενεργειών που περιλαμβάνουν το ανέβασμα και το κατέβασμα στον πίνακα ισορροπίας προς διάφορες κατευθύνσεις (εμπρός/πίσω και πλάγια). Η βαθμολογία καθορίζεται από τον συνολικό αριθμό των βημάτων που εκτελούνται σε συγχρονισμό με τις οδηγίες.	Προθέρμανση. Μέτριας έντασης αερόβια άσκηση. Δυναμική ισορροπία. Συντονισμός και προσοχή. Οπτική και ακουστική ανατροφοδότηση.

3.3.1. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ Wii ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το Wii έχει μεγάλη εφαρμογή στην αξιολόγηση και λήψη μετρήσεων που αφορούν την ισορροπία τόσο σε απλό πληθυσμό όσο και σε αθλητές, καθώς η χρήση του έχει εξεταστεί ενδελεχώς από την βιβλιογραφία (Merchant-Borna et. Al 2017, SM Deans, 2011, Negus, et al., 2019). Ένα παράδειγμα της εφαρμογής του συστήματος Wii στην αξιολόγηση της ισορροπίας φαίνεται στην έρευνα Merchant-Borna (2017) όπου εξετάζεται η στατική ισορροπία μετά από διάσειση σε αθλητές που προέρχονταν από αθλήματα, όπως των πολεμικών τεχνών με μεγάλο βαθμό σωματικής επαφής. Σκοπός της έρευνας ήταν να εξετάσει την χρησιμότητα του Wii Fit στο να αξιολογήσει την σταθερότητα σε διάφορες στάσεις σε τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα μετά την διάσειση: την φάση αναφοράς, την τρίτη και την έβδομη ημέρα μετά την διάσειση και εν συνεχεία να αξιολογήσει την εγκυρότητα του εργαλείου συγκρίνοντάς το με την δοκιμασία σταθερότητας Balance Error Scoring System (BESS) και το εργαλείο αξιολόγησης γνωστικών λειτουργιών.

Συγκεκριμένα, στην έρευνα του Merchant-Borna, (2017), πήραν μέρος 19 αθλητές κολλεγίων, άνδρες και γυναίκες (9 και 10 αντίστοιχα) από 4 διαφορετικά αθλήματα: μπάσκετ, ποδόσφαιρο, ράγκμπι και χόκεϋ πάγου. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή αξιολογήθηκαν 4 στάσεις: ορθοστάτηση στα δύο πόδια, μονοποδική στήριξη, ορθοστασία στα δύο πόδια με κλειστά μάτια και μονοποδική με κλειστά μάτια. Το σύστημα συνδέθηκε σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το λογισμικό Wii υπολόγισε το κέντρο πίεσης της δύναμης που εφάρμοξε ο εκάστοτε αθλητής πάνω στην πλατφόρμα ισορροπίας με το μέλος που προσπαθούσε να ισορροπήσει (COP: CENTER OF PRESSURE), δηλαδή υπολόγιζε την

μεταφορά του βάρους και το που ασκούσε πίεση πάνω στην πλατφόρμα ο κάθε παίκτης. Τα δεδομένα που σύλλεξε το Wii παρουσιάστηκαν στην οθόνη με την μορφή συντεταγμένων ξεχωριστών για την κάθε στάση. Οι συντεταγμένες αυτές αφορούσαν την κατεύθυνση στην οποία μετακινούταν ο αθλητής κατά την εφαρμογή της κάθε στάσης και κατέγραφαν δύο κατευθύνσεις, την κίνηση σε μετωπιαίο και την κίνηση σε οβελιαίο επίπεδο. Από αυτά τα σύνολα συντεταγμένων, καθορίστηκαν οι ακόλουθες μεταβλητές αξιολόγησης για κάθε στάση: 1. ταχύτητα διαδρομής, δηλαδή την ταχύτητα και κατεύθυνση του κέντρου άσκησης της πίεσης, 2. πλάτος διαδρομής, δηλαδή την μέγιστη αλλαγή των συντεταγμένων για κάθε ένα από τα δύο επίπεδα ξεχωριστά (μετωπιαίο και οβελιαίο), 3. τυπική απόκλιση, δηλαδή την τυπική απόκλιση που είχε η πορεία του κέντρου άσκησης της πίεσης για κάθε έναν από τους δύο άξονες. Σε αυτό το σημείο οι ερευνητές επέλεξαν να περιορίσουν τις αναλύσεις των μέτρων έκβασης μόνο στην ορθοστασία με κλειστά μάτια για να διευκολύνουν τα τελικά πορίσματα.

Για το Wii καταγράφηκαν 7 διαφορετικές μεταβλητές για κάθε μία από τις χρονικές περιόδους μετά την διάσειση που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είχαν ως εξής: 3 από τις 7 μεταβλητές έδειξαν αύξηση (δηλαδή ελλείματα στην ισορροπία) στην ημέρα αναφοράς και στην τρίτη μέρα μετά την διάσειση. Η ταχύτητα και το πλάτος διαδρομής αποδείχθηκαν μεγαλύτερα την τρίτη μέρα μετά την διάσειση. Σύμφωνα με γνωστά δεδομένα για την διάσειση που αναφέρονται στην έρευνα, τα κινητικά συμπτώματα της διάσεισης που προκαλούν διαταραχές στην ισορροπία εμφανίζονται στην οξεία φάση μετά τον τραυματισμό (0-3 μέρες μετά) και στην συνέχεια μένουν ίδια και σταδιακά υποχωρούν (3+ μέρες μετά). Ως εκ τούτου οι ερευνητές περίμεναν να αξιοποιήσουν τις μεταβλητές για να αξιολογήσουν την επιδείνωση των συμπτωμάτων τις πρώτες τρεις μέρες και την βελτίωση μέχρι και την έβδομη, όπως και αποδείχθηκε. Με αυτόν τον τρόπο οι ερευνητές κατάλαβαν πως το σύστημα Wii Fit είναι χρήσιμο στο να αξιολογήσει τα ελλείματα στην ισορροπία μετά από διάσειση.

Σε άλλη έρευνα του Erik A. Wikstrom (2012) παρουσιάζεται επίσης η εφαρμογή του Wii Fit στην λήψη μετρήσεων για την αξιολόγηση της ισορροπίας σε διάφορες δυναμικές καταστάσεις. Στόχος του ερευνητή ήταν να πραγματοποιήσει μετρήσεις πάνω στην ικανότητα ισορροπίας των εθελοντών χρησιμοποιώντας το σύστημα wii και στην συνέχεια να αξιολογήσει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους. Στην έρευνα πήραν μέρος 45 υγιείς εθελοντές, όχι αθλητές, ηλικίας 18-57 ετών με καλή φυσική κατάσταση. Όσον αφορά το

κομμάτι της έρευνας που είχε να κάνει με την λήψη μετρήσεων έγιναν οι εξής διαδικασίες: Εξετάστηκαν δύο λειτουργικές δοκιμασίες πάνω στην πλατφόρμα ισορροπίας του Wii, η μονοποδική ισορροπία και το Star Excursion Balance Test και μετέπειτα εξετάστηκαν οι δραστηριότητες ισορροπίας του Wii (wii balance activities) για να εξεταστούν και αυτές ως εργαλείο αξιολόγησης ισορροπίας. Για την δοκιμασία της στατικής ισορροπίας διαμέσου μονοποδικής στήριξης πραγματοποιήθηκαν δύο προσπάθειες των 30 δευτερολέπτων.

Οι μεταβλητές που λήφθηκαν προς αξιολόγηση ήταν η ταλάντευση σε μετωπιαίο και οβελιαίο επίπεδο. Για το Star Excursion Balance Test οι εθελοντές έπρεπε να πραγματοποιήσουν 2 επαναλήψεις σε κάθε κατεύθυνση, την πρόσθια, την οπίσθια έξω και την οπίσθια έσω. Οι μεταβλητές αξιολόγησης για το Star Excursion Balance Test ήταν η μέγιστη απόσταση που έφτασε το πόδι του εκάστοτε εθελοντή σε κάθε μία από τις κατευθύνσεις. Από τις wii balance activities ολοκληρώθηκαν 7 δραστηριότητες (βαθιά αναπνοή, δέντρο, όρθιο γόνατο, φοίνικας, έκταση με ένα πόδι, συστροφή ενός ποδιού, πλάγια ανύψωση ποδιού) δύο φορές ανά άκρο. Οι μεταβλητές αξιολόγησης για τις δραστηριότητες ισορροπίας wii ήταν οι μετρήσεις του συστήματος η αλλιώς wii balance scores που λαμβάνονται και φαίνονται από το σύστημα. Οι μετρήσεις στην συνέχεια αξιοποιήθηκαν από τον ερευνητή για να εξεταστεί η εγκυρότητα και αξιοπιστία τους. Κύρια διαφορά της έρευνας του Wikstrom (2012) από την έρευνα της Merchant-Borna (2017) είναι η επιλογή απλού πληθυσμού και όχι αθλητών. Επίσης οι αθλητές στην έρευνα της Merchant-Borna (2017) δεν ήταν υγιής πληθυσμός καθώς αναφέρουν συμπτώματα διάσεισης. -σε αυτό το σημείο της έρευνας το ενδιαφέρον επικεντρώνεται περισσότερο στο τρόπο με τον οποίο αξιολογούνται οι δυναμικές καταστάσεις που σχετίζονται με την αθλητική αξιολόγηση και για αυτό τον λόγο οι παραπάνω διαφορές δεν στερούν από την αξιοπιστία της έρευνας Wikstrom σύμφωνα με τις πληροφορίες που θέλαμε να λάβουμε.

Σε αυτό το σημείο λοιπόν, μέσα από τις δύο έρευνες φαίνεται πως το σύστημα wii fit είναι ένα ιδιαίτερα εύχρηστο εργαλείο για την αξιολόγηση της ισορροπίας σε πληθυσμό, που δεν αφορούσε αθλητές, αλλά και φυσικά αθλητές καθώς μπορεί να παρέχει πληροφορίες για διάφορες κινητικές παραμέτρους κατά τις δοκιμασίες ισορροπίας όπως η ταλάντευση και η μεταφορά του βάρους. Συνεπώς, το Wii φαίνεται να πληροί τις προϋποθέσεις ενός κατάλληλου εργαλείου αξιολόγησης στην αθλητική φυσικοθεραπεία.

3.4. KINECT

Το Microsoft KINECT ή XBOX KINECT (Εικόνα 3.4.1.) είναι ένα σύστημα καταγραφής της κίνησης ή αλλιώς Motion Capture που αποτελείται από μία σειρά συσκευών εισόδου ανίχνευσης κίνησης οι οποίες παράχθηκαν πρώτη φορά για την τοποθέτησή τους στην παιχνιδιομηχανή XBOX. Το KINECT χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο με τη μορφή semi-immersive VR αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και ως immersive VR αν επιλεγθεί η χρήση των ψηφιακών κιαλιών-VR HEADSET. Οι συσκευές KINECT αποτελούνται από διάφορα εξαρτήματα, όπως μια έγχρωμη κάμερα RGB, έναν πομπό υπέρυθρων IR, έναν αισθητήρα βάθους και ένα μικρόφωνο πολλαπλών συχνοτήτων που μπορεί να αναγνωρίσει φωνητικές εντολές. Αυτά τα στοιχεία συνεργάζονται για τη λήψη τρισδιάστατων (3D) εικόνων καταγράφοντας τις κινήσεις και τις θέσεις (x, y, z) των αντικειμένων, επιτρέποντας την παρακολούθηση των θέσεων των αρθρώσεων σε πραγματικό χρόνο.

Περιέχει επίσης μικρόφωνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση ομιλίας και φωνητικό έλεγχο. Το σύστημα KINECT ανιχνεύει την κίνηση του χρήστη και την αντικατοπτρίζει με την μορφή avatar σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη που είναι συνδεδεμένο. Λόγω των υψηλών τεχνολογικών του προδιαγραφών και τους ανιχνευτές κίνησης το Microsoft KINECT είναι ένα από τα ψηφιακά εργαλεία εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούνται στην αθλητική φυσικοθεραπεία (Vernadakis, et al., 2014), με κύριο σκοπό την λήψη μετρήσεων για αξιολόγηση διαφόρων κινητικών παραμέτρων όπως: Η ανάλυση της στάσης, η ανάλυση της βάρδισης, ανάλυση σταθερότητας και άλλα (Clark et al., 2012, Mentiplay et al.,2013).



Εικόνα 3.4.1.: Το Xbox Kinect, (<https://www.youtube.com/watch?v=bydLSVVuaRM>)

Το Kinect είναι ένας τρισδιάστατος (3D) αισθητήρας αιχμής που έχει την ικανότητα να ανιχνεύει και να παρακολουθεί κάθε άρθρωση στο ανθρώπινο σώμα. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με την κονσόλα ή τον υπολογιστή τους χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό κινήσεων του σώματος, χειρονομιών και φωνητικών εντολών. Το Microsoft Kinect είναι μια οικονομικά αποδοτική συσκευή που χρησιμεύει ως υποκατάστατη μέθοδος για την ανάλυση της κίνησης.

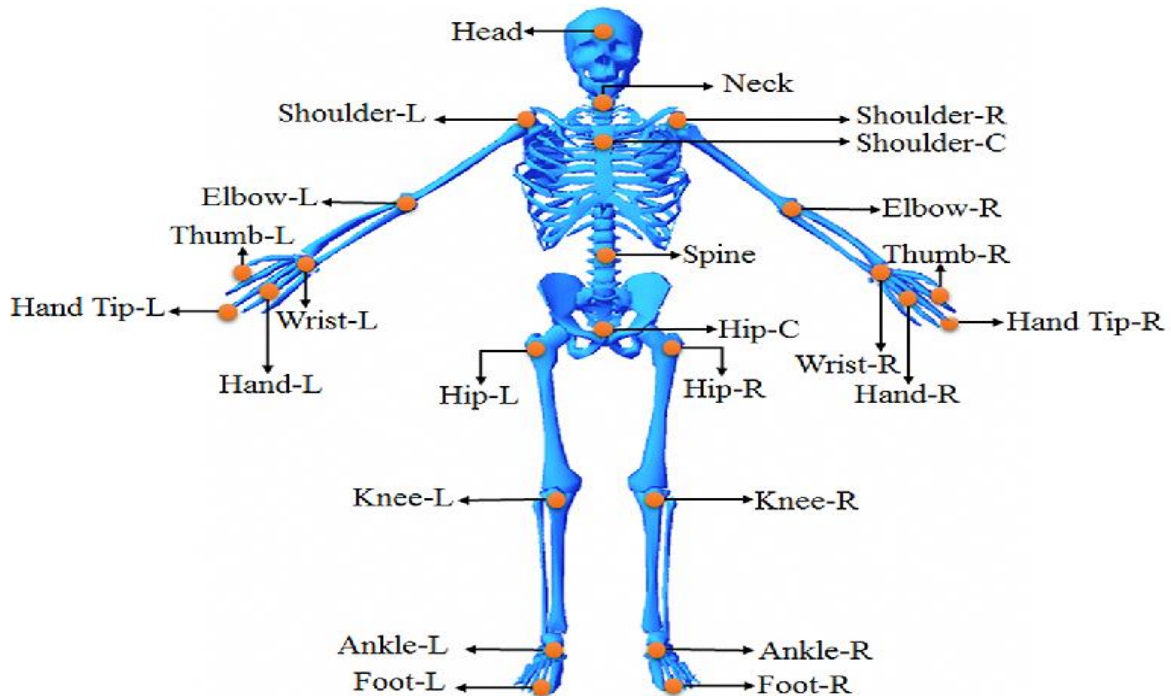
Για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και αξιολόγηση τρισδιάστατων δεδομένων και η απόκτηση θέσεων σκελετικών αρθρώσεων σε πραγματικό χρόνο, οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το κιτ ανάπτυξης λογισμικού για Windows, καθώς και τα OpenNI και OpenKinect, που υποστηρίζουν γλώσσες προγραμματισμού όπως C++, C# και Visual Basic. Αυτή η μηχανή ανάπτυξης παιχνιδιών πολλαπλών πλατφορμών επιτρέπει τη δημιουργία παιχνιδιών 3D και 2D, καθώς και προσομοιώσεων (Unity Technologies Blog, 2018).

Τα δεδομένα που παρέχονται από τον αισθητήρα βάθους περιλαμβάνουν τη θέση του σώματος, τη στάση, τη θέση κίνησης και τις τρισδιάστατες μετρήσεις του σώματος του ασθενούς. Επιπλέον, ο θεραπευτής μπορεί να αξιολογήσει τη στάση και την κίνηση του ασθενούς, να παρακολουθεί τα μοτίβα κίνησης και να εξάγει πολύτιμες πληροφορίες για την εμβιομηχανική του (Pohlmann, et al, 2016). Η εφαρμογή ενός αλγορίθμου αναγνώρισης προτύπων επιτρέπει την εξαγωγή ενός συνόλου ανατομικών στοιχείων στο ανθρώπινο σώμα, τα οποία αναγνωρίζονται ως αρθρώσεις μέσα στο σύστημα Kinect (Εικόνα 3.4.3).

Λειτουργώντας σε συχνότητα 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο, η κάμερα του KINECT τραβάει εικόνες με μέγιστη ανάλυση 640×480 pixel. Ωστόσο, είναι σε θέση να αναλύει έως και 1280×1024 pixel με χαμηλότερο ρυθμό καρέ (Mortazavi & Ghomsheh, 2018). Ο αισθητήρας βάθους, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει έναν προβολέα υπέρυθρων και έναν μονόχρωμο αισθητήρα εικόνας CMOS γνωστό ως Συμπληρωματικός Ημιαγωγός Οξειδίου Μετάλλου. Αυτός ο αισθητήρας συλλέγει τρισδιάστατα δεδομένα ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος (Hondori & Khademi, 2014).

Δουλεύοντας παράλληλα, ο προβολέας και η κάμερα δημιουργούν έναν τρισδιάστατο χάρτη βάθους που καθορίζει με ακρίβεια την απόσταση μεταξύ της κάμερας και ενός αντικειμένου (Mortazavi & Ghomsheh, 2018). Επιπλέον, το μικρόφωνο που είναι

ενσωματωμένο στον αισθητήρα διαθέτει 4 κανάλια που υποστηρίζουν ήχο 16 bit με ρυθμό δειγματοληψίας 16 kHz (Hondori & Khademi, 2014).



Εικόνα 3.4.2.: Οι θέσεις των αρθρώσεων που αναγνωρίζει το Kinect (Τροποποιημένη από Mortazavi & Ghomsheh, 2018).

3.4.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ KINECT ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το σύστημα KINECT έχει μελετηθεί ενδελεχώς για την εφαρμογή του στην ανάλυση και αξιολόγηση της κίνησης σε διάφορες δυναμικές ή στατικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τον αθλητισμό. Παράδειγμα της εφαρμογής του XBOX KINECT στην λήψη μετρήσεων φαίνεται μέσα από την έρευνα των Mentiplay et al., (2018) όπου σκοπός ήταν να εξεταστεί η εγκυρότητα και αξιοπιστία της εφαρμογής του KINECT στην αξιολόγηση της κινηματικής του κορμού, του ισχίου και του γόνατος σε μετωπιαίο και οβελιαίο επίπεδο κατά το μονοποδικό κάθισμα και κατά την δοκιμασία άλματος από πτώση (VERTICAL DROP JUMP). Στην έρευνα των Mentiplay, et al., (2018), που διήρκεσε 2 ημέρες, πήραν μέρος 30 υγιείς εθελοντές νεαρής ηλικίας (17-28 ετών), άνδρες και γυναίκες (15 και 15 αντίστοιχα) με

καλή φυσική κατάσταση. Η διαδικασία της εφαρμογής του συστήματος είχε ως εξής: Οι ερευνητές ζωγράφησαν με μαρκαδόρο πάνω στο δέρμα των εθελοντών τα σημεία που σκόπευαν να αναλύσουν στον κορμό, το δεξί ισχίο, το γόνατο και την ποδοκνημική. Η κάμερα KINECT τοποθετήθηκε σε τρίποδο σε ύψος 1.1 μέτρο και σε απόσταση 2.5 μέτρα από τον εθελοντή κατά την εκάστοτε δοκιμασία. Η κάμερα ανίχνευσης βάθους του KINECT αναγνώρισε τα σημεία που ζωγράφησαν οι ερευνητές πάνω στο δέρμα των εθελοντών και στην οθόνη τοποθετήθηκαν κέρσορες πάνω στα συγκεκριμένα ανατομικά σημεία, το στέρνο, το κέντρο της άρθρωσης του γόνατος, στις δύο πρόσθιες άνω λαγόνιες άκανθες και στο κέντρο της άρθρωσης της ποδοκνημικής.

Τα παραπάνω σημεία χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν μέσα στο σύστημα οι γωνίες του οβελιαίου επιπέδου για την κάμψη του κορμού, την κάμψη του ισχίου και την κάμψη του γόνατος και αντίστοιχα για τις γωνίες του μετωπιαίου επιπέδου μονάχα για την απαγωγή του γόνατος (βλαισότητα). Για την εφαρμογή του μονοποδικού καθίσματος πραγματοποιήθηκε κάθισμα με 60 μοίρες κάμψης στο γόνατο (μετρήθηκε με γωνιόμετρο) και με τα χέρια τοποθετημένα στην μέση. Για να θεωρούταν πετυχημένη η άσκηση θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν 5 σωστές επαναλήψεις. Για την δοκιμασία πτώσης και άλματος οι εθελοντές τοποθετήθηκαν πάνω σε κουτί ύψους 30 εκατοστών και με τα πόδια τους να έχουν απόσταση 35 εκατοστά μεταξύ τους. Έπειτα τους ζητήθηκε να πέσουν από το κουτί, να προσγειωθούν με τα δύο πόδια και να πραγματοποιήσουν επιτόπου άλμα με τα χέρια ψηλά. Το σύστημα KINECT σύλλεξε τα κινητικά δεδομένα και τα κατέγραψε σε αρχείο σε υπολογιστή με την χρήση προγράμματος LabVIEW, ειδική πλατφόρμα σχεδιασμού και ανάπτυξης οπτικής γλώσσας προγραμματισμού (visual programming language, VPL), (Mentiplay, et al., 2018).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την πρώτη και τη δεύτερη μέρα καταγράφηκαν σε μοίρες και φαίνονται στην εικόνα 3.3 όπου είναι καταγεγραμμένες και οι μετρήσεις των υπολοίπων εργαλείων. Οι μετρήσεις αξιοποιήθηκαν εν συνεχεία από τους ερευνητές για να συγκριθούν με τις μετρήσεις άλλου εργαλείου (3D Motion Analysis) έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία του εργαλείου. Μέχρι αυτό το σημείο της έρευνας οι ερευνητές έδειξαν ότι το σύστημα KINECT είναι ένα εύχρηστο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κινηματικής του κορμού και του κάτω άκρου σε διάφορες αθλητικές δοκιμασίες (Mentiplay, et al., 2018).

Επίσης, στην έρευνα των Huber et al., (2016) το σύστημα KINECT χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των γωνιών (γωνιομέτρηση) στις κινήσεις της κάμψης, απαγωγής και έξω στροφής στην άρθρωση του ώμου σε στατικές θέσεις. Σκοπός της έρευνας ήταν να γίνει κατανοητό αν το σύστημα KINECT είναι ικανό να μετρήσει με ακρίβεια τις γωνίες της άρθρωσης του ώμου και αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο αξιολόγησης για αυτό τον λόγο. Οι μετρήσεις συγκρίθηκαν με το 3D MOTION ANALYSIS και με απλό γωνιόμετρο. Στην έρευνα πήραν μέρος 10 υγιείς ενήλικες. Πραγματοποιήθηκαν οι εξής κινήσεις: κάμψη 90 μοιρών, πλήρης κάμψη, απαγωγή 90 μοιρών και έξω στροφή σε απαγωγή 0 μοιρών.

Το KINECT έλαβε τις λήψεις σε μετωπιαίο και οβελιαίο επίπεδο. Οι μεταβλητές αξιολόγησης ήταν οι μοίρες που κατέγραψε το KINECT. Το σύστημα KINECT κατέγραψε την κίνηση 20 αρθρώσεων. Οι θέσεις των αρθρώσεων του ώμου και του αγκώνα σε σχέση με τον κορμό χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των γωνιών κάμψης και απαγωγής του ώμου, ενώ οι θέσεις του αγκώνα και του χεριού σε σχέση με τον κορμό χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της γωνίας έξω στροφής. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια συγκριτικά με το 3D MOTION ANALYSIS και τις μετρήσεις του γωνιόμετρου για να εξεταστεί η αξιοπιστία του συστήματος. Και στις δύο παραπάνω έρευνες φαίνεται ότι το σύστημα KINECT είναι ιδιαίτερα εύχρηστο για την ανάλυση της κίνησης σε διάφορες στατικές και δυναμικές καταστάσεις (Huber, et al., 2016; Mentiplay, et al., 2018).

3.5. TRAZER

Το TRAZER (Εικόνα 3.5) είναι ένα ψηφιακό εργαλείο non-immersive VR σχεδιασμένο για αποκατάσταση και πρόληψη τραυματισμών, βελτίωση της απόδοσης και αξιολόγηση. Διαθέτει εξειδικευμένο σκληρό δίσκο και κάμερα ανίχνευσης υψηλής ισχύος. Διαθέτει λογισμικό που παρακολουθεί 25 σημεία στο σώμα για την επεξεργασία εκατομμυρίων σημείων σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα απαιτεί σύνδεση με τηλεόραση ή οθόνη οποιουδήποτε μεγέθους (μέσω του παρεχόμενου καλωδίου HDMI) και σύνδεση στο Internet. Το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί σε τοίχο ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κινητή μονάδα με κυλιόμενη βάση. Ο χρήστης επιλέγει μια Δραστηριότητα από τις εξής: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ, ΔΟΚΙΜΑΣΙΕΣ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ, ΠΡΟΠΟΝΗΣΕΙΣ ή ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ. Το TRAZER βάζει αυτόματα τον χρήστη σε έναν εικονικό κόσμο δημιουργώντας ένα avatar στην οθόνη που αναπαράγει κάθε κίνηση του. Πλέον το TRAZER έχει διαδεδομένη χρήση στον χώρο της

φυσικοθεραπείας και του αθλητισμού και χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως εργαλείο αξιολόγησης.



Εικόνα 3.5.1: Το σύστημα TRAZER, (<https://trazer.com/>)

3.5.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ TRAZER ΣΤΗΝ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στον χώρο της αθλητιατρικής επιστήμης τα προηγμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του TRAZER χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν διάφορες καταστάσεις, όπως η αθλητική απόδοση και η ανάλυση της κίνησης. Οι κυριότερες εφαρμογές του συστήματος TRAZER στην αξιολόγηση αφορούν την αθλητική διάσειση και την ανάλυση κινητικών παραμέτρων όπως η μέγιστη ταχύτητα και η επιτάχυνση (Hogg, et al., 2021). Παρά την τόσο διαδεδομένη χρήση του TRAZER στον χώρο του αθλητισμού και της αθλητικής αποκατάστασης, κατά την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη έλλειψη ερευνών που να εξετάζουν την εφαρμογή του συστήματος TRAZER. Μία έρευνα βρέθηκε που να εξετάζει τον τρόπο εφαρμογής και τη λήψη παραμέτρων μέσω του συστήματος TRAZER (Hogg, et al., 2021).

Σύμφωνα με την έρευνα Hogg (2021) επιδεικνύεται το πως χρησιμοποιείται το σύστημα TRAZER στην ανάλυση και αξιολόγηση της συνολικής ευκινησίας και ταχύτητας αντίδρασης. Στόχος της έρευνας ήταν να χρησιμοποιήσει το σύστημα TRAZER για να

αξιολογήσει τις παραμέτρους τις ευκινησίας και της ταχύτητας αντίδρασης και στην συνέχεια να εξετάσει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των μετρήσεων αυτών σε σύγκριση με το 3D MOTION ANALYSIS. Στην έρευνα πήραν μέρος 18 υγιείς νέοι αθλητές (11 γυναίκες και 7 άνδρες) ηλικίας 20-27 ετών. Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν αφορούσαν τυχαιοποιημένες κινήσεις σε οκτώ κατευθύνσεις για σαράντα συνολικά επαναλήψεις, όπως ορίζονται από το σύστημα TRAZER με σκοπό την αξιολόγηση της συνολικής ικανότητας ευκινησίας. Οι μεταβλητές αξιολόγησης ήταν η μέγιστη επιτάχυνση, η μέγιστη ταχύτητα και η συνολική απόσταση. Τα ανατομικά ορόσημα προσδιορίζονται με έναν τυχαιοποιημένο αλγόριθμο. Πριν από την εφαρμογή, κάθε συμμετέχων στέκεται στο κέντρο της περιοχής λήψης στραμμένος προς την οθόνη της τηλεόρασης TRAZER που πραγματοποιεί σύντομη βαθμονόμηση κατά την οποία η κάμερα αναγνωρίζει τον συμμετέχοντα. Μετά τη βαθμονόμηση, το TRAZER δημιουργεί προσομοίωση ενός γηπέδου. Αυτό ο χώρος που προσομοιώνεται μπορεί να έχει διάφορες παραλλαγές, όπως γήπεδο ποδοσφαίρου ή γήπεδο μπάσκετ αλλά στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε απλά ένας μικρός χώρος που έμοιαζε με γήπεδο (εικόνα 3.6) αλλά χωρίς κάποιο χαρακτηριστικό συγκεκριμένου αθλήματος. Παράλληλα στην οθόνη εμφανίζεται και το avatar που προσομοιώνει τον χρήστη και τις κινήσεις του. Η δοκιμασία ξεκινάει όταν ένας οπτικός στόχος εμφανίζεται τυχαία σε μία από τις οκτώ πιθανές θέσεις στην περίμετρο της περιοχής λήψης (εμπρός, πίσω, αριστερά, δεξιά, εμπρός αριστερή διαγώνια, προς τα εμπρός δεξιά διαγώνια, προς τα πίσω αριστερά διαγώνια ή προς τα πίσω δεξιά διαγώνια). Μόλις εμφανιστεί η ένδειξη, ο συμμετέχων μετακινείται όσο το δυνατόν γρηγορότερα στην τοποθεσία. Μόλις το TRAZER εντοπίσει τον συμμετέχοντα στη σωστή θέση, η ένδειξη εξαφανίζεται και ο συμμετέχων επιστρέφει στην αρχική θέση για να προετοιμαστεί για την επόμενη επανάληψη. Το TRAZER δεν εξάγει ακατέργαστα δεδομένα, αλλά παρέχει προκαθορισμένες μετρήσεις απόδοσης, όπως ο χρόνος αντίδρασης, η μέση/μέγιστη ταχύτητα, η μέση/μέγιστη επιτάχυνση, η επιβράδυνση και η συνολική απόσταση που διανύθηκε.

Το TRAZER λαμβάνει τις μετρήσεις του παρακολουθώντας τη «βάση της σπονδυλικής στήλης» η οποία εισάγεται ψηφιακά στο σύστημα και κατά αυτόν τον τρόπο εξάγει τις μετρήσεις των κινητικών παραμέτρων (Hogg, et al., 2021). Κατά αυτόν τον τρόπο το σύστημα TRAZER μπορεί και αξιολογεί διάφορες κινητικές καταστάσεις που σχετίζονται με τον αθλητισμό. Έχοντας υπόψιν τις παραπάνω τεχνολογικές ιδιαιτερότητές του, το σύστημα TRAZER φαίνεται να έχει όντως προοπτικές για να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο αξιολόγησης της αθλητικής απόδοσης.



Εικόνα 3.5.2: Ο ψηφιακός χώρος του TRAZER, (Hogg, 2021)

4.ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1. ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των μετρήσεων και των εργαλείων αξιολόγησης αποτελούν από τις πιο σημαντικές ενδείξεις μέτρησης και συλλογής δεδομένων της χρήσης ενός εργαλείου (Ahmed et al., 2021). Η έννοια εγκυρότητα αφορά την δυνατότητα που έχει ένα εργαλείο να πραγματοποιούνται σωστά οι μετρήσεις και να μετράει αυτό που υποτίθεται ότι μετράει. Η αξιοπιστία αναφέρεται στην επαναληψιμότητα των μετρήσεων της ορθής χρήσης ενός εργαλείου, δηλαδή εάν από το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να ληφθούν τα ίδια αποτελέσματα μετρήσεων χωρίς σημαντική απόκλιση και σφάλμα μεταξύ τους. Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία είναι μεν διαφορετικές έννοιες αλλά είναι στενά σχετιζόμενες. Η υψηλή αξιοπιστία είναι ένας από τους δείκτες που καθορίζουν ένα αποτέλεσμα εάν θα είναι έγκυρο (Ahmed et al., 2021).

Όπως και στους υπόλοιπους κλάδους των ιατρικών επιστημών έτσι και στην αθλητική φυσικοθεραπεία η εγκυρότητα και η αξιοπιστία είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση της ποιότητας μίας έρευνας και στην συλλογή δεδομένων. Η ύπαρξή τους είναι καίρια καθώς με αυτόν τον τρόπο υπάρχει τρόπος να αξιολογηθεί η χρησιμότητα των εργαλείων που χρησιμοποιούν οι αθλητικοί φυσικοθεραπευτές στην λήψη μετρήσεων και στην αξιολόγηση των ασθενών τους. Κατά επέκταση είναι σημαντικά μέσα που δύνανται να δείξουν με

σιγουριά πόσο χρήσιμα μπορούν να είναι τα ψηφιακά εργαλεία εικονικής πραγματικότητας στην λήψη μετρήσεων στην αθλητική φυσικοθεραπεία (Ahmed et al., 2021).

4.2. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ: VR ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

4.2.1. KINECT

Σύμφωνα με τον Mentiplay (2018), το Microsoft Xbox One Kinect™ (Kinect V2) περιέχει μια κάμερα βάθους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μη αυτόματη αναγνώριση ανατομικών θέσεων ορόσημων σε τρεις διαστάσεις ανεξάρτητα από την τυπική σκελετική παρακολούθηση και, ως εκ τούτου, έχει δυνατότητες για χαμηλού κόστους, χρονικά αποδοτική τρισδιάστατη ανάλυση κίνησης. Η έρευνα Mentiplay (2018) εξέτασε την αξιοπιστία μεταξύ των συνεδριών και την ταυτόχρονη εγκυρότητα του Kinect V2 για την αξιολόγηση της κινηματικής του μετωπιαίου και οβελιαίου επιπέδου για τον κορμό, το ισχίο και το γόνατο κατά τη διάρκεια single leg squat (SLS) και drop vertical jump (DVJ) συγκριτικά με το εργαλείο gold standard 3D motion analysis (3DMA). Τριάντα νέοι, υγιείς συμμετέχοντες (ηλικία = 23 ± 5 ετών, άνδρες/γυναίκες = 15/15) εκτέλεσαν ένα πρωτόκολλο SLS και DVJ που καταγράφηκε ταυτόχρονα από το Kinect V2 και το 3DMA κατά τη διάρκεια δύο συνεδριών, με διαφορά μίας εβδομάδας. Το Kinect V2 επέδειξε καλή έως εξαιρετική αξιοπιστία για όλες τις μεταβλητές SLS και DVJ ($ICC \geq 0,73$). Ο ενδοταξικός συντελεστής συσχέτισης κυμαινόταν από χαμηλή έως υψηλή ($ICC = 0,02$ έως $0,98$) κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας SLS, αν και η κάμψη του κορμού, του ισχίου και του γόνατος, η απαγωγή του γόνατος και η γωνία προβολής μετωπιαίου επιπέδου έδειξαν καλή έως εξαιρετική εγκυρότητα ($ICC \geq 0,80$). Στην ταυτόχρονη εγκυρότητα για τη δοκιμασία DVJ μόνο δύο μεταβλητές να υπερβαίνουν το $ICC = 0,75$ (κάμψη κορμού και ισχίου).

Οι Huber et al., (2016) ασχολήθηκαν με τον έλεγχο της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας της γωνιομέτρησης της άρθρωσης του ώμου από το Microsoft Kinect™ για εικονική αποκατάσταση. Η έρευνα χρησιμοποίησε 10 υγιείς ενήλικες για την διεξαγωγή του πειράματος. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε περιελάμβανε τέσσερις στατικές στάσεις, δύο δοκιμές για κάθε στάση, χρησιμοποιώντας: (1) το Kinect. (2) σύστημα τρισδιάστατης ανάλυσης κίνησης· και (3) κλινικό γωνιόμετρο. Όλες οι θέσεις καταγράφηκαν με το Kinect από την μετωπική προβολή. Οι δύο στάσεις κάμψης των ώμων αποτυπώθηκαν επίσης με το Kinect από την οβελιαία όψη. Η απόλυτη και σχετική αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου του Kinect για τη μέτρηση της γωνίας ώμου προσδιορίστηκε σε κάθε στάση με ενδοταξικούς

συντελεστές συσχέτισης (ICC), τυπικό και ελάχιστη ανιχνεύσιμη αλλαγή. Τα όρια συμφωνίας μεταξύ του Kinect και των τυπικών μεθόδων μέτρησης της γωνίας ώμου υπολογίστηκαν για τον προσδιορισμό της ταυτόχρονης εγκυρότητας. Αναφορικά με τα αποτελέσματα, ενώ το Kinect παρείχε υψηλή αξιοπιστία (ICC 0,76-0,98) για τη μέτρηση της γωνίας ώμων από την μετωπική προβολή οι μετρήσεις μεταξύ του Kinect και των δύο προτύπων μέτρησης ήταν μεγαλύτερες από $\pm 5^\circ$ σε όλες τις θέσεις και για τις δύο προβολές. Συνεπώς, πριν χρησιμοποιηθεί το Kinect για τη μέτρηση κινήσεων για εφαρμογές εικονικής αποκατάστασης, είναι επιτακτική ανάγκη να κατανοηθούν οι περιορισμοί του στην ακρίβεια της μέτρησης συγκεκριμένων κινήσεων των αρθρώσεων (Huber et al., 2016).

Σύμφωνα με τους Mentiplay et al. (2015), το αναθεωρημένο Xbox One Kinect, γνωστό και ως Microsoft Kinect V2 για Windows, περιλαμβάνει βελτιωμένο υλικό που μπορεί να βελτιώσει τη χρησιμότητά του ως εργαλείο αξιολόγησης βάδισης. Αυτή η μελέτη εξέτασε την ταυτόχρονη εγκυρότητα και τη διήμερη αξιοπιστία των χωροχρονικών και κινηματικών παραμέτρων βάδισης που εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας το αυτοματοποιημένο σύστημα ανίχνευσης σώματος Kinect V2 και ένα σύστημα κάμερας βασισμένο σε δείκτες ανάλυσης τρισδιάστατης κίνησης (3DMA) αναφοράς κριτηρίου. Τριάντα υγιείς ενήλικες πραγματοποίησαν δύο δοκιμαστικές συνεδρίες που αποτελούνταν από άνετες και γρήγορες δοκιμές βάδισης. Εξετάστηκαν χωροχρονικά μέτρα έκβασης που σχετίζονται με την ταχύτητα βάδισης, τη μεταβλητότητα ταχύτητας, το μήκος βήματος, το πλάτος και το χρόνο, την ταχύτητα ταλάντευσης του ποδιού και τη μετατόπιση της λεκάνης. Εξετάστηκαν κινηματικά μέτρα έκβασης, συμπεριλαμβανομένης της κάμψης του αστραγάλου, της κάμψης του γόνατος, της προσαγωγής και της κάμψης του ισχίου. Για να εκτιμηθεί η συμφωνία μεταξύ των συστημάτων Kinect και 3DMA, καθορίστηκαν τα γραφήματα Bland-Altman και ο συντελεστής συσχέτισης Pearson. Η αξιοπιστία αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας ενδοταξικούς συντελεστές συσχέτισης, το Cronbach's alpha και το τυπικό σφάλμα μέτρησης. Οι χωροχρονικές μετρήσεις είχαν πολύ καλή ($r \geq 0,75$) ταυτόχρονη εγκυρότητα, με εξαίρεση τη μέτρια εγκυρότητα για την ταλάντωση της έσω-πλάγιας λεκάνης ($r = 0,45-0,46$) και τη μεταβλητότητα της ταχύτητας βάδισης ($r = 0,73$). Αντίθετα, η κινηματική εγκυρότητα ήταν σταθερά χαμηλή έως μέτρια, με όλες τις συσχετίσεις μεταξύ των συστημάτων πολύ χαμηλές ($r < 0,50$). Στα μέτρα αυτά με αποδεκτή ισχύ, η αξιοπιστία ήταν παρόμοια μεταξύ των συστημάτων. Συμπερασματικά, ενώ το Kinect V2 body tracking μπορεί να μην λαμβάνει με ακρίβεια κινηματικά δεδομένα του κάτω μέρους του σώματος, δείχνει μεγάλες δυνατότητες ως εργαλείο για τη μέτρηση χωροχρονικών πτυχών της βάδισης (Mentiplay et al., 2015).

Τέλος, στην έρευνα των Mentiplay et al. (2013) ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει την αξιοπιστία και την εγκυρότητα του συστήματος KINECT στην ανάλυση της ποδικής καμάρας σε ορθοστασία ώστε να αναγνωρίζει λανθασμένα εμβιομηχανικά πρότυπα της ποδοκνημικής όπως ο πρηνισμός του πέλματος. Για την αξιολόγηση της εγκυρότητας και αξιοπιστίας οι μετρήσεις του KINECT συγκρίθηκαν με τον gold standard καταγραφέα κίνησης 3DMA καθώς και με οπτική αναλογική παρατήρηση με την χρήση του Foot Posture Index (FPI). Το δείγμα του πληθυσμού αποτελούνταν από 30 υγιείς ενήλικες άντρες. Το Spearman's rho(ρ) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας και της ταυτόχρονης εγκυρότητας του Kinect για την αξιολόγηση της στάσης του ποδιού και μια γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί η ικανότητα του Kinect να προβλέψει τη συνολική οπτική βαθμολογία FPI (Mentiplay et al., 2013). Το Kinect επέδειξε μέτρια έως καλή αξιοπιστία εντός του βαθμολογητή για τέσσερα FPI στοιχεία στάσης ποδιού ($\rho = 0,62$ έως $0,78$) και μέτρια έως καλή συσχέτιση με το σύστημα 3DMA για τέσσερα στοιχεία στάσης ποδιού ($\rho = 0,51$ έως $0,85$). Αντίθετα, η αξιοπιστία εντός του βαθμολογητή των οπτικών στοιχείων FPI ήταν κακή έως μέτρια ($\rho = 0,17$ έως $0,63$) και οι συσχετίσεις με τα συστήματα Kinect και 3DMA ήταν κακές (απόλυτο $\rho = 0,01$ έως $0,44$). Τα στοιχεία FPI Kinect με μέτρια έως καλή αξιοπιστία προέβλεπαν το 61% της διακύμανσης στη συνολική βαθμολογία FPI οπτικής απεικόνισης. Η πλειοψηφία των στοιχείων στάσης του ποδιού που προέκυψαν χρησιμοποιώντας το Kinect ήταν πιο αξιόπιστα από την απλή οπτική αξιολόγηση του FPI και ήταν έγκυρα σε σύγκριση με ένα σύστημα 3DMA. Τα μεμονωμένα στοιχεία στάσης ποδιού που καταγράφηκαν με χρήση του Kinect φάνηκε επίσης να προβλέπουν μέτριο βαθμό διακύμανσης στη συνολική βαθμολογία FPI-οπτικής απεικόνισης. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να υποστηρίξουν τις μελλοντικές δυνατότητες του Kinect έτσι ώστε να μπορεί να αξιολογεί με ακρίβεια τη τα λανθασμένα εμβιομηχανικά πρότυπα της ποδοκνημικής σε κλινικό περιβάλλον (Mentiplay et al., 2013).

Πίνακας 4.2.1.: Αποτελέσματα ερευνών ψηφιακού εργαλείου KINECT

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
Mentiplay (2018)	Ο έλεγχος της αξιοπιστίας και εγκυρότητας του Kinect V2 για την αξιολόγηση της κινηματικής του κορμού, του ισχίου και του γόνατος κατά τις δοκιμασίες single leg squat (SLS) και drop vertical jump (DVJ) σε μετωπιαίο και οβελιαίο επίπεδο συγκριτικά με το 3DMA	30 υγιείς συμμετέχοντες (23 ± 5 ετών, άνδρες/γυναίκες= 15/15) Εργαλεία μέτρησης: SLS και DVJ που καταγράφηκε ταυτόχρονα από το Kinect V2 και το 3DMA	Αξιοπιστία Kinect V2 καλή έως υψηλή για όλες τις μεταβλητές SLS και DVJ ($ICC \geq 0,73$). Ταυτόχρονη εγκυρότητα: Χαμηλή έως υψηλή ($ICC = 0,02$ έως $0,98$) κατά τη διάρκεια της άσκησης SLS, στις μεταβλητές: α) κάμψη κορμού β) κάμψη ισχίου και του γόνατος, γ) απαγωγή του γόνατος της γωνίας προβολής στο μετωπιαίο επίπεδο έδειξαν καλή εγκυρότητα ($ICC \geq 0,80$).
Huber et al., (2016)	Έλεγχος εγκυρότητας και αξιοπιστίας του KINECT στην γωνιομέτρηση της άρθρωσης του ώμου κατά την κάμψη και απαγωγή συγκριτικά με το 3DMA και αναλογικό γωνιόμετρο.	Δείγμα 10 υγιείς ενήλικες (22.1 ± 0.9 ετών, άνδρες/γυναίκες=6/4). Μετρήθηκαν σε μετωπιαίο και οβελιαίο επίπεδο κάμψη έως 90° , πλήρη κάμψη, απαγωγή έως 90° , έξω στροφή σε 0° . Οι μετρήσεις έγιναν ξεχωριστά για το KINECT, 3DMA, γωνιόμετρο. Η εγκυρότητα αξιολογήθηκε υπολογίζοντας τα	Kinect: υψηλή αξιοπιστία ($ICC 0,76-0,98$) για τη μέτρηση της γωνίας ώμων από την μετωπική προβολή. Για την εγκυρότητα τα όρια συμφωνίας κυμαίνονταν $\pm 5^\circ$ για όλες τις στάσεις.

		<p>όρια συμφωνίας μεταξύ του Kinect και των τυποποιημένων μεθόδων μέτρησης της γωνίας ώμου ενώ η αξιοπιστία intraclass correlation coefficients (ICCs)</p>	
Mentiplay et al. (2015)	<p>Εξέταση εγκυρότητας και αξιοπιστίας της αξιολόγησης των χωροχρονικών και κινηματικών παραμέτρων βάρδισης από Kinect V2 συγκριτικά με το 3DMA</p>	<p>Δείγμα: 30 υγιείς νέοι (ηλικία: 22,87±5,08 έτη, ύψος: 172,85±9,11 cm, μάζα: 68,67±9,15 kg, άνδρες. Πραγματοποιήθηκαν δύο συνεδρίες με διαφορά επτά ημερών (μέσος όρος: 7±2 ημέρες). Μέτρα έκβασης: ταχύτητα βάρδισης, μεταβλητότητα ταχύτητας, μήκος, πλάτος χρόνος βήματος, την ταχύτητα αιώρησης του ποδιού και μετατόπιση της λεκάνης, κάμψη αστραγάλου, κάμψη και προσαγωγή γόνατος και κάμψη ισχίου. Η αξιοπιστία και εγκυρότητα αξιολογήθηκαν με τη χρήση των συντελεστών συσχέτισης, το Cronbach alpha και του τυπικού σφάλματος μέτρησης.</p>	<p>Οι χωροχρονικές μετρήσεις είχαν σταθερά υψηλή ($r \geq 0,75$) ταυτόχρονη εγκυρότητα, οι μετρήσεις τη λεκάνης είχαν μέτρια εγκυρότητα ($r = 0,45-0,46$) η μέτρηση της μεταβλητότητας της ταχύτητας βάρδισης επίσης μέτρια εγκυρότητα ($r = 0,73$). Αντίθετα, η κινηματική εγκυρότητα ήταν σταθερά φτωχή έως μέτρια ($r < 0,50$).</p>
Mentiplay et al.	<p>Αξιολόγηση της αξιοπιστίας και</p>	<p>δείγμα 30 νεαρών, υγιών ανδρών</p>	<p>Το Kinect επέδειξε μέτρια έως καλή</p>

(2013)	εγκυρότητας του KINECT στην ανάλυση της εμβιομηχανικής ποδικής καμάρας σε ορθοστασία συγκριτικά με το 3DMA και το FPI	(ηλικία: $22,2 \pm 3,2$ έτη, ύψος: $177,4 \pm 5,0$ cm, μάζα: $74,4 \pm 4,7$ kg, μήκος ποδιού - δεξί άκρο: $92,9 \pm 3,9$ cm, πλάτος γονάτου - δεξί άκρο: $9,9 \pm 0,7$ cm, πλάτος αστραγάλου - δεξί άκρο: $7,5 \pm 0,3$ cm) χωρίς τραυματισμό των κάτω άκρων. δύο συνεδρίες δοκιμών, με διαφορά επτά ημερών (διάμεση τιμή = 7, IQR = 5 έως 9).	αξιοπιστία εντός του βαθμολογητή για τέσσερα FPI στοιχεία στάσης ποδιών ($\rho = 0,62$ έως $0,78$) και μέτρια έως καλή συσχέτιση με το σύστημα 3DMA για τέσσερα στοιχεία στάσης ποδιών ($\rho = 0,51$ έως $0,85$). Η αξιοπιστία εντός του βαθμολογητή των οπτικών στοιχείων FPI ήταν κακή έως μέτρια ($\rho = 0,17$ έως $0,63$) και οι συσχετίσεις με τα συστήματα Kinect και 3DMA ήταν κακές (απόλυτο $\rho = 0,01$ έως $0,44$).
--------	---	--	--

4.2.2. NINTENDO Wii

Ο Merchant-Borna (2017), μέσω των πρόσφατων αλλαγών στις κατευθυντήριες γραμμές μετά τη διάσειση δείχνουν ότι η αξιολόγηση της σταθερότητας της στάσης του σώματος μπορεί να αυξήσει τις παραδοσιακές νευροδιαγνωστικές δοκιμές κατά τη λήψη αποφάσεων επιστροφής στη συμμετοχή. Το σύστημα βαθμολόγησης σφαλμάτων ισορροπίας Balance Error Scoring System (BESS) έχει προταθεί ως ένα μέτρο αξιολόγησης. Ένα νέο, διαθέσιμο πρόγραμμα λογισμικού που συνοδεύει το σύστημα Nintendo Wii Balance Board (WBB) έχει αναπτυχθεί πρόσφατα, αλλά δεν έχει δοκιμαστεί σε ασθενείς με διάσειση. Στην έρευνα Merchant-Borna (2017), Στόχος ήταν η αξιολόγηση της χρήσης της WBB για την αξιολόγηση της ορθοστατικής σταθερότητας σε 3 χρονικά σημεία (ημέρα τραυματισμού, τρεις και επτά ημέρες μετά τη διάσειση) και για την αξιολόγηση της ταυτόχρονης και συγκλίνουσας εγκυρότητας της WBB με άλλα παραδοσιακά μέτρα (BESS και Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Test [ImPACT] battery) για την αξιολόγηση της αποκατάστασης από διάσειση. Οι συμμετέχοντες ήταν 19 μαθητές-αθλητές της Εθνικής Κολεγιακής Αθλητικής Ένωσης Division I και III που συμμετείχαν σε αθλήματα επαφής (ηλικία = $19,2 \pm 1,2$ έτη, ύψος = $177,7 \pm 8,0$ cm, μάζα = $75,3 \pm 16,6$ kg, χρόνος από την

έναρξη έως την ημέρα 3 μετά τη διάσειση = $27,1 \pm 36,6$ εβδομάδες) και υπέστησαν διάσειση. Αξιολογήθηκε η ισορροπία στη μονοποδική αλλά και διποδική στήριξη, τόσο για το BESS όσο και για το WBB, εστιάζοντας στη διποδική στάση με κλειστά μάτια για το WBB και χρησιμοποιήθηκε το ImPACT για να αξιολογηθεί η νευρογνωστική λειτουργία σε 3 χρονικά σημεία. Χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τον χαρακτηρισμό του δείγματος. Οι μέσες διαφορές και οι συντελεστές συσχέτισης κατάταξης Spearman χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των διαφορών εντός και μεταξύ των μετρήσεων στα 3 χρονικά σημεία. Η WBB κατέδειξε μέσες μεταβολές μεταξύ της αρχικής τιμής και της ημέρας 3 μετά τη διάσειση και μεταξύ των ημερών 3 και 7 μετά τη διάσειση. Συσχετίστηκε με το BESS και το ImPACT για διάφορα μέτρα και εντόπισε 2 περιπτώσεις μη φυσιολογικής ισορροπίας μετά από διάσειση που δεν θα είχαν εντοπιστεί μέσω του BESS. Συμπερασματικά, το WBB μπορεί να είναι μια εναλλακτική λύση για την αξιολόγηση της σταθερότητας της στάσης του σώματος σε μαθητές-αθλητές με διάσειση και μπορεί να παρέχει πρόσθετες πληροφορίες σε αυτές που λαμβάνονται μέσω του BESS και του ImPACT.

Σύμφωνα με μελέτη του Wikstrom (2012), τα διαδραστικά συστήματα παιχνιδιών έχουν τη δυνατότητα να βοηθήσουν στην αποκατάσταση ασθενών με μυοσκελετικές παθήσεις. Το Nintendo Wii Balance Board, το οποίο αποτελεί μέρος του παιχνιδιού Wii Fit, θα μπορούσε να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την παρακολούθηση της προόδου κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης, επειδή μπορεί να παρέχει αντικειμενικά μέτρα ισορροπίας. Ωστόσο, η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των βαθμολογιών ισορροπίας Wii Fit παραμένουν άγνωστες. Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν ο προσδιορισμός της ταυτόχρονης εγκυρότητας και αξιοπιστίας των βαθμολογιών που παράγονται από το παιχνίδι Wii Fit και της αξιοπιστίας συγκριτικά με την πλατφόρμα καταγραφής δύναμης FORCE PLATE και την αναλογική λειτουργική δοκιμασία Star Excursion Balance Test (SEBT). Σχετικά με τους συμμετέχοντες προβλέπονται σαράντα πέντε ενεργοί συμμετέχοντες (ηλικία = $27,0 \pm 9,8$ έτη, ύψος = $170,9 \pm 9,2$ cm, μάζα = $72,4 \pm 11,8$ kg) χωρίς να τεθεί περιορισμός στη παρουσία ιστορικού τραυματισμού των κάτω άκρων. Οι συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν μονοποδική στήριξη και το Star Excursion Balance Test πάνω στη WBB κατά τη διάρκεια της πρώτης δοκιμαστικής συνεδρίας. Δώδεκα δραστηριότητες ισορροπίας Wii Fit ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια 2 δοκιμαστικών συνεδριών που απείχαν μεταξύ τους 1 εβδομάδα. Το κύριο μέτρο έκβασης, η ταλάντευση στάσης στις προσθιοπίσθιες (AP) και μεσοπλάγιες (ML) κατευθύνσεις και οι αποκλίσεις AP, ML και προκύπτουσας κέντρου

πίεσης (COP) υπολογίστηκαν από τη στάση ενός άκρου. Η κανονικοποιημένη απόσταση προσέγγισης καταγράφηκε για τις πρόσθιες, οπίσθιες και οπίσθιες πλάγιες κατευθύνσεις του SEBT. Καταγράφηκαν επίσης οι βαθμολογίες ισορροπίας Wii Fit που δημιούργησε το λογισμικό του παιχνιδιού. Και οι 96 από τους υπολογισμένους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων δραστηριότητας Wii Fit και των αποτελεσμάτων καθορισμένου ισοζυγίου ερμηνεύτηκαν ως κακοί ($r < 0,50$). Η αξιοπιστία εντός συνεδρίας για τις βαθμολογίες δραστηριότητας ισορροπίας Wii Fit κυμάνθηκε από καλή (συντελεστής συσχέτισης εντός κλάσης [ICC] = 0,80) έως κακή (ICC = 0,39), με 8 δραστηριότητες να έχουν χαμηλή αξιοπιστία εντός της συνεδρίας. Ομοίως, 11 από τις 12 βαθμολογίες δραστηριότητας ισορροπίας Wii Fit έδειξαν χαμηλή αξιοπιστία μεταξύ συνεδριών, με βαθμολογίες που κυμαίνονται από δίκαιη (ICC = 0,74) έως κακή (ICC = 0,29). Οι βαθμολογίες δραστηριότητας ισορροπίας Wii Fit είχαν χαμηλή ταυτόχρονη εγκυρότητα σε σχέση με τα αποτελέσματα COP και τις αποστάσεις προσέγγισης SEBT. Επιπλέον, οι βαθμολογίες δραστηριότητας ισορροπίας Wii Fit που συμπεριλήφθηκαν είχαν γενικά χαμηλή αξιοπιστία εντός και μεταξύ συνεδριών (Wikstrom, 2012).

Οι Clark et al. (2010) αναφέρθηκαν στη μειωμένη ισορροπία στην ορθοστάτιση που έχει επιζήμια επίδραση στη λειτουργική ικανότητα ενός ατόμου και αυξάνει τον κίνδυνο πτώσης. Επί του παρόντος δεν υπάρχει επικυρωμένο σύστημα που να μπορεί να ποσοτικοποιήσει με ακρίβεια το κέντρο πίεσης (COP), ένα σημαντικό συστατικό της στατικής ισορροπίας, ενώ είναι οικονομικό, φορητό και ευρέως διαθέσιμο. Το Wii Balance Board (WBB) πληροί αυτά τα κριτήρια και επομένως σκοπός της έρευνας ήταν να εξετάσει την εγκυρότητά του σε σύγκριση με την gold standard εργαστηριακή πλατφόρμα καταγραφής φορτίων (FP). Στην έρευνα πήραν μέρος Τριάντα άτομα χωρίς παθολογία των κάτω άκρων ηλικία = $23,7 \pm 5,6$ έτη), (φύλο = 10 άνδρες, 20 γυναίκες- ύψος = $1,68 \pm 0,09$ m- σωματική μάζα = $63,80 \pm 15,20$ kg) πραγματοποίησαν ένα συνδυασμό δοκιμών ισορροπίας στη μονοποδική και διποδική στήριξη με τα μάτια ανοιχτά και σε δεύτερο χρόνο με τα μάτια κλειστά. Τα δεδομένα από το WBB αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας φορητό υπολογιστή. Η αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου για τη διακύμανση του COP για καθεμία από τις συσκευές δοκιμής, συμπεριλαμβανομένης της σύγκρισης των δεδομένων WBB και FP, εξετάστηκε χρησιμοποιώντας συντελεστές συσχέτισης ενδοταξικής (ICC), γραφήματα Bland-Altman (BAP) και ελάχιστη ανιχνεύσιμη μεταβολή (MDC). Και οι δύο συσκευές παρουσίασαν καλή έως εξαιρετική αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου στη διακύμανση του COP εντός της συσκευής (ICC = 0,66-0,94) και μεταξύ συσκευών (ICC = 0,77-0,89) σε όλα

τα πρωτόκολλα δοκιμών (Clark et al., 2010). Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η WBB είναι ένα έγκυρο εργαλείο για την αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας. (Clark et al., 2010).

Πίνακας 4.2.2 Αποτελέσματα ψηφιακού εργαλείου Nintendo Wii Fit

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
Merchant-Borna (2017)	Διερεύνηση εγκυρότητας της WBB για την αξιολόγηση της στατικής σταθερότητας σε 3 χρονικά σημεία μετά την διάσειση συγκριτικά με τα εργαλεία BESS και ImPACTbattery για την αξιολόγηση της αποκατάστασης από διάσειση.	Δείγμα: 19 μαθητές-αθλητές της Εθνικής Κολεγιακής Αθλητικής Ένωσης (ηλικία = $19,2 \pm 1,2$ έτη, ύψος = $177,7 \pm 8,0$ cm, μάζα = $75,3 \pm 16,6$ kg, χρόνος από την έναρξη έως την ημέρα 3 μετά τη διάσειση = $27,1 \pm 36,6$ εβδομάδες) που υπέστησαν διάσειση. Ο έλεγχος της εγκυρότητας έγινε με ενδοταξικό συντελεστή συσχέτισης Spearman.	Διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση όλων των μεταβλητών WBB. Συσχετίστηκε με το BESS και το ImPACT . ($P < .05$) από την ημέρα τραυματισμού έως την 3η ημέρα μετά τη διάσειση. από την ημέρα τραυματισμού έως την 7η ημέρα μετά τη διάσειση (διαφορά = $-0,21 \pm 2,70$, $P = 0,40$)
Wikstrom (2012)	Ο προσδιορισμός της ταυτόχρονης εγκυρότητας και αξιοπιστίας των βαθμολογιών που παράγονται από το παιχνίδι Wii Fit εντός και μεταξύ συνεδριών συγκριτικά με την FORCE PLATE και την δοκιμασία SEBT.	45 σωματικά ενεργοί συμμετέχοντες (ηλικία = $27,0 \pm 9,8$ έτη, ύψος = $170,9 \pm 9,2$ cm, μάζα = $72,4 \pm 11,8$ kg) ανεξαρτήτως ιστορικού. Ολοκλήρωσαν σειρά μονοποδικών δοκιμασιών στο FORCE PLATE και SEBT στην πρώτη συνεδρία. Δραστηριότητες ισορροπίας Wii Fit ολοκληρώθηκαν 1 εβδομάδα μετά. Μέτρα έκβασης η μετατόπιση του βάρους σε όλους τους ανατομικούς	96 υπολογισμένοι συντελεστές συσχέτισης χαμηλοί ($r < 0,50$). Η ενδοσυνεδριακή αξιοπιστία των δραστηριοτήτων ισορροπίας του Wii Fit κυμάνθηκε από μέτρια ($ICC = 0,80$) έως χαμηλή ($ICC = 0,39$). Ομοίως 11 από τις 12 βαθμολογίες δραστηριοτήτων ισορροπίας Wii Fit επέδειξαν κακή αξιοπιστία μεταξύ των συνεδριών, με βαθμολογίες που κυμαίνονταν από καλή ($ICC = 0,74$)

		άξονες. Χρησιμοποιήθηκαν ενδοταξικοί συντελεστές συσχέτισης.	έως κακή (ICC = 0,29).
Clark et al. (2010)	Ο προσδιορισμός της εγκυρότητας του Wii Balance Board (WBB) σε σύγκριση με εργαστηριακή πλατφόρμα φορτίων Force Plate (FP) για την καταγραφή της μεταφοράς βάρους κατά την στατική ισορροπία.	Δείγμα: 30 υγιείς ενήλικες (ηλικία = 23,7 ± 5,6 έτη), (φύλο = 10 άνδρες, 20 γυναίκες- ύψος = 1,68 ± 0,09 m- σωματική μάζα = 63,80 ± 15,20 kg) Η αξιοπιστία COP εξετάστηκε χρησιμοποιώντας ενδοταξικούς συντελεστές συσχέτισης εντός κλάσης (ICC), γραφήματα Bland- Altman και ελάχιστη ανιχνεύσιμη μεταβολή (MDC).	Μέτρια έως υψηλή αξιοπιστία εξέτασης του COP ανά συσκευή (ICC = 0,66-0,94) και μεταξύ συσκευών (ICC = 0,77-0,89). WBB είναι ένα έγκυρο εργαλείο για την αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας

4.2.3. TRAZER

Σύμφωνα με τους Hogg et al. (2021) σκοπός της μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η ταυτόχρονη εγκυρότητα των δεδομένων μίας κάμερας TRAZER® με δεδομένα συστήματος καταγραφής κίνησης 3D και να αξιολογηθεί η αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου των μετρήσεων αντιδραστικής ευκινησίας ολόκληρου του σώματος. Αναφορικά με τη μεθοδολογία, δύο ομάδες υγιών ατόμων δημιουργήθηκαν για τον έλεγχο της αξιοπιστίας και τον έλεγχο της εγκυρότητας αντίστοιχα. Η ομάδα αξιοπιστίας αποτελούνταν από ένα δείγμα 18 υγιών ατόμων (11 γυναίκες, 23,3±2,5 ετών, 168,2±11,2 cm, 78,2±17,8 kg). Η ομάδα εγκυρότητας αποτελούνταν από ένα δείγμα 13 υγιών ατόμων (8 γυναίκες, 24,8±3,1 έτη, 170,0±7,7 cm και 70,0±14,2 kg). Οι αξιολογήσεις χρησιμοποίησαν τυχαιοποιημένες γραμμικές και διαγώνιες κινήσεις, 5 επαναλήψεις σε κάθε μία από τις 8 κατευθύνσεις. Ως προς το σχεδιασμό, η εγκυρότητα ήταν μια συγχρονική μελέτη μίας συνεδρίας ενώ η

αξιοπιστία ήταν μια μελέτη δοκιμής-επανελέγχου 3 συνεχόμενων ημερών. Οι αξιολογήσεις χρησιμοποιήσαν τυχαιοποιημένες κινήσεις σε οκτώ κατευθύνσεις για σαράντα συνολικές επαναλήψεις όπως ορίζονται από το σύστημα TRAZER. Το πρωτόκολλο TRAZER παρακολούθηθηκε ταυτόχρονα από το Vicon Motion Capture και το σύστημα TRAZER. Τα δεδομένα αξιοπιστίας συλλέχθηκαν σε τρεις συνεχόμενες ημέρες από το σύστημα TRAZER. Κύριοι παράμετροι αξιολόγησης αποτέλεσαν η μέγιστη επιτάχυνση, η μέγιστη ταχύτητα και η συνολική απόσταση, οι οποίες καταγράφηκαν για την εγκυρότητα. Εκτός από αυτές τις μεταβλητές, συλλέχθηκαν για λόγους αξιοπιστίας η μέγιστη επιβράδυνση, η μέση ταχύτητα, η μέση επιτάχυνση, η μέση επιβράδυνση και ο μέσος χρόνος αντίδρασης. Συνολικά, υπάρχει έλλειψη συμφωνίας μεταξύ των μέγιστων εξόδων για το TRAZER και της 3D καταγραφής κίνησης (ταχύτητα $r=0,808$, επιτάχυνση $r=-0,090$), αλλά η συσχέτιση συνολικής απόστασης ήταν υψηλή ($r =,961$). Οι τιμές ICC μεταξύ των ημερών 1-2-3 για μέσες μετρήσεις ήταν υψηλές (μέση ταχύτητα = 0,847, μέση επιτάχυνση = 0,919 και μέση επιβράδυνση = 0,948) με εξαίρεση τον μέσο χρόνο αντίδρασης (ICC = 0,536). Τα ICC για τις μέγιστες μετρήσεις έδειξαν πολύ μικρότερη συσχέτιση μεταξύ των ημερών (ταχύτητα = 0,654, επιτάχυνση = 0,171 και επιβράδυνση = 0,416). Παρόλο που υπάρχει έλλειψη ισχυρής ταυτόχρονης εγκυρότητας μεταξύ των μέτρων που λαμβάνονται από το TRAZER και τα συστήματα καταγραφής κίνησης 3D, υπάρχει ισχυρή αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου του συστήματος TRAZER. Η δυνατότητα εφαρμογής αυτών των ευρημάτων καθιστά το TRAZER κλινικά σημαντικό σε σενάρια που απαιτούν δοκιμές πριν και μετά τη δοκιμή για αποφάσεις επιστροφής στο παιχνίδι ή παρακολούθηση ενός εκπαιδευτικού σχήματος όπου η απόδειξη της επικύρωσης σε μια μέτρηση χρυσού προτύπου δεν είναι σχετική.

Τα τελικά συμπεράσματα για το σύστημα Trazer είναι μεικτά. Μέσα από την έρευνα Hogg et al. (2021), φαίνεται πως το σύστημα TRAZER φέρει επαρκή αξιοπιστία για την ανάλυση της κίνησης, όμως υπάρχουν δύο βασικοί πυλώνες που δημιουργούν αμφιβολίες για την αποτελεσματικότητά του. Πρώτων, μέσα από την ίδια την έρευνα η εγκυρότητα του εργαλείου φαίνεται ανεπαρκής και ακόμη σημαντικότερο είναι η μεγάλη έλλειψη βιβλιογραφίας που να εξετάζει τόσο την εγκυρότητα όσο και την αξιοπιστία του εργαλείου συγκριτικά με άλλα ψηφιακά η αναλογικά συστήματα αξιολόγησης της κίνησης.

Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα ψηφιακού εργαλείου TRAZER

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
Hogg et al. (2021)	Στόχος: Αξιολόγηση εγκυρότητας και αξιοπιστίας Trazer συγκριτικά με 3DMA για την ανάλυση της ταχύτητας αντίδρασης σε τυχαιοποιημένες κινήσεις.	Δείγμα αξιοπιστίας: 18 υγιείς άτομα (11 γυναίκες, $23,3 \pm 2,5$ ετών, $168,2 \pm 11,2$ cm, $78,2 \pm 17,8$ kg). Δείγμα εγκυρότητας: 13 υγιείς ενήλικες α (8 γυναίκες, $24,8 \pm 3,1$ έτη, $170,0 \pm 7,7$ cm και $70,0 \pm 14,2$ kg). Διάρκεια: Εκτελέστηκαν: 8 κατευθύνσεις, 5 επαναλήψεις η καθεμία, 40 συνολικά. Μέτρα έκβασης: μέγιστη επιτάχυνση, μέγιστη ταχύτητα, συνολική απόσταση για εγκυρότητα και μέγιστη επιβράδυνση, μέση ταχύτητα, μέση επιτάχυνση, μέση επιβράδυνση και μέσος χρόνος αντίδρασης για αξιοπιστία. Χρησιμοποιήθηκαν ICC.	Έλλειψη συμφωνίας μεταξύ TRAZER και 3DMA για ταχύτητα ($r=0,808$) και επιτάχυνση ($r=0,090$), αλλά η συσχέτιση της συνολικής απόστασης ήταν υψηλή ($r=0,961$). Οι τιμές ICC μεταξύ των ημερών 1-2-3 ήταν υψηλές (μέση ταχύτητα= $0,847$, μέση επιτάχυνση= $0,919$ και μέση επιβράδυνση= $0,948$), με εξαίρεση τον μέσο χρόνο αντίδρασης που ήταν μέτριος (ICC= $0,536$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η τεχνολογία της επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας είναι μία σχετικά νεότερη προσθήκη στον κλάδο των ιατρικών επιστημών. Όσον αφορά την φυσικοθεραπεία, η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιείται σαν μέσο αξιολόγησης και αποκατάστασης από το 1990 (Greenleaf, et al., 1997). Συγκεκριμένα για την αθλητική φυσικοθεραπεία, υπάρχουν ενδείξεις πως τα εργαλεία VR μπορούν να αποτελέσουν εύχρηστο εργαλείο στα χέρια των αθλητικών φυσικοθεραπευτών στην λήψη μετρήσεων και στην αξιολόγηση κινητικών παραμέτρων που σχετίζονται με τον αθλητισμό. Αυτό συμβαίνει λόγω της ικανότητας που προσφέρουν τα VR για την προσομοίωση πραγματικών καταστάσεων που σχετίζονται με το εκάστοτε άθλημα, που ως αποτέλεσμα μπορεί να δώσει μία πιο σαφή εικόνα στον αθλητικό φυσικοθεραπευτή για την κλινική κατάσταση του ασθενή πάνω στις λειτουργικές απαιτήσεις του αθλήματος (Lowood, 2024). Η νεότερη βιβλιογραφία έχει ασχοληθεί ενδελεχώς με την εφαρμογή του VR τόσο στην φυσικοθεραπεία όσο και στην αθλητική αποκατάσταση (Greenleaf, et al., 1997). Υπάρχει τεράστια ποικιλία ψηφιακών εργαλείων εικονικής πραγματικότητας που έχουν διερευνηθεί για την εφαρμογή τους στην αποκατάσταση. Όμως, όταν αναζητούνται έρευνες που σχετίζονται με την εφαρμογή των εργαλείων VR στην φυσικοθεραπευτική αξιολόγηση φαίνεται πως η βιβλιογραφία αρχίζει να περιορίζεται. Πόσο μάλλον όταν γίνεται προσπάθεια να βρεθούν άρθρα που σχετίζονται με την εφαρμογή των VR στην αθλητική αξιολόγηση και λήψη μετρήσεων στην αθλητική φυσικοθεραπεία το ερευνητικό υλικό περιορίζεται σημαντικά. Παράλληλα, ενώ υπάρχει έστω μερική βιβλιογραφία για την χρήση των VR στην αθλητική αξιολόγηση, ακόμη λιγότερες έως μηδαμινές είναι οι έρευνες που να εξετάζουν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των ψηφιακών εργαλείων εικονικής πραγματικότητας, αφήνοντας έτσι ένα τεράστιο ερωτηματικό και αμφιβολίες για την πραγματική αξία που έχουν αυτά τα συστήματα για τον αθλητικό φυσικοθεραπευτή. Με πρόφαση τα παραπάνω η συγκεκριμένη εργασία βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιέγραψε κάποια από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές σήμερα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και αναλύθηκαν όσο περισσότερα άρθρα εμπειρίχαν σχετικές πληροφορίες που εξέταζαν την εγκυρότητα και αξιοπιστία των εκάστοτε εργαλείων VR συγκριτικά με αξιόπιστα ψηφιακά ή αναλογικά εργαλεία που είναι ήδη εδραιωμένα στην φυσικοθεραπευτική αξιολόγηση. Συνολικά επιλέχθηκαν τρία ψηφιακά εργαλεία εικονικής πραγματικότητας για περαιτέρω ανάλυση: το Microsoft Kinect, το Nintendo Wii Fit και το σύστημα TRAZER.

Το Microsoft KINECT είναι ένα σύστημα καταγραφής της κίνησης ή αλλιώς Motion Capture που αποτελείται από μία σειρά συσκευών εισόδου ανίχνευσης κίνησης και ανήκει στην κατηγορία των semi-immersive VR. Μέσα από τις έρευνες των Mentiplay και Huber το Microsoft Kinect φαίνεται να έχει καλή αξιοπιστία και εγκυρότητα. Στην έρευνα Mentiplay (2018) το KINECT φέρει από μέτρια έως εξαιρετική εγκυρότητα και αξιοπιστία στην ανάλυση της κινηματικής του κορμού, ισχίου και γόνατος σε λειτουργικές δοκιμασίες συγκριτικά με το 3D καταγραφέα κίνησης. Για το Microsoft Kinect βρέθηκαν συνολικά 4 έρευνες και υπήρχε επαρκές ερευνητικό υλικό για να υποστηριχθούν τα δεδομένα που αποσκοπούσε η έρευνα. Από την άλλη, το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στις έρευνες του Kinect είναι ότι το δείγμα αποτελούνταν από απλό πληθυσμό και όχι αθλητές, το οποίο προσδίδει βαθμό μεροληψίας στα τελικά πορίσματα. Η έρευνα Mentiplay (2018), όπου πήραν μέρος Τριάντα νέοι, υγιείς συμμετέχοντες ηλικίας 18-28 ετών και των δύο φύλλων, Εξέτασε την αξιοπιστία μεταξύ των συνεδριών και την ταυτόχρονη εγκυρότητα του Kinect V2 για την αξιολόγηση της κινηματικής του στεφαναίου και οβελιαίου επιπέδου για τον κορμό, το ισχίο και το γόνατο κατά τη διάρκεια μονοποδικού καθίσματος και κάθετης πτώσης από άλμα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το Kinect έχει αρκετά καλή αξιοπιστία και εγκυρότητα, κάτι που υποστηρίζεται και από την έρευνα Huber et al., (2016). Στην έρευνα αυτή αξιολογείται αξιοπιστία και η εγκυρότητα των μετρήσεων γωνίας άρθρωσης ώμου σε τέσσερις στατικές στάσεις συγκριτικά με το 3D motion analysis σε απλό πληθυσμό. Και εκεί το Kinect έδειξε θετικά αποτελέσματα. Το κυριότερο μειονέκτημα στην έρευνα Huber είναι το πολύ μικρό δείγμα πληθυσμού μόλις 10 ατόμων. Σε άλλη έρευνα Mentiplay et al. (2015), φαίνεται πως το Kinect έχει δυνατότητα να καταγράφει τις χρονικές φάσεις στην κινηματική της βάρδισης όμως δεν είναι ικανό να καταγράψει με ακρίβεια την κίνηση των κάτω άκρων. Εν κατακλείδι, σε έρευνα του Mentiplay (2013), αξιολογήθηκε η στατική ισορροπία του κάτω άκρου συγκριτικά με το 3D motion analysis και παραδοσιακή οπτική παρατήρηση. Σε αυτή την έρευνα αποδείχθηκε πως το Kinect είχε επαρκής εγκυρότητα και αξιοπιστία στις μετρήσεις του.

Το NINTENDO Wii Fit είναι ένα διαδραστικό ηλεκτρονικό παιχνίδι που ανήκει στην κατηγορία των semi-immersive VR. Το Wii διαθέτει την πλατφόρμα ισορροπίας Wii Balance Board η οποία μπορεί να παρέχει μετρήσεις για το κέντρο της πίεσης, την ισορροπία και την μεταφορά του βάρους που ασκεί ο χρήστης πάνω σε αυτή. Κατά αυτόν τον τρόπο το wii

χρησιμοποιείται από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές για την αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας μετά από τραυματισμούς κυρίως στο κάτω άκρο. Το Nintendo Wii Fit φαίνεται να έχει σχετικά καλή εγκυρότητα στην αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας όπως φαίνεται και από την έρευνα Clark et. Al (2010) όπου το Wii συγκρίνεται με την εργαστηριακή πλατφόρμα ανάλυσης της ισορροπίας. Βέβαια όσον αφορά την αξιολόγηση της δυναμικής σταθερότητας το WBB δεν φαίνεται να έχει καλή εγκυρότητα. Όσον αφορά το Nintendo Wii Fit βρέθηκαν 3 έρευνες οι οποίες τηρούσαν τα κριτήρια επιλογής. Στην περίπτωση του Wii τα άρθρα που επιλέχθηκαν περιείχαν και αθλητικό πληθυσμό. Στην έρευνα Merchant-Borna (2017) αξιολογήθηκε η χρήση του Wii Balance Board για την αξιολόγηση της ορθοστατικής σταθερότητας σε 3 χρονικά σημεία και για την αξιολόγηση της ταυτόχρονης και συγκλίνουσας εγκυρότητας του με άλλα παραδοσιακά μέτρα (BESS και Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Test [ImPACT] battery) μετά από διάσειση. Τελικά αποδείχθηκε πως όταν συνοδεύεται από το κατάλληλο αναλυτικό λογισμικό, το WBB μπορεί να είναι μια εναλλακτική λύση για την αξιολόγηση της σταθερότητας της στάσης του σώματος σε μαθητές-αθλητές με διάσειση και μπορεί να παρέχει πρόσθετες πληροφορίες σε αυτές που λαμβάνονται μέσω του BESS και του ImPACT. Παρομοίως και η έρευνα Clark et al. (2010) θεωρεί πως το WBB είναι ένα έγκυρο εργαλείο για την αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας. Το δείγμα στην συγκεκριμένη έρευνα δεν ήταν αθλητές όμως δείχνει αντικειμενικά την εφαρμογή του WBB στην αξιολόγηση της στατικής ισορροπίας. Η έρευνα Wikstrom (2012) εξετάζει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των μετρήσεων του WBB στην αξιολόγηση της δυναμικής σταθερότητας σε διάφορες λειτουργικές δοκιμασίες. Σε αυτή την έρευνα αρχίζουν και έρχονται στην επιφάνεια οι αδυναμίες του Nintendo Wii Fit καθώς φαίνεται πως το WBB φέρει χαμηλή ταυτόχρονη εγκυρότητα και αξιοπιστία στη αξιολόγηση της δυναμικής σταθερότητας σε διάφορες δοκιμασίες ισορροπίας.

Το TRAZER είναι ένα ψηφιακό εργαλείο non-immersive VR σχεδιασμένο για ανάλυση της κίνησης. Διαθέτει κάμερα ανίχνευσης υψηλής ισχύος και λογισμικό που παρακολουθεί 25 σημεία στο σώμα για την επεξεργασία εκατομμυρίων σημείων σε πραγματικό χρόνο. Τα συμπεράσματα για το Trazer δεν είναι σαφή, μπορεί μέσα από την έρευνα Hogg et al. (2021) να φαίνεται πως το Trazer έχει καλή αξιοπιστία στην αξιολόγηση της ταχύτητας αντίδρασης συγκριτικά με τον 3D καταγραφέα κίνησης, όμως η τεράστια έλλειψη επιπλέον ερευνητικού υλικού για το σύστημα εμποδίζει να υπάρχουν σαφή αποτελέσματα. Για το σύστημα Trazer παρά την προσπάθεια που έγινε για την αναζήτηση επιπλέον βιβλιογραφίας μόνο μία έρευνα βρέθηκε που να αξιολογεί επαρκώς τόσο την εφαρμογή του όσο την εγκυρότητα και αξιοπιστία του εργαλείου. Στην έρευνα Hogg et al. (2021) λοιπόν, αξιολογήθηκε η

εγκυρότητα και η αξιοπιστία του Trazer στην αξιολόγηση της ταχύτητας αντίδρασης σε διάφορες κινήσεις πολλαπλών κατευθύνσεων συγκριτικά με το 3D motion analysis. Η συγκεκριμένη έρευνα ήταν καλοστημένη με επαρκές δείγμα που αποτελούνταν από αθλητές. Εν τέλει, παρά την έλλειψη ισχυρής ταυτόχρονης εγκυρότητας μεταξύ των μέτρων που λαμβάνονται από το Trazer και τα συστήματα καταγραφής κίνησης 3D, υπάρχει ισχυρή αξιοπιστία δοκιμής-επανελέγχου του συστήματος Trazer.

Οι έρευνες είχαν διάφορους περιορισμούς που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα τελικά πορίσματα για την πραγματική αξία των ψηφιακών εργαλείων εικονικής πραγματικότητας. Αρχικά το ίδιο το θέμα της έρευνας ήταν πολύ εξειδικευμένο και ήταν πολύ δύσκολο να βρεθεί επαρκές ερευνητικό υλικό για να υποστηριχθεί. Ακόμη δυσκολότερο ήταν να βρεθεί βιβλιογραφία που να τηρεί όλες τις προϋποθέσεις, με αποτέλεσμα να επιλεγθούν πολλές φορές έρευνες που δεν περιείχαν αθλητικό πληθυσμό ή ακόμη έρευνες με πολύ μικρό δείγμα (π.χ. Huber et al., 2016). Μάλιστα για κάποια από τα εργαλεία, όπως το Trazer το ερευνητικό υλικό ήταν σχεδόν ανύπαρκτο. Η ανάγκη για σχεδιασμό περισσότερων ερευνών που να εξετάζουν τόσο την εφαρμογή των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας στην αθλητική αξιολόγηση όσο και την αξιολόγηση της εγκυρότητας και αξιοπιστίας αυτών είναι τεράστια. Πόσο μάλλον για το σύστημα Trazer το οποίο παρά την διαδεδομένη χρήση του στην αθλητική φυσικοθεραπεία δεν έχει επαρκές υλικό για να υποστηρίξει την δυνατότητα εφαρμογής του στην αξιολόγηση και αποκατάσταση. Πρέπει λοιπόν να δημιουργηθούν περισσότερες τυχαιοποιημένες μελέτες που να συγκρίνουν τα συγκεκριμένα εργαλεία με ήδη υπάρχοντα εδραιωμένα ψηφιακά ή αναλογικά συστήματα αξιολόγησης ώστε να δοθεί μια τελική εικόνα για την πραγματική χρησιμότητα των συστημάτων αυτών. Επίσης σε αυτές τις έρευνες θα πρέπει να συμπεριληφθεί μεγαλύτερη ποικιλία παραμέτρων και λειτουργικών δραστηριοτήτων που να εξετάζονται από τα ψηφιακά εργαλεία ώστε να δοθεί μία ευρύτερη εικόνα για τις δυνατότητες αξιολόγησής τους σε διάφορες καταστάσεις και σενάρια.

Στην εισαγωγή τέθηκαν δύο βασικά ερευνητικά ερωτήματα, αν τα εργαλεία αξιολόγησης VR μπορούν να παρέχουν πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση για την ανάλυση της κίνησης των αρθρώσεων, τον υπολογισμό γωνιών και της μυϊκής ενεργοποίησης και τι βαθμό ευαισθησίας και ειδικότητας θα μπορούσαν να έχουν στις μετρήσεις που πραγματοποιούνται. Αναλύοντας τις έρευνες που βρέθηκαν μπορούμε να πούμε πως τα εργαλεία VR στην πλειοψηφία τους μπορούν να αναλύσουν και να καταγράψουν την κίνηση σε διάφορες στατικές και λειτουργικές καταστάσεις. Το Kinect μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τις γωνίες των αρθρώσεων του ισχίου, του γόνατου και της ποδοκνημική σε δοκιμασίες όπως η κάθετη

πτώση από άλμα και η το μονοποδικό κάθισμα καθώς μπορεί να μετρήσεις με ακρίβεια και τις γωνίες στην άρθρωση του ώμου στο μεγαλύτερο μέρος της τροχιάς της κίνησης, όλα αυτά σχεδόν τόσο αξιόπιστα όσο και το 3D motion analysis. Παρουσιάζει επίσης καλή ευαισθησία φτάνοντας τους δείκτες ICC από 0,73 έως και 0,98. Όσον αφορά το Nintendo Wii fit φαίνεται πως αποτελεί ένα αξιόλογο και εύχρηστο εργαλείο αξιολόγησης της δυναμικής σταθερότητας και της ισορροπίας καθώς αποδείχθηκε πως έχει καλή εγκυρότητα και αξιοπιστία στην μέτρηση της μεταφοράς του βάρους και της ταλάντευσης σε προσθιοπίσθιο και μετωπιαίο επίπεδο. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο αξιολόγησης της αθλητικής διάσεισης ελέγχοντας τις ισορροπητικές αντιδράσεις. Εν κατακλείδι το σύστημα Trazer αφήνει περισσότερα ερωτήματα παρά απαντήσεις. Φαίνεται να έχει προοπτική σαν εργαλείο αξιολόγησης καθώς μέσα από την πολύ καλή έρευνα της Hogg et al. (2021) έχει ισχυρή αξιοπιστία στον επανέλεγχο των δοκιμών όμως θα πρέπει να ερευνηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από την μελλοντική βιβλιογραφία και να εξεταστεί ενδελεχώς η εγκυρότητά του.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της έρευνας ήταν να εξετάσει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των ψηφιακών εργαλείων εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούνται σήμερα από τους αθλητικούς φυσικοθεραπευτές για την αθλητική αξιολόγηση. Συνολικά τρία εργαλεία επιλέχθηκαν για αξιολόγηση: το Microsoft Kinect, το Nintendo Wii Fit και το σύστημα Trazer. Το Microsoft Kinect αποδείχθηκε να είναι ένα αξιόπιστο και έγκυρο εργαλείο αξιολόγησης κινητικών παραμέτρων που σχετίζονται με τις αθλητικές δοκιμασίες και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο γωνιομέτρησης και καταγραφής της εμβιομηχανικής των αρθρώσεων, όπως αυτή του ώμου και της ποδοκνημικής. Το Nintendo Wii Fit μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στην καταγραφή παραμέτρων που σχετίζονται με την στατική ισορροπία στην μονοποδική και διποδική στήριξη και κατά επέκταση να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο αξιολόγησης της διάσεισης. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή του στην αξιολόγηση λειτουργικών δραστηριοτήτων φαίνεται να μην είναι καλή και ως εκ τούτου περισσότερες έρευνες χρειάζονται για να προσδιοριστεί η εγκυρότητα και αξιοπιστία των μετρήσεων του Nintendo Wii Fit στην λήψη παραμέτρων ισορροπίας που αφορούν λειτουργικές δραστηριότητες. Όσον αφορά το Trazer η εγκυρότητα και η αξιοπιστία του δεν μπορούν να προσδιοριστούν λόγω της μεγάλης έλλειψης ερευνητικού υλικού που εξετάζουν

την εφαρμογή του στην αξιολόγηση κινητικών παραμέτρων, φαίνεται όμως να έχει προοπτικές ως εργαλείο αξιολόγησης της ταχύτητας αντίδρασης σε αθλητές. Πρόσθετες μελέτες που εστιάζουν στην εξέταση της εγκυρότητας και αξιοπιστίας των μέσων τιμών με μεγαλύτερο μέγεθος δείγματος και αθλητικό δείγμα πληθυσμού θα μπορούσαν να παράσχουν περαιτέρω στοιχεία έρευνας και κλινικής χρησιμότητας για όλα τα εργαλεία που εξετάστηκαν στην έρευνα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aran, O. T., Şahin, S., Torpil, B., Demirok, T., & Kayihan, H. L. (2017). Virtual reality and occupational therapy. *Occupational Therapy-Occupation Focused Holistic Practice in Rehabilitation*, 2017181.
- Agmon, M., et al. (2011). A pilot study of Wii Fit exergames to improve balance in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 34(4):161-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22124415>
- Adam W. Kiefer, Christopher A Dicesare, Scott Bonnette, Paula L Silva (2017). Sport-specific virtual reality to identify profiles of anterior cruciate ligament injury risk during unanticipated cutting. https://www.researchgate.net/publication/319118309_Sport-specific_virtual_reality_to_identify_profiles_of_anterior_cruciate_ligament_injury_risk_during_unanticipated_cutting
- Altamimi, R., Skinner, G. (2012). A Survey of Active Video Game Literature From Theory to Technological Application. *International Journal of Computer and Information Technology*,01-01. https://www.researchgate.net/publication/309316613_A_Survey_of_Active_Video_Game_Literature_From_Theory_to_Technological_Application
- Anderson, F., Annett, M., Bischof, W. (2010). Lean on Wii: Physical Rehabilitation With Virtual Reality and Wii Peripherals. *Studies in health technology and informatics*, 154:229-34. https://www.researchgate.net/publication/44668652_Lean_on_Wii_Physical_Rehabilitation_With_Virtual_Reality_and_Wii_Peripherals
- Aïm, F., Lonjon, G., Hannouche, D., & Nizard, R. (2016). Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 31(1), 224-232. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.07.023>
- AERA. (2014). Standards for educational and psychological testing. American Educational Research Association. <https://www.apa.org/science/programs/testing/standards>
- Bamodu, O., & Ye, X. M. (2013). Virtual reality and virtual reality system components. *Advanced Materials Research*, 765, 1169–1172.
- Bamparopoulos, G., et al. (2016). Towards exergaming commons: Composing the exergame ontology for publishing open game data. *Journal of Biomedical Semantics*, 7(1):4. https://www.researchgate.net/publication/293719528_Towards_exergaming_commons_Composing_the_exergame_ontology_for_publishing_open_game_data
- Bateni, H. (2012). Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study. *Physiotherapy*, 98(3):211-6. [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031-9406\(11\)00047-2](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031-9406(11)00047-2)
- Bartlett, R. (2014). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge.
- Brady, N., McVeigh, J. G., McCreesh, K., Rio, E., Dekkers, T., & Lewis, J. S. (2021). Exploring the effectiveness of immersive Virtual Reality interventions in the

- management of musculoskeletal pain: a state-of-the-art review. *Physical Therapy Reviews*, 26(4), 262–275. <https://doi.org/10.1080/10833196.2021.1903209>
- Brady, N., McVeigh, J. G., McCreesh, K., Rio, E., Dekkers, T., & Lewis, J. S. (2021). Exploring the effectiveness of immersive Virtual Reality interventions in the management of musculoskeletal pain: a state-of-the-art review. *Physical Therapy Reviews*, 26(4), 262–275. <https://doi.org/10.1080/10833196.2021.1903209>
- Buxbaum, L. J., Dawson, A. M., & Linsley, D. (2012). Reliability and validity of the Virtual Reality Lateralized Attention Test in assessing hemispatial neglect in right-hemisphere stroke. *Neuropsychology*, 26(4), 430-441. <https://doi.org/10.1037/a0028674>
- Burdea, G.(2003). Virtual rehabilitation-benefits and challenges. *Methods Inf Med*. 42(5):519-23.
https://www.researchgate.net/publication/8976715_Virtual_Rehabilitation_-_Benefits_and_Challenges
- Chan, M. (2009). World now at the start of 2009 influenza pandemic.
- Chao, YY., Scherer, YK., Montgomery, CA. (2015). Effects of using Nintendo Wii™ exergames in older adults: a review of the literature. *J Aging Health*, 27(3):379-402. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25245519>
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K. E., Denehy, L., & Bryant, A. L. (2012). Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & posture*, 36(3), 372-377. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636212001282>
- Clark RA, Pua Y, Oliveira CC, Bower KJ, Thilarajah S, McGaw R, et al. (2015). Reliability and Concurrent Validity of the Microsoft Xbox One Kinect for Assessment of Standing Balance and Postural Control. *Gait Posture*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636215000740>
- Clark RA, Pua Y, Fortin K, Ritchie C, Webster KE, Denehy L, et al. (2016). Validity of the Microsoft Kinect for Assessment of Postural Control. *Gait Posture*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636212001282>
- Dockx, K., Bekkers, E. M. J., Van den Bergh, V., Ginis, P., Rochester, L., Hausdorff, J. M., Mirelman, A., & Nieuwboer, A. (2016). Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. In *Cochrane Database of Systematic Reviews* (Vol. 2016, Issue 12). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010760.pub2>
- Donaldson, S. I., & Grant-Vallone, E. J. (2002). Understanding self-report bias in organizational behavior research. *Journal of Business and Psychology*, 17(2), 245-260. <https://doi.org/10.1023/A:1019637632584>
- Dockx, K., et al. (2016). Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*, 21;12. <http://cochranelibrary-wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD010760.pub2/abstract;jsessionid=75430FBB90D7DB0AD5C0E4546A2E472F.f02t04>
- Erik A. Wikstrom; Validity and Reliability of Nintendo Wii Fit Balance Scores. *J Athl Train* 1 May 2012; 47 (3): 306–313. doi: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.16>
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health

- disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393-2400.
<https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Gago, M. F., Yelshyna, D., Bicho, E., Silva, H. D., Rocha, L., Lurdes Rodrigues, M., & Sousa, N. (2016). Compensatory postural adjustments in an oculus virtual reality environment and the risk of falling in Alzheimer's disease. *Dementia and geriatric cognitive disorders extra*, 6(2), 252-267.
- Glegg, S. M. N., & Levac, D. E. (2018). Barriers, Facilitators and Interventions to Support Virtual Reality Implementation in Rehabilitation: A Scoping Review. *PM&R*, 10(11), 1237-1251.e1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.07.004>
- Gioftsidou, A., Vernadakis, N., Malliou, P., Batzios, S., Sofokleous, P., Antoniou, P., Kouli, O., Tsapralis, K., Godolias, G. (2013). Typical balance exercises or exergames for balance improvement? *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 26(3):299–305.
https://www.researchgate.net/publication/253335376_Typical_balance_exercises_or_exergames_for_balance_improvement
- Hough, L. M., Oswald, F. L., & Ployhart, R. E. (2001). Determinants, detection and amelioration of adverse impact in personnel selection procedures: Issues, evidence and lessons learned. *International Journal of Selection and Assessment*, 9(1-2), 152-194.
- Hogg, J. A., Carlson, L. M., Rogers, A., Briles, M. W., Acocello, S. N., & Wilkerson, G. B. (2021). Reliability and concurrent validity of TRAZER compared to three-dimensional motion capture. *Journal of Clinical and Translational Research*, 7(1), 100.
- Holden, R. R., Kroner, D. G., Fekken, G. C., & Popham, S. M. (1992). A model of personality test item response dissimulation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63(2), 272–279. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.63.2.272>
- Hondori, HM., Khademi, M. (2014). A Review on Technical and Clinical Impact of Microsoft Kinect on Physical Therapy and Rehabilitation. *J Med Eng*, 2014: 846514.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4782741/>
- Howell DR, Lynall RC, Buckley TA, Herman DC. (2018). Neuromuscular Control Deficits and the Risk of Subsequent Injury after a Concussion:A Scoping Review. *Sport Med*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-018-0871-y>
- Jennifer A. Hogg,1,* Lynette M. Carlson,1 Abigail Rogers,2 Mason W. Briles,3 Shellie N. Acocello,1 and Gary B. Wilkerson1 (2021). Reliability and concurrent validity of TRAZER compared to three-dimensional motion capture.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8177031/>
- Janeh, O., Bruder, G., Steinicke, F., Gulberti, A., & Poetter-Nerger, M. (2018). Analyses of gait parameters of younger and older adults during (non-)isometric virtual walking. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(10), 2663-2674.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2771520>

- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- John, O. P., & Robins, R. W. (1994). Accuracy and bias in self-perception: Individual differences in self-enhancement and the role of narcissism. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(1), 206-219. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.66.1.206>
- John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The Big-Five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality: Theory and research* (pp. 102–138). Guilford Press. <http://t.personality-project.org/revelle/syllabi/classreadings/john.pdf>
- Kiper, P., Luque, C. M., Pernice, S., Maistrello, L., Agostini, M., & Turolla, A. (2020). Functional changes in the lower extremity after non-immersive virtual reality and physiotherapy following stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 52(11). <https://doi.org/10.2340/16501977-2763>
- Ki-Jong Kim, Hyun ju Jun (2015). Effects of Virtual Reality Programs on Proprioception and Instability of Functional Ankle Instability. https://www.researchgate.net/publication/304207395_Effects_of_Virtual_Reality_Programs_on_Proprioception_and_Instability_of_Functional_Ankle_Instability
- Kiili, K., Devlin, K., Perttula, A., Tuomi, P., & Lindstedt, A. (2015). Using video games to combine learning and assessment in mathematics education. *International Journal of Serious Games*, 2(4), 37-55. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i4.98>
- Konstantinidis, E., et al. (2016). Design, Implementation, and Wide Pilot Deployment of FitForAll: An Easy-to-use Exergaming Platform Improving Physical Fitness and Life Quality of Senior Citizens. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20(1):189-200. https://www.researchgate.net/publication/271013000_Design_Implementation_and_Wide_Pilot_Deployment_of_FitForAll_An_Easy_to_use_Exergaming_Platform_Improving_Physical_Fitness_and_Life_Quality_of_Senior_Citizens
- Kim, K.-J., & Heo, M. (2015). Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(10), 3097–3101. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3097>
- Kiper, P., Luque, C. M., Pernice, S., Maistrello, L., Agostini, M., & Turolla, A. (2020). Functional changes in the lower extremity after non-immersive virtual reality and physiotherapy following stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 52(11). <https://doi.org/10.2340/16501977-2763>
- Kurt-Aydin, M., Savaş-Kalender, D., Tarsuslu, T., & Yis, U. (2024). Feasibility of virtual reality and comparison of its effectiveness to biofeedback in children with Duchenne and Becker muscular dystrophies. *Muscle & Nerve*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mus.28084>
- Landers, R. N. (2019). Gamification misunderstood: How badly executed and rhetorical gamification obscures its transformative potential. *Journal of Management Inquiry*, 28(2), 137-140. <https://doi.org/10.1177/1056492618790913>

- Landers, R. N., Auer, E. M., & Abraham, J. D. (2020). Gamifying a situational judgment test with immersion and control game elements. *Journal of Managerial Psychology*, 43(6), 729-760. <https://doi.org/10.1177/1046878112439444>
- Langer, M., König, C. J., Sanchez, D. R.-P., & Samadi, S. (2019). Highly automated interviews: Applicant reactions and the organizational context. *Journal of Managerial Psychology*, 35(4), 301-314. <https://doi.org/10.1108/JMP-09-2018-0402>.
- Lamoth, C.J., Caljouw, S.R., Postema, K. (2011). Active video gaming to improve balance in the elderly. *Stud Health Technol Inform*, 167:159-64. https://www.researchgate.net/publication/51231122_Active_video_gaming_to_improve_Balance_in_the_Elderly
- Lucena-Anton, D., Fernandez-Lopez, J. C., Pacheco-Serrano, A. I., Garcia-Munoz, C., & Moral-Munoz, J. A. (2022). Virtual and augmented reality versus traditional methods for teaching physiotherapy: a systematic review. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 12(12), 1780-1792. <https://doi.org/10.3390/ejihpe12120125>
- Μαυρίδης, Α., & Τσιάτσος, Θ. (2016). Αξιολόγηση βάσει παιχνιδιού: Διερεύνηση της επίδρασης στο άγχος των εξετάσεων και στην απόδοση των εξετάσεων. *Εφημερίδα της μάθησης με τη βοήθεια υπολογιστή*, 33 (2), 137-150. <https://doi.org/10.1111/jcal.12170>
- Maarten B. Jalink. (2014). Validation of a video game made for training laparoscopic skills. NetzoDruk Groningen B.V. 978-90-367-7252-5. https://www.researchgate.net/publication/343685760_Validation_of_a_video_game_made_for_training_laparoscopic_skills/citations#fullTextFileContent
- Matar, E., Shine, J. M., Naismith, S. L., & Lewis, S. J. (2013). Using virtual reality to explore the role of conflict resolution and environmental salience in freezing of gait in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 19(11), 937-942. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2013.06.002>
- McMahan, R. P., Bowman, D. A., Zielinski, D. J., & Brady, R. B. (2012). Evaluating display fidelity and interaction fidelity in a virtual reality game. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(4), 626-633. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.43>
- McPherson AL, Nagai T, Webster KE, Hewett TE. (2019). Musculoskeletal Injury Risk After Sport-Related Concussion: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546518785901>
- Merchant-Borna, K., Jones, C. M. C., Janigro, M., Wasserman, E. B., Clark, R. A., & Bazarian, J. J. (2017). Evaluation of Nintendo Wii balance board as a tool for measuring postural stability after sport-related concussion. *Journal of athletic training*, 52(3), 245-255. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28387551/>
- Mentiplay, B. F., Hasanki, K., Perraton, L. G., Pua, Y. H., Charlton, P. C., & Clark, R. A. (2018). Three-dimensional assessment of squats and drop jumps using the Microsoft Xbox One Kinect: Reliability and validity. *Journal of sports sciences*, 36(19), 2202-2209. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29493398/>
- Mentiplay, B. F., Clark, R. A., Mullins, A., Bryant, A. L., Bartold, S., & Paterson, K. (2013). Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture. *Journal*

- of Foot and Ankle Research, 6, 1-10. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1186/1757-1146-6-14>
- Mohammed Alrashidi 1 2 3, Curtis A Wadey 1, Richard J Tomlinson 4, Gavin Buckingham 2, Craig A Williams (2023). The efficacy of virtual reality interventions compared with conventional physiotherapy in improving the upper limb motor function of children with cerebral palsy: a systematic review of randomised controlled trials. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35575755/>
- Mohammed Gumaa 1, Aliaa Rehan Youssef 2 (2019). Is Virtual Reality Effective in Orthopedic Rehabilitation? A Systematic Review and Meta-Analysis. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31343702/>
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of materials processing technology*, 155, 1834-1838. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604005618>
- Muhanna, M. A. (2015). Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 27(3), 344–361. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023>
- Mislevy, R. J., Corrigan, S., Oranje, A., DiCerbo, K., Bauer, M. I., von Davier, A., & John, M. (2016). Psychometrics and game-based assessment. In F. Drasgow (Ed.), *Technology and testing: Improving educational and psychological measurement* (pp. 23-48). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315871493>
- Moorthy, K., Munz, Y., Jiwanji, M., Bann, S., Chang, A., & Darzi, A. (2004). Validity and reliability of a virtual reality upper gastrointestinal simulator and cross validation using structured assessment of individual performance with video playback. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 18(2), 328-333. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-8513-2>
- Mortazavi, F., Ghomsheh, AN. (2018). Stability of Kinect for range of motion analysis in static stretching exercises. *PLoS One*, 13(7): e0200992. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6057630/>
- Negus, J. J., Cawthorne, D., Clark, R., Negus, O., Xu, J., March, L., & Parker, D. (2019). Validity and reliability of the Nintendo Wii Fit Stillness score for assessment of standing balance. *Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology*, 15, 29-34. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6300417/>
- Nikolaou, I., Georgiou, K., & Kotsasarlidou, V. (2019). Exploring the relationship of a gamified assessment with performance. *Spanish Journal of Psychology*, 22, E6. <https://doi.org/10.1017/sjp.2019.5>
- Nyman E. (2017). A Comprehensive Evaluation of the TRAZER System: Verification.
- Okechukwu, M., & Udoka, F. (2011). Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications. In *Advances in Computer Science and Engineering*. InTech. <https://doi.org/10.5772/15529>
- Oh, Y., Yang, S. (2010). Defining exergames & exergaming. Conference: Meaningful Play 2010. https://www.researchgate.net/publication/230794344_Defining_exergames_exergaming

- Paulhus, D. L., & Holden, R. R. (2009). 12 Measuring Self-Enhancement: From Self-Report to Concrete Behavior. Then a miracle occurs: Focusing on behavior in social psychological theory and research, 227.
- Patel, A. D., Gallagher, A. G., Nicholson, W. J., & Cates, C. U. (2006). Learning curves and reliability measures for virtual reality simulation in the performance assessment of carotid angiography. *Journal of the American College of Cardiology*, 47(9), 1796-1802. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.12.053>
- Park, DS., Lee, GC. (2014). Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: usability and validation. *J Neuroeng Rehabil.* 11: 99. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4074461/>
- Park, J-H., Park, J-H. (2016). The effects of game-based virtual reality movement therapy plus mental practice on upper extremity function in chronic stroke patients with hemiparesis: a randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci*, 28(3): 811–815. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4842444/>
- Pazzaglia, C., Imbimbo, I., Tranchita, E., Minganti, C., Ricciardi, D., Lo Monaco, R., Parisi, A., & Padua, L. (2020). Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson’s disease: a randomised controlled trial. *Physiotherapy*, 106, 36–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.12.007>
- Prince, S. A., Adamo, K. B., Hamel, M. E., Hardt, J., Gorber, S. C., & Tremblay, M. (2008). A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: A systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(5), 1-24. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-56>
- Pöhlmann, S.TL., Harkness, EF., Taylor, CJ., Astley, SM. (2016). Evaluation of Kinect 3D Sensor for Healthcare Imaging. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 36 (6): 857–870. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40846-016-0184-2>
- Ramirez, E. J. (2019). Ecological and ethical issues in virtual reality research: A call for increased scrutiny. *Philosophical Psychology*, 32(2), 211-233. <https://doi.org/10.1080/09515089.2018.1532073>
- Ruse, S. A., Davis, V. G., Atkins, A. S., Krishnan, K. R. R., Fox, K. H., Harvey, P. D., & Keefe, R. S. (2014). Development of a virtual reality assessment of everyday living skills. *Journal of Visualized Experiments*, 86, e51405. <https://doi.org/10.3791/51405>
- Reed-Jones, RJ., Dorgo,S., Hitchings, MK., O. Bader, J. (2012). WiiFit™ Plus balance test scores for the assessment of balance and mobility in older adults. *Gait Posture*, 36(3): 430–433. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3407275/>
- Rutkowski, S., Rutkowska, A., Kiper, P., Jastrzebski, D., Rachenjuk, H., Turolla, A., Szczegielniak, J., & Casaburi, R. (2020). Virtual Reality Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 15(null), 117–124. <https://doi.org/10.2147/COPD.S223592>
- Shahrbanian, S., Ma, X., Aghaei, N., Korner-Bitensky, N., Moshiri, K., & Simmonds, M. J. (2012). Use of virtual reality (immersive vs. non immersive) for pain management in children and adults: A systematic review of evidence from randomized controlled trials. *Eur J Exp Biol*, 2(5), 1408–1422.

- Sabrina Mae Deans (2011). Determining the validity of the Nintendo Wii balance board as an assessment tool for balance. <https://digitalscholarship.unlv.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2241&context=thesedissertations>
- Santos FV, Yamaguchi F, Buckley TA, Caccese JB. (2020). Virtual Reality in Concussion Management: From Lab to Clinic. *J Clin Transl Res*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7357617/>
- Schellings, G., & Van Hout-Wolters, B. (2011). Measuring strategy use with self-report instruments: Theoretical and empirical considerations. *Metacognition and Learning*, 6(2), 83-90. <https://doi.org/10.1007/s11409-011-9081-9>
- Suh, A., Cheung, C. M. K., Ahuja, M., & Wagner, C. (2017). Gamification in the workplace: The central role of the aesthetic experience. *Journal of Management Information Systems*, 34(1), 268–305. <https://doi.org/10.1080/07421222.2017.1297642>
- Staiano, AE., & Calvert, SL. (2011). Exergames for Physical Education Courses: Physical, Social, and Cognitive Benefits. *Child Dev Perspect*, 5(2): 93–98. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3339488/>
- Tripette, J., et al. (2017). The contribution of Nintendo Wii Fit series in the field of health: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 5: e3600. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5590553/>
- Unity Technologies Blog (2018). 2018.2 is now available – Unity. [Online]. <https://blogs.unity3d.com/2018/07/10/2018-2-is-now-available/>
- Van Voorhis, V., & Paris, B. (2019). Simulations and serious games: Higher order thinking skills assessment. *Journal of Applied Testing Technology*, 20(S1), 35-42. <http://www.jattjournal.com/index.php/atp/article/view/142700>
- Van Diest, M., et al. (2013). Exergaming for balance training of elderly: state of the art and future developments. *J Neuroeng Rehabil*, 10: 101. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3851268/>
- Vernadakis, N., Derri, V., Tsitskari, E., & Antoniou, P. (2014). The effect of Xbox Kinect intervention on balance ability for previously injured young competitive male athletes: a preliminary study. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 148-155. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24239167/>
- Webb, C. A., Schwab, Z. J., Weber, M., DelDonno, S., Kipman, M., Weiner, M. R., & Killgore, W. D. (2013). Convergent and divergent validity of integrative versus mixed model measures of emotional intelligence. *Intelligence*, 41(3), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.01.004>
- Weiner, E., & Sanchez, D. R. (2020). Cognitive ability in virtual reality: Validity evidence for VR game-based assessments. *International Journal of Selection & Assessment*, 28(3), 215-235. <https://doi.org/10.1111/ijsa.12295>
- Zhang, L., Abreu, B. C., Seale, G. S., Masel, B., Christiansen, C. H., & Ottenbacher, K. J. (2003). A virtual reality environment for evaluation of a daily living skill in brain injury rehabilitation: Reliability and validity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(8), 1118-1124. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(03\)00203-x](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00203-x)