



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

# **Φορητές συσκευές για ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον**

**ΜΠΟΥΜΠΑ ANNA**  
**Αριθμός Μητρώου: 48016068**

**Επιβλέπων Καθηγητής**  
**Βεντούρας Ερρίκος, Καθηγητής**

**Αθήνα 08/03/2023**

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Ερρίκος Βεντούρας

Καθηγητής

Παντελεήμων Ασβεστάς

Καθηγητής

Αικατερίνη Σκουρολιάκου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Άννα Μπούμπα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 48016068 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα 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, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

**08/03/2023**

Η Δηλούσα



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την συγκέντρωση, ανάλυση και παρουσίαση όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών σχετικά με τεχνολογικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την διαχείριση της νευρολογικής ασθένειας που ονομάζεται νόσος του Πάρκινσον, εστιάζοντας στις συσκευές οι οποίες προσαρμόζονται με διάφορους τρόπους επάνω στον ασθενή και διευκολύνουν ποικιλοτρόπως τον ίδιο αλλά και τον ιατρό στην διάγνωση και διαχείριση της νόσου. Στις συσκευές αυτές αναφερόμαστε με τον όρο «φορετές συσκευές». Στόχος της διπλωματικής ήταν η κατανόηση και παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας και των δυνατοτήτων διαφόρων τύπων φορετών συσκευών που έχουν εφευρεθεί, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η μεγάλη σημασία τους στην ορθή διαχείριση της νόσου του Πάρκινσον. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τρία στάδια. Πρώτον, στην συγκέντρωση σχετικών άρθρων μέσα από ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων και από έγκυρες επιστημονικές διαδικτυακές πηγές. Δεύτερον, στην επιλογή των μερών των δημοσιεύσεων που συγκεντρώθηκαν και δίνουν πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο της μελέτης μας. Τρίτον στην ανάλυση και συσχέτιση όλων αυτών των πληροφοριών και δεδομένων έτσι ώστε να συντάξουμε την εργασία, ξεκινώντας φυσικά από μια παρουσίαση της νόσου και προχωρώντας στα τεχνολογικά μέρη της εργασίας. Τα συμπεράσματα που μπορέσαμε να αντλήσουμε από όλη αυτήν την διαδικασία είναι τα παρακάτω: Οι φορετές συσκευές αποτελούν σημαντικό εργαλείο στα χέρια των ιατρών και των ασθενών για την νόσο του Πάρκινσον. Η τεράστια πρόοδος της τεχνολογίας στις μέρες μας δίνει εκπληκτικές δυνατότητες στις φορετές συσκευές και οι πολλές και συστηματικές έρευνες που γίνονται επάνω σε αυτές δίνουν προοπτικές περαιτέρω εξέλιξης και ευρείας διάδοσής τους, τόσο για την νόσο του Πάρκινσον, αλλά και γενικότερα στο χώρο της ιατρικής για το μέλλον.

**Λέξεις κλειδιά:** νόσος του Πάρκινσον, τρέμουλο, βάδιση, κινητικές διαταραχές, φορετές συσκευές, διάγνωση, αποκατάσταση

## **ABSTRACT**

The topic of this Thesis concerned collecting, analyzing and presenting as much information as possible about technological tools that have been developed for the management of the neurological disease called Parkinson's disease, focusing on the devices that are adapted or positioned in various ways on the body of the patient and facilitate in various ways himself and the doctor in the diagnosis and management of the disease. We refer to these devices as "wearable devices". The objective of the Thesis was to understand and present the way of operation and the capabilities of various types of wearable devices that have been invented, so that their great importance in the proper management of Parkinson's disease is exposed. The methodology followed for the preparation of the Thesis is divided into three stages. First, in gathering relevant articles through academic databases and from authoritative scientific online sources. Second, in the selection of the parts of the publications collected that give information about the subject of our study. Third, in analyzing and correlating all this information and data so as to produce the synthesis that comprises the Thesis, naturally starting with a presentation of the disease and proceeding to the technological parts of the Thesis. The conclusions we were able to draw from this whole process are the following: Wearable devices are an important tool in the hands of doctors and patients for Parkinson's disease. The enormous progress of technology these days gives amazing possibilities to wearable devices and the many and systematic researches carried out on them give prospects for their further development and widespread dissemination in the future, both for Parkinson's disease, but also generally in the field of medicine.

**Keywords:** Parkinson's disease, tremor, gait, movement disorders, wearable devices, diagnosis, rehabilitation.

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστώ θερμά τον εισηγητή μου κ. Ερρίκο Βεντούρα για την συνεργασία και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	7
1.Εισαγωγή.....	8
1.1 Η νόσος του Πάρκινσον.....	8
1.2 Διάγνωση και θεραπεία της νόσου του Πάρκινσον.....	10
1.2.1 Διάγνωση.....	10
1.2.2 Θεραπεία.....	13
1.3 Τα είδη των συσκευών που θα αναπτυχθούν στην εργασία.....	15
1.4 Μηχανική Μάθηση και Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things ).....	16
1.4.1 Μηχανική Μάθηση.....	16
1.4.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things - IOT).....	17
2. Φορητές διατάξεις για την διαχείριση της νόσου του Πάρκινσον.....	19
2.1 Διάγνωση και Φορητές Διατάξεις.....	19
2.1.1 Τρέμουλο.....	20
2.1.2 Κινητικές Διαταραχές κατά την βάδιση στο PD - Βραδυκινησία, FOG, Δυσκινησία, Αστάθεια.....	28
2.2 Αποκατάσταση, υποβοήθηση και διαχείριση συμπτωμάτων της νόσου του Πάρκινσον.....	46
2.2.1 Gamepad: φορητό σύστημα αποκατάστασης βάδισης και ισορροπίας στην PD.....	47
2.2.2 Φορητή συσκευή Ambulosono για κατ' οίκον προπόνηση.....	49
3. Συμπερασματικές παρατηρήσεις - σημασία φορητών διατάξεων στην διάγνωση και διαχείριση της νόσου.....	52
Αναφορές - Πηγές.....	54
Παράρτημα: Κλίμακα Hoehn και Yahr για την διάγνωση της νόσου του Πάρκινσον.....	57

# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Η νόσος του Πάρκινσον

Στις μέρες μας, χιλιάδες άνθρωποι πάσχουν από κινητικές και νοητικές διαταραχές. Η νόσος του Πάρκινσον (Parkinson Disease – PD) είναι μια προοδευτική ασθένεια και αποτελεί μια από τις πιο συχνές αιτίες κινητικών διαταραχών (López-Blanco, et al., 2019). Ο Άγγλος ιατρός James Parkinson, από τον οποίο πήρε το όνομα η ασθένεια αυτή, ήταν ο πρώτος που περιέγραψε την ασθένεια το 1817 στο άρθρο του «An Essay on Shaking Palsy» όπου περιέγραψε λεπτομερώς όλες τις παραμέτρους και τα συμπτώματα χωρισμένα ανά ομάδες. Η νόσος του Πάρκινσον είναι μια εκφυλιστική διαταραχή του κεντρικού νευρικού συστήματος η οποία οφείλεται σε σταδιακή μείωση των ντοπαμινικών (dopaminergic) νευρώνων των βασικών γαγγλίων (basal ganglia) και άλλων υποφλοιικών (sub-cortical) νευρώνων στον εγκέφαλο (Bächlin, et al., 2010; Tsiouras, et al., 2014; Son, et al., 2018).

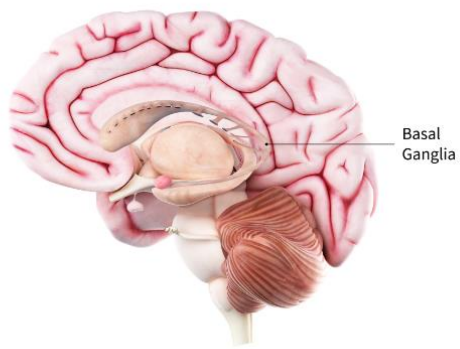


*Εικόνα 1: James Parkinson*

(πηγή:[https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-Dr-James-Parkinson-1755-1825\\_fig1\\_5335582](https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-Dr-James-Parkinson-1755-1825_fig1_5335582))

Η νόσος του Πάρκινσον χαρακτηρίζεται κυρίως από κινητικά συμπτώματα όπως δυσκινησία, βραδυκινησία, ακαμψία, τρέμουλο, αστάθεια στάσης, μειωμένη ισορροπία, σύρσιμο των ποδιών, επεισόδια «freezing of gait» (FOG) κατά τα οποία ο ασθενής αισθάνεται για κάποια δευτερόλεπτα ότι «τα πόδια είναι καθηλωμένα στο έδαφος». Εκτός όμως από τα κινητικά συμπτώματα υπάρχουν και μη κινητικά συμπτώματα όπως η κατάθλιψη, η δυσλειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος και η διαταραχή του ύπνου, της νοητικής αντίληψης και της όσφρησης. Όλες αυτές οι διαταραχές που προκαλεί η νόσος έχουν ως αποτέλεσμα τον περιορισμό των ασθενών στις καθημερινές προσωπικές και κοινωνικές τους δραστηριότητες επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα ζωής τους (Son, et al., 2018; Lu, et al., 2020).



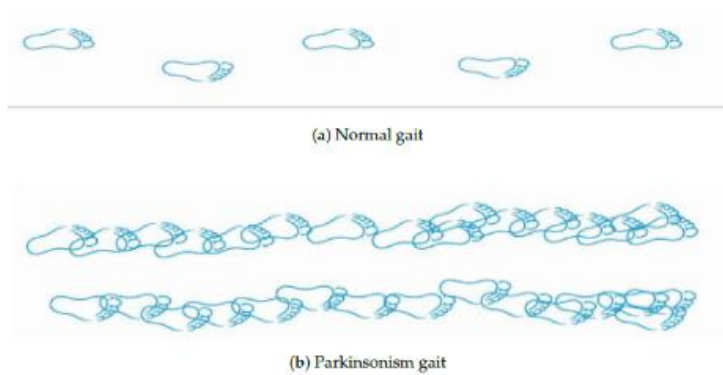


Εικόνα 2: Βασικά γάγγλια

(πηγή: <https://www.nia.nih.gov/health/parkinsons-disease>)



Εικόνα 3: Εικονογράφηση της ασθένειας του Πάρκινσον από τον William Richard Gowers (1886) (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Parkinson%27s\\_disease](https://en.wikipedia.org/wiki/Parkinson%27s_disease))



Εικόνα 4: (a) Φυσιολογικό βάδισμα (b) Παρκινσονικό βάδισμα (Channa, et al., 2020)

## 1.2 Διάγνωση και θεραπεία της νόσου του Πάρκινσον

### 1.2.1 Διάγνωση

Για την διάγνωση της ασθένειας αυτής υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όμως καμία από αυτές δεν αποτελεί μέχρι σήμερα τον «χρυσό κανόνα» για την διάγνωση της νόσου (Channa, et al., 2020). Η δυσκολία στην διάγνωση έγκειται στο γεγονός ότι πρέπει να αναγνωριστούν και να αξιολογηθούν ταυτόχρονα πολλά συμπτώματα, κινητικά και μη κινητικά, τα οποία συχνά παρουσιάζονται με διαφορετική ένταση και διαφέρουν από άτομο σε άτομο (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021; Channa, et al., 2020). Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλες ασθένειες εμφανίζουν παρόμοια συμπτώματα με την ασθένεια αυτή. Η διάγνωση της PD βασίζεται στην παρακολούθηση των κινητικών και μη κινητικών συμπτωμάτων. Συνήθως διεξάγεται από νευρολόγο ιατρό ο οποίος παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τον ασθενή. Κατά την διάρκεια της εξέτασης, αξιολογεί την σοβαρότητα της PD ζητώντας από τον ασθενή να εκτελέσει συγκεκριμένες εντολές (tasks) (Channa, et al., 2020; Rovini, et al., 2017). Επίσης για την διαφοροδιάγνωση της PD χρησιμοποιούνται, βοηθητικά, εξετάσεις μαγνητικής τομογραφίας (Magnetic Resonance Imaging - MRI) εγκεφάλου για τον αποκλεισμό άλλων μορφών παρκινσονισμού και άλλες εξετάσεις, όπως το διακρανιακό Doppler (Transcranial Doppler - TCD), την τομογραφία εκπομπής φωτονίων (Single Photon Emission Computed Tomography - SPECT) τομογραφία, την τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography - PET) και την εξέταση οσφρητικής λειτουργίας, όπου εκτιμάται η όσφρηση του ασθενούς (Rovini, et al., 2017; Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018).

Για τα συμπτώματα που παρουσιάζει η ασθένεια αυτή έχουν δημιουργηθεί πολλές και διαφορετικές κλίμακες αλλά και ερωτηματολόγια, ούτως ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση, αξιολόγηση και η ταξινόμησή τους. Η χρήση των μεθόδων αυτών αποσκοπεί στην πραγματοποίηση μιας γενικότερης αξιολόγησης για την εξέλιξή της (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021). Οι πιο συνηθισμένες βαθμολογικές κλίμακες είναι η Ενοποιημένη Κλίμακα Βαθμολόγησης της Νόσου του Parkinson (Unified Parkinson Disease Rating Scale - UPDRS) και η αναβαθμισμένη UPDRS κλίμακα από την Movement Disorder Society (MDS-UPDRS) και η κλίμακα των Hoehn και Yahr (Channa, et al., 2020; Rovini, et al., 2017). Ειδικά κλινικά συστήματα βαθμολόγησης για όλες τις κινητικές καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένου του τρέμουλου, της βραδυκινησίας, της βάδισης και της αστάθειας της στάσης, των κινητικών διακυμάνσεων (“on-off” καταστάσεων) και της δυσκινησίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα ( Πίνακας 1) (Ossig, et al., 2016).

Πίνακας 1 (Ossig, et al., 2016)

Σύμπτωμα	Κλινικό σύστημα βαθμολόγησης
Τρέμουλο	<ul style="list-style-type: none"><li>• UPDRS</li><li>• MDS-UPDRS</li><li>• Fahn–Tolosa–Marin Tremor Rating Scale</li><li>• Tremor Rating Scale - TRS</li></ul>
Βραδυκινησία	<ul style="list-style-type: none"><li>• UPDRS</li><li>• MDS-UPDRS</li></ul>

<b>Βάδισμα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UPDRS</li> <li>• MDS-UPDRS</li> <li>• Timed “Up and Go” test</li> </ul>
<b>Δυσκινησία</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UPDRS</li> <li>• MDS-UPDRS</li> <li>• Unified Dyskinesia Rating Scale</li> <li>• modified Abnormal Involuntary Movement Scale - mAIMS</li> </ul>
<b>On-Off καταστάσεις</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PD home diary</li> <li>• Home video recording</li> </ul>

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε με περισσότερη λεπτομέρεια στις πλέον χρησιμοποιούμενες κλίμακες και δοκιμασίες.

### **Κλίμακες UPDRS & MDS-UPDRS**

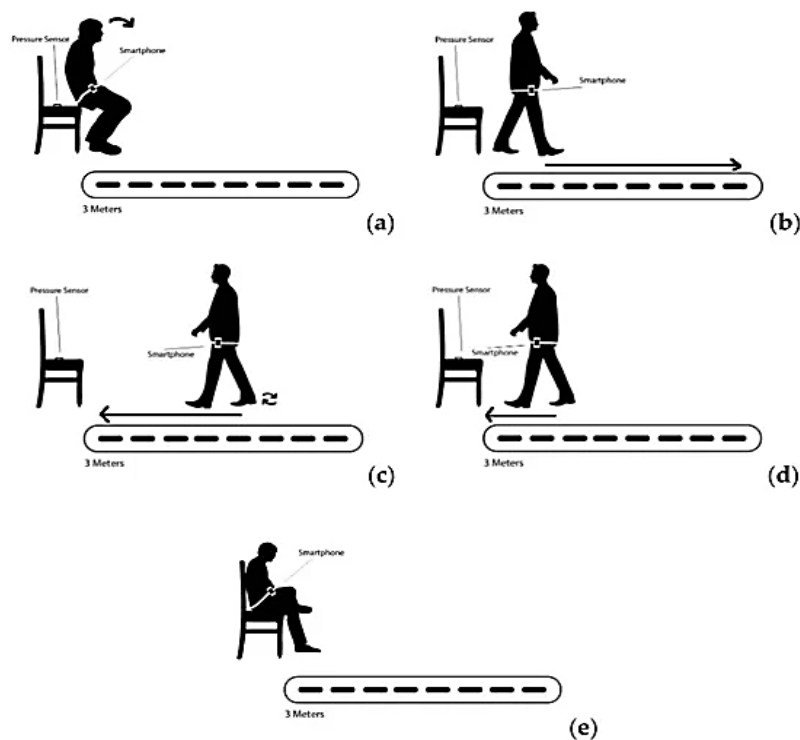
Η κλίμακα αξιολόγησης της νόσου του Parkinson Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS) επιτρέπει την αξιολόγηση των κινητικών συμπτωμάτων και των μη κινητικών συμπτωμάτων σε PD ασθενείς. Η κλίμακα αποτελείται από τυποποιημένες κινήσεις και ασκήσεις, και έτσι ο γιατρός αξιολογεί τον εξεταζόμενο χωρίς να απαιτείται η χρήση ειδικών συσκευών. Κάθε κινητική άσκηση βαθμολογείται από 0 έως 4 ανάλογα με την σοβαρότητα της κατάστασης (Lukšys, et al., 2018). Η κλίμακα περιλαμβάνει 42 τομείς και χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες: 1<sup>η</sup> κατηγορία: «Σκέψη, συμπεριφορά και διάθεση», 2<sup>η</sup> κατηγορία: «Δραστηριότητες της καθημερινής ζωής», 3<sup>η</sup> κατηγορία: «Εξέταση της κινητικότητας» και 4<sup>η</sup> κατηγορία: «Επιπλοκές κατά την θεραπεία (δυσκινησία, διακυμάνσεις, ανορεξία, ναυτία, εμετοί, προβλήματα ύπνου, ορθοστατική υπόταση)» (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021).

Η Movement Disorder Society θεώρησε αναγκαίο να εξελίξει την συγκεκριμένη κλίμακα ώστε να καλύπτει τομείς που η υπάρχουσα κλίμακα UPDRS δεν απαντούσε ή απαντούσε με ασάφεια. Έτσι αναθεώρησε την κλίμακα δημιουργώντας την MDS-UPDRS, η οποία στη συνέχεια επικυρώθηκε για να αξιολογήσει τα κινητικά συμπτώματα σε PD ασθενείς (Ossig, et al., 2016). Η αναθεωρημένη κλίμακα UPDRS ύστερα από μελέτη χαρακτηρίστηκε από αξιοπιστία και εγκυρότητα στην βαθμολογία ασθενών που πάσχουν από την νόσο (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021). Γενικότερα, τόσο η UPDRS κλίμακα όσο και η αναθεωρημένη, υπερτερούν στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται ευρέως στην PD, επειδή καλύπτει σχεδόν όλα τα συμπτώματα της PD, παρέχοντας αξιόπιστα και έγκυρα αποτελέσματα (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021).

### **Δοκιμασία «χρονομετρημένης άρσης και βάδισης» («Timed Up and Go» test - TUG)**

Η δοκιμασία (test) «χρονομετρημένης άρσης και βάδισης» (“Timed Up and Go” test - TUG) είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο τεστ αξιολόγησης της κινητικότητας, της ισορροπίας, της ικανότητας βαδίσματος και του πιθανού κινδύνου πτώσης σε ηλικιωμένα άτομα ή σε άτομα με νευρολογικές παθήσεις όπως η PD. Κατά την διάρκεια αυτής της δοκιμασίας γίνεται καταγραφή του χρόνου (σε δευτερόλεπτα) που

χρειάζεται ο εξεταζόμενος για να σηκωθεί από μια καρέκλα, να περπατήσει απόσταση 3 μέτρων, να κάνει στροφή (180°), να περπατήσει πίσω προς την καρέκλα και να καθίσει σε αυτήν. Το τεστ χωρίζεται σε έξι φάσεις και είναι οι εξής: (α) «φάση του σηκώματος (από την καρέκλα)», (β) «φάση περπατήματος 3 μέτρων», (γ) «φάση περιστροφής», (δ) «φάση επιστροφής -3 μέτρα», (ε) «φάση τελευταίας περιστροφής», (στ) «φάση καθίσματος (στην καρέκλα). Από αυτές τις φάσεις μπορούν να αντληθούν πληροφορίες για την συμπεριφορά του ασθενούς πάνω στην άσκηση. Με χρήση χρονομέτρου οι κλινικοί ιατροί αξιολογούν τον συνολικό χρόνο που χρειάστηκε ο ασθενής για να ολοκληρώσει το τεστ (Rozin Kleiner, et al., 2018). Το TUG τεστ θεωρείται ότι είναι ένας πολύ καλός τρόπος αξιολόγησης κινητικών συμπτωμάτων σε PD ασθενείς, διότι περιλαμβάνει βάδισμα και στροφές τα οποία επηρεάζονται από την ασθένεια του Πάρκινσον (Mariani, et al., 2013; Rozin Kleiner, et al., 2018). Ενώ το TUG τεστ αποτελεί εύκολη και απλή διαδικασία, ο χρόνος εκτέλεσης του είναι περιορισμένος και αυτό αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα του, από την στιγμή που δεν αξιολογεί την κατάσταση του ασθενούς για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα της δραστηριότητάς του (Mariani, et al., 2013).



Εικόνα 5: Φάσεις του TUG τεστ: a) φάση: του σηκώματος, b) φάση περπατήματος 3 μέτρων, c) φάση περιστροφής, d) φάση επιστροφής -3 μέτρα, e) φάση τελευταίας περιστροφής και φάση καθίσματος) (πηγή: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/3/528/html>)

Όσον αφορά την διαβαθμολογική αξιοπιστία μεταξύ των αξιολογητών και τη συνεχή παρακολούθηση, δηλ. για διάρκειες πέραν μιας σύντομης δοκιμασίας, οι κλίμακες κλινικής αξιολόγησης έχουν διάφορους περιορισμούς. Έχουν δηλαδή περιορισμένη ικανότητα αξιολόγησης των καθημερινών λειτουργικών ικανοτήτων με ολοκληρωμένο τρόπο. Συγκεκριμένα, υπόκεινται σε περιορισμένη συλλογή δεδομένων, υποκειμενικότητα και μεταβλητότητα μεταξύ των πορισμάτων των αξιολογητών, και δυσκολίες αντίληψης, ανάκλησης και σωστής εκτίμησης των

περιστατικών που αποτελούν συμπτώματα της PD από την πλευρά των ασθενών (Son, et al., 2018).

Συνεπώς η ανάγκη για συνεχή αλλά και αντικειμενική παρακολούθηση των κινητικών συμπτωμάτων της νόσου για την βελτίωση της θεραπείας είναι πολύ σημαντική. Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία που έχουν οδηγήσει σε ανάπτυξη νέας τεχνολογίας μπαταριών, αισθητήρων κίνησης (π.χ. επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια) και ανταλλαγής πληροφοριών, έχουν ως αποτέλεσμα την διεύρυνση του πεδίου της αντικειμενικής μέτρησης της κίνησης στην καθημερινότητα αλλά και στην ιατρική με την χρήση φορητών αισθητήρων που επιτρέπουν συνεχή παρακολούθηση (μακροπρόθεσμη παρακολούθηση) (Ossig, et al., 2016).

## 1.2.2 Θεραπεία

Για την νόσο του Πάρκινσον δεν υπάρχει αποτελεσματική και πλήρης θεραπεία. Παρόλα αυτά, για την ανακούφιση των συμπτωμάτων, οι ασθενείς λαμβάνουν φαρμακευτική αγωγή με χρήση ντοπαμινεργικού φαρμάκου, όπως τους αγωνιστές ντοπαμίνης και την λεβοντόπα (Levodopa - L-dopa), η οποία αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο και πλέον αποτελεσματικό φάρμακο για την διαχείριση των συμπτωμάτων της PD. Παρόλη την αποτελεσματικότητα του φαρμάκου αυτού, καθώς εξελίσσεται η ασθένεια έχουμε μείωση της αποδοτικότητάς του. Ενώ στις αρχές της φαρμακευτικής αγωγής τα οφέλη του φαρμάκου διαρκούν συνήθως όλη την ημέρα, όσο η νόσος προχωρεί το όφελος του φαρμάκου δεν διαρκεί μέχρι την επόμενη δόση, φαινόμενο που ονομάζεται «wearing off» (Movement Disorder Society, 2016) με αποτέλεσμα να απαιτείται ανά διαστήματα αύξηση της δόσης. Όταν η δράση των φαρμάκων εξασθενεί τα συμπτώματα της PD επανεμφανίζονται. Όταν ο ασθενής λάβει την αγωγή, ξανά τα συμπτώματα θα βελτιωθούν και αυτή η «καλή» περίοδος ονομάζεται «ON» ενώ η «κακή» περίοδος «OFF» (Movement Disorder Society, 2016). Οι αγωνιστές ντοπαμίνης παρουσιάζουν άμεση δράση στον μετασυναπτικό υποδοχέα σε αντίθεση με την λεβοντόπα. Επίσης έχουν μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής από την L-dopa και η χορήγησή τους προκαλεί λιγότερες μακροχρόνιες κινητικές διαταραχές και καθυστερεί την έναρξη λήψης της λεβοντόπα. Στα αρχικά στάδια της νόσου χορηγούνται ως μονοθεραπεία για να καθυστερήσουν την έναρξη της χορήγησης της L-dopa, ενώ σε πιο προχωρημένα στάδια της νόσου συγχωρηγούνται με την L-dopa (Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018; Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021). Ακόμα, από την χρήση των φαρμάκων οι ασθενείς μπορεί να εμφανίσουν δυσκινησίες δηλαδή ακούσιες κινήσεις (συστροφή των άκρων και του κορμού) οι οποίες δυσκολεύουν τον ασθενή για την τέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων. Όταν αυτές οι παρενέργειες είναι σχεδόν αδύνατο να ελεγχθούν, οι ασθενείς υπόκεινται συχνά σε χειρουργικές επεμβάσεις όπως η νευροτροποποίηση με χρήση εν τω βάθει εγκεφαλικής διέγερσης (DBS) (Rovini, et al., 2017).

Άλλοι παράγοντες, πέραν των φαρμακευτικών, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην καλύτερη αντιμετώπιση και εξέλιξη της ασθένειας είναι η σωστή διατροφή και η συστηματική άσκηση. Η «άσκηση είναι φάρμακο». Όσον αφορά τις σωματικές διαταραχές της νόσου, η στάση του σώματος, η ισορροπία και γενικότερα η κινητικότητα του ασθενούς επηρεάζονται από την PD. Η σωματική άσκηση όμως βοηθάει στην καταπολέμηση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων. Αερόβια άσκηση, καθημερινές διατάσεις του σώματος, φυσιοθεραπεία, ασκήσεις ενδυνάμωσης και άλλες σωματικές δραστηριότητες βοηθούν σημαντικά στην διαχείριση της ασθένειας. Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά τις νοητικές διαταραχές της νόσου, η άσκηση μπορεί επίσης να φανεί ευεργετική. Μια σημαντική ιδιότητα

που έχει ο εγκέφαλος είναι η πλαστικότητα, δηλαδή η ικανότητα να δημιουργεί και να αναδιοργανώνει συνδέσεις (συνάψεις). Υπάρχουν δεδομένα που υποστηρίζουν πως η άσκηση πιθανώς να συμβάλει στην ιδιότητα αυτή του εγκεφάλου. Η άσκηση βοηθάει στην βελτίωση της προσοχής, της σκέψης και της μνήμης. Ακόμα με την σωματική δραστηριότητα μπορούν να ωφεληθούν περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με τη μάθηση. Η επίδραση αυτή είναι πιο εμφανής στις αρχές της νόσου (Movement Disorder Society, 2017).

Μέχρι σήμερα συνεχίζονται οι έρευνες και για άλλες μεθόδους ανακούφισης των κινητικών και μη συμπτωμάτων, όπως η έγχυση εντερικής γέλης λεβοντόπα-καρβιντόπα (levodopa - carbidopa intestinal gel - LCIG) αντί για στοματική χορήγηση της L-dopa και η χρήση εμφυτεύσιμων, φορητών και φορετών διατάξεων (Wang, et al., 2018). Οι δύο τελευταίες κατηγορίες συσκευών είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής.

### 1.3 Τα είδη των συσκευών που θα αναπτυχθούν στην εργασία

Οι φορητές και φορετές διατάξεις αναφέρονται σε, κατά βάση, διαφορετικά συστήματα. Συγκεκριμένα οι φορητές διατάξεις συγκροτούνται από συσκευές που προσαρμόζονται κατευθείαν επάνω στο σώμα με την χρήση διαφόρων τεχνικών (π.χ. με ιμάντες και ζώνες). Από την άλλη, οι φορετές διατάξεις απαρτίζονται από συσκευές που εφαρμόζονται εμμέσως επάνω στο σώμα, όντας προσαρμοσμένες επάνω σε ενδύματα (π.χ. γιλέκα, σόλες παπουτσιών). Στην παρούσα όμως εργασία με τον όρο φορετές διατάξεις θα αναφερόμαστε γενικότερα και στους δυο τύπους διατάξεων. Σημειώνουμε ότι, όπως διαπιστώσαμε από την ανασκόπηση που έγινε, η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών αφορούσαν φορητές συσκευές. Οι μόνες φορετές συσκευές, που εντοπίστηκαν στην αναζήτηση βιβλιογραφίας που έγινε στην παρούσα εργασία, ήταν προσαρμοσμένες σε σόλες παπουτσιών. Επίσης, κάποιες από τις διατάξεις κινούνται στα όρια μεταξύ φορητής και φορητής διάταξης. Ένα παράδειγμα είναι κάποια “έξυπνα ρολόγια” “smartwatches”, τα οποία ενώ προσαρμόζονται στο γυμνό χέρι (φορητές συσκευές), θεωρούνται και ως ειδικά εξαρτήματα ένδυσης, που περιέχουν και πρόγραμμα για διάφορες μετρήσεις στο σώμα, με αποτέλεσμα να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι λειτουργούν και ως φορετές συσκευές.

Μια άλλη διευκρίνιση που θα πρέπει να γίνει είναι το κατά πόσο οι συσκευές της παρούσας εργασίας συσχετίζονται με την έννοια της τηλεπαρακολούθησης και ειδικότερα των δύο κατηγοριών της, της τηλεφροντίδας και της τηλεϊατρικής. Η τηλεπαρακολούθηση τα τελευταία χρόνια είναι θέμα που απασχολεί ερευνητικά πολλές ομάδες σε Πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και εταιρείες. *«Με τον όρο τηλεπαρακολούθηση εννοούμε τα συστήματα που παρακολουθούν βιοσήματα και έτσι μπορούν να εμφανίσουν διάφορα δεδομένα και συμπεράσματα για την κατάσταση της υγείας του χρήστη. Η τηλεπαρακολούθηση χωρίζεται σε δύο επί μέρους κατηγορίες, την τηλεφροντίδα και την τηλεϊατρική. Η τηλεϊατρική αφορά συστήματα που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ιατρικούς σκοπούς. Η τηλεφροντίδα ασχολείται γενικότερα με την ποιότητα ζωής του χρήστη βοηθώντας στην παρακολούθηση της κατάστασης ενός ανθρώπινου οργανισμού ανεξάρτητα αν αυτός ασθενεί»* (Βεντούρας, 2021).

Οι φορετές συσκευές μπορεί να είναι “καταναλωτικές” (consumer) ή ιατροτεχνολογικές. Οι «καταναλωτικές» συσκευές αποτελούν συσκευές χωρίς συγκεκριμένη κλινική λειτουργία, αλλά που μπορούν να επαναπρογραμματιστούν για την εκτέλεση λειτουργιών κλινικής μέτρησης (clinimetric). Αυτές υπάγονται στην έννοια της τηλεφροντίδας που αναφέρθηκε παραπάνω. Αντιθέτως, εφαρμογές τηλεϊατρικής αποτελούν οι φορετές ιατροτεχνολογικές συσκευές που σχεδιάζονται και διατίθενται στην αγορά για συγκεκριμένους κλινικούς σκοπούς (Kubota, et al., 2016). Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με τις ιατροτεχνολογικές φορετές συσκευές για την νόσο του Πάρκινσον.

Στα επόμενα λοιπόν, με τον όρο φορητή διάταξη-συσκευή θα αναφερόμαστε σε φορητές και φορητές συσκευές, οι οποίες όμως είναι ιατροτεχνολογικές και έχουν εφαρμογή στην νόσο του Πάρκινσον.

## 1.4 Μηχανική Μάθηση και Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things )

### 1.4.1 Μηχανική Μάθηση

Για την πραγματοποίηση μιας έγκυρης διάγνωσης απαιτείται η εξαγωγή ακριβών και αμερόληπτων (unbiased) δεδομένων και η μετέπειτα σωστή μετατροπή τους σε γνώση. Δεδομένα, για παράδειγμα, που συλλέγονται από ένα ηλεκτροκαρδιογράφο είναι αμερόληπτα, όμως για να χρησιμοποιηθούν πρέπει να γίνει η σωστή «μετάφραση» τους (Pasluosta, et al., 2015). Για να γίνει αυτό, έξυπνοι αλγόριθμοι πρέπει να είναι ικανοί να διαχειριστούν μεγάλο όγκο (και πολλές φορές πολυδιάστατων) δεδομένων και να χρησιμοποιούν τα στοιχεία από το υλικό (hardware) των αισθητήρων αποτελεσματικά. Τον ρόλο της διαχείρισης και σωστής «μετάφρασης» των δεδομένων τον έχει ουσιαστικά η μηχανική μάθηση. Πρόοδοι στο πεδίο της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης παρουσιάζουν μια πολλά υποσχόμενη προοπτική για την υποβοήθηση και αυτοματοποίηση της διαγνωστικής διαδικασίας (Pasluosta, et al., 2015).

*Συγκεκριμένα η μηχανική μάθηση ορίζεται ως η εφαρμογή μαθηματικών αλγορίθμων που μπορούν να βρουν αυθαίρετα μοτίβα ή δομή στα δεδομένα και να κάνουν προβλέψεις για νέα δεδομένα εισόδου. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό προγραμματισμό στον οποίο σύνθετοι αλγόριθμοι σχεδιάζονται και προγραμματίζονται για να παράγουν ακριβώς καθορισμένα αποτελέσματα, η μηχανική μάθηση επιχειρεί να «αυτοπρογραμματιστεί» μόνο από τα δεδομένα, μιμούμενη την ανθρώπινη ικανότητα να συνθέτει κανόνες από δεδομένα»* αναφέρει ο Ken J. Kubota (Kubota, et al., 2016).

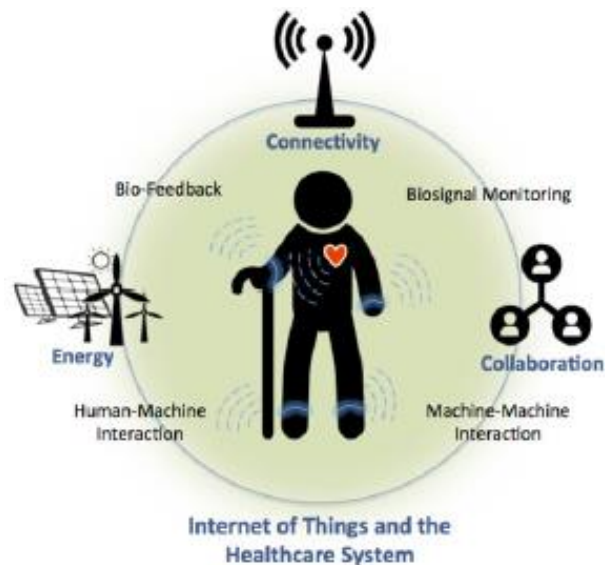
Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, όπως δέντρα αποφάσεων (decision trees), τυχαίο δάσος (random forest), μηχανές υποστήριξης διανυσμάτων (support vector machines), νευρωνικών δικτύων (neural networks), αλγόριθμοι ομαδοποίησης (clustering) κ.λπ. έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στην πρόβλεψη και την ταξινόμηση στην ιατρική. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τους supervised (εποπτευόμενους) και unsupervised (μη εποπτευόμενους) αλγόριθμους. Στους αλγόριθμους εποπτευόμενης μάθησης το υπολογιστικό πρόγραμμα δέχεται κάποια δεδομένα και αποτελέσματα από τους προγραμματιστές και έχει ως βασικό ρόλο την αυτόματη αντιστοίχιση διαφόρων μοτίβων αυτών των δεδομένων με τα σωστά αποτελέσματα. Από την άλλη πλευρά, στους αλγόριθμους μη εποπτευόμενης μάθησης, το υπολογιστικό πρόγραμμα θα πρέπει να ομαδοποιεί τα δεδομένα που λαμβάνει ως είσοδο, ανάλογα με κάποια κοινά τους στοιχεία ή μοτίβα, που αυτόματα αναγνωρίζει, χωρίς να δίδονται εκ των προτέρων «ζεύγη» σημάτων/παραμέτρων/διανυσμάτων εισόδου και αντίστοιχων κατηγοριών/κλάσεων εξόδου (Ramdhani, et al., 2018).

Ο συνδυασμός φορετών συσκευών και μηχανικής μάθησης αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ιατρική επιστήμη αφού οδηγεί στην σμίκρυνση του υλικού (hardware) και στην εκτόξευση της υπολογιστικής ισχύος, αφού υψηλών διαστάσεων δεδομένα (δεδομένα από πολλούς αισθητήρες) μπορούν να επεξεργάζονται με ευκολία. Επιπλέον ο παραπάνω συνδυασμός απλοποιεί τη μαζική αποθήκευση πληροφοριών και την προσβασιμότητά τους μέσω διαδικτύου. Τέλος προσφέρει την προοπτική διεξαγωγής φθηνών, αξιόπιστων και επικυρωμένων μετρήσεων σχετικών με την νόσο του Πάρκινσον, οι οποίες υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατον ή δύσκολα εφικτό να πραγματοποιηθούν (Kubota, et al., 2016).



Πρόσφατες έρευνες επικεντρώθηκαν στην προσπάθεια ανίχνευσης συμπτωμάτων της PD με συσκευές που χρησιμοποιούν συγκεκριμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης. Αυτές οι έρευνες είχαν σκοπό τον αυτόματο εντοπισμό των συμπτωμάτων από την συσκευή σε οποιοδήποτε χρόνο και σε μη προκαθορισμένες δραστηριότητες στην καθημερινότητα του ασθενούς. Στην ουσία οι ερευνητές σκόπευαν στην δημιουργία «έξυπνων» συσκευών που θα μπορούσαν αυτόματα να ομαδοποιήσουν τις κινήσεις τους ασθενούς και να εντοπίσουν μοτίβα κινητικής δραστηριότητας που αντιστοιχούν σε συμπτώματα της νόσου του Πάρκινσον, καθώς επίσης και να προσδιορίσουν τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες αυτά εμφανίζονται. Η πρόκληση αυτής της προσέγγισης έγκειται στη μη χρήση συγκεκριμένων και προκαθορισμένων κινητικών δραστηριοτήτων του ασθενούς ως εισόδους για την συσκευή, οι οποίες θα προκαλούν συγκεκριμένες εξόδους, πράγμα που γινόταν μέχρι πρόσφατα. Σε μια παρόμοια μελέτη που διεξήχθη από τον Das και τους συναδέλφους τους (Das et al. 2012) χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες που προσαρμόστηκαν επάνω στους ασθενείς και χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (Son, et al., 2018). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η σωστή διάκριση των συμπτωμάτων της ασθένειας του Πάρκινσον μέσα από καθημερινές δραστηριότητες των ασθενών έγινε με ποσοστό ακρίβειας 90%.

#### 1.4.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things - IOT)



Εικόνα 6 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things - IOT) και το Σύστημα Υγείας (Pasluosta, et al., 2015)

Μια άλλη έννοια που αναπτύσσεται όλο και περισσότερο και αποκτά σημαντικές εφαρμογές σε πολλούς τομείς των επιστημών είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IOT). Με τον όρο αυτό εννοούμε την δυνατότητα διαφορετικών συσκευών-αντικειμένων, που ενσωματώνουν ηλεκτρονικά μέσα, αισθητήρες, λογισμικό και την δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυο, να επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας και έχοντας πρόσβαση σε πληθώρα δεδομένων-πληροφοριών. Η κατακόρυφη ανάπτυξη του IOT στις μέρες μας στηρίζεται στο χαμηλό κόστος του, στη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, στην ανάγκη διακίνησης τεράστιου όγκου πληροφορίας και στα βελτιστοποιημένα πρωτόκολλα ασύρματης σύνδεσης που συνεχώς κερδίζουν έδαφος σε επιστημονικές εφαρμογές αλλά και στην καθημερινότητα. Σε ένα σύστημα υγείας υπάρχουν χαρακτηριστικά που καθιστούν την χρήση του IOT όλο και πιο απαραίτητη. Τα καθιερωμένα κλινικά τεστ, το ιατρικό ιστορικό των ασθενών και η παρακολούθηση της πορείας κάποιας ασθένειας και κυρίως η συνεχής μεταφορά πληροφορίας από φορητές συσκευές, αποτελούν μερικά από αυτά. Για παράδειγμα, μέσω του IOT, εφόσον συνδεθούν σε αυτό οι συσκευές που δημιουργούν, αποστέλλουν, αποθηκεύουν και επεξεργάζονται της πληροφορίες του ασθενή, θα μπορούσαν οι ασθενείς, οι συγγενείς, οι φροντιστές και οι ιατροί τους να πληροφορηθούν για ότι χρειάζεται, ανάλογα με τον ρόλο τους. Αποτέλεσμα μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας IOT σε ένα σύστημα υγείας θα μπορούσε να είναι και η περισσότερο συνειδητοποιημένη συμμετοχή του ασθενούς στην αντιμετώπιση της ασθένειάς του. Η νόσος του Πάρκινσον χαρακτηρίζεται από συμπτώματα που ποικίλλουν σε κάθε ασθενή και διαφοροποιούνται με την εξέλιξη της ασθένειας, οπότε η όσο το δυνατόν συχνότερη λήψη δεδομένων και επιθυμητή είναι και εντάσσεται αρμονικά σε ένα περιβάλλον IOT. Επίσης σημαντική είναι η κατ' οίκον παρακολούθηση της PD και η εξ' αποστάσεως διαχείριση της νόσου από το γιατρό. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι όσο αναπτύσσεται και ενσωματώνεται το IOT στο σύστημα υγείας και πιο συγκεκριμένα στον τομέα της PD, τόσο ευκολότερη θα είναι η διαχείριση και η πρόληψη της νόσου στο μέλλον.

## 2. Φορετές διατάξεις για την διαχείριση της νόσου του Πάρκινσον

### 2.1 Διάγνωση και Φορετές Διατάξεις

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο αυξάνονται οι μελέτες πάνω στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για εφαρμογές πάνω στην νόσο του Πάρκινσον. Όπως σε κάθε ασθένεια η σημασία μιας σωστής και έγκαιρης διάγνωσης είναι μεγίστης σημασίας, διότι αυτόματα σημαίνει ότι εφαρμογή της αγωγής (φαρμακευτική και μη) στα αρχικά στάδια θα είναι πιο αποτελεσματική.

Όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα στην διπλωματική αυτή, η διάγνωση της PD βασίζεται στην αξιολόγηση των κινητικών και μη συμπτωμάτων και σε μια οπτική νευρολογική εκτίμηση. Η οπτική αξιολόγηση από τον νευρολόγο με χρήση κλινικών κλιμάκων όπως η Ενοποιημένη Βαθμολογία Νόσου του Πάρκινσον (UPDRS) είναι περιοριστική από την στιγμή που εξαρτάται από την κατάσταση του ασθενούς την ώρα της αξιολόγησης (αν είναι σε κατάσταση ON-OFF, αν είναι κουρασμένος) και περιορίζεται από την υποκειμενικότητα και την κλινική εμπειρία του νευρολόγου ιατρού. Επίσης για να έχουμε μεγαλύτερη εγκυρότητα στα αποτελέσματα από τις οπτικές αξιολογήσεις απαιτείται συχνή επίσκεψη του ασθενούς στον χώρο εξέτασης, πράγμα που είναι δύσκολο να εφαρμοστεί μιας και με την εξέλιξη της ασθένειας ακόμα και οι πιο μικρές μετακινήσεις είναι δύσκολες και εξουθενωτικές για τον ασθενή ακόμα και επικίνδυνες (αστάθεια μπορεί να οδηγήσει σε πτώση).

Με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί εξαιρετικά ευαίσθητες φορητές συσκευές για την έρευνα πάνω στην ασθένεια του Πάρκινσον (Lu, et al., 2020). Όλο και περισσότερες μελέτες στοχεύουν ούτως ώστε να ελαχιστοποιήσουν την ανάγκη δια ζώσης εξετάσεων/αξιολογήσεων των PD ασθενών στις κλινικές εγκαταστάσεις ή ακόμα και την δυνατότητα να πραγματοποιούνται εξ ολοκλήρου εξ' αποστάσεως. Επίσης στοχεύουν στην ανάπτυξη τεχνολογίας που θα οδηγήσει σε πιο αντικειμενικές αξιολογήσεις του σταδίου της ασθένειας. Κατά κύριο λόγο οι περισσότερες φορητές συσκευές που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται σε αδρανειακούς αισθητήρες που αποτελούνται από επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια. Η μέτρηση των κινητικών συμπτωμάτων με χρήση φορητών συσκευών είναι γενικά ακριβής και συγκρίσιμη με πιο καθιερωμένες μεθόδους, με ορισμένες από τις πτυχές της να έχουν ήδη δοκιμαστεί και επικυρωθεί από τον Bruno Bastos Godoi και τους συνεργάτες του σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2019 (Godoi , et al., 2019). Επιπλέον, η χρήση των φορετών διατάξεων βοηθούν τον ιατρό να αποκτήσει μια πλήρη εικόνα της προόδου της ασθένειας αλλά και να αποκτήσει και μια πιο ουσιαστική εικόνα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της φαρμακευτικής αγωγής που λαμβάνει ο ασθενής για την αντιμετώπιση της νόσου (Lu, et al., 2020).

Στην συνέχεια θα κάνουμε αναφορά σε φορετές διατάξεις που στοχεύουν στην διάγνωση και αξιολόγηση της PD. Οι φορετές διατάξεις που θα αναφερθούν αξιολογούν τα κινητικά συμπτώματα της νόσου. Συγκεκριμένα οι φορετές αυτές διατάξεις στοχεύουν στην αξιολόγηση του τρέμουλου και των κινητικών διαταραχών κατά την βάρδιση.

Για αυτό το λόγο στα παρακάτω έχουμε μια πιο λεπτομερή αναφορά για αυτά τα συμπτώματα από αυτή που δώσαμε στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής.

### 2.1.1 Τρέμουλο

Ως τρέμουλο ορίζονται οι ακούσιες επαναλαμβανόμενες συσπάσεις συναγωνιστών και ανταγωνιστών μυών οδηγώντας σε ταλαντωτικές κινήσεις των άκρων ή του κεφαλιού (Ossig, et al., 2016). Το τρέμουλο είναι το πιο κοινό σύμπτωμα της PD. Εμφανίζεται στο 70% των ασθενών και στα πρώτα στάδια της ασθένειας εμφανίζεται μόνο στην μια πλευρά του σώματος (Rovini, et al., 2017). Επίσης είναι ένα σύνθετο φαινόμενο παρεγκεφαλικό-θαλαμικό-φλοιώδους φλοιού, αλλά ο συγκεκριμένος ρόλος της παρεγκεφαλίδας στην καταστολή ή τη δημιουργία τρέμουλου παραμένει ασαφής (Rovini, et al., 2017). Υπάρχουν τρία ήδη παρκινσονικού τρέμουλου: το τρέμουλο ηρεμίας (resting tremor), το τρέμουλο κίνησης (action/kinetic tremor) και το στατικό τρέμουλο (postural tremor). Αρχικά, το τρέμουλο ηρεμίας (resting tremor) συμβαίνει σε ένα μέρος του σώματος, ενώ αυτό το τμήμα είναι χαλαρό (Lukšys, et al., 2018). Για παράδειγμα θα μπορούσε να παρουσιαστεί όταν ο ασθενής κάθεται (συνήθως τρέμουλο στα χέρια) ή περπατά με τα χέρια να κρέμονται. Το εύρος συχνοτήτων του κυμαίνεται μεταξύ 3-7 Hz. Έπειτα, το τρέμουλο κίνησης (action/kinetic tremor) συνοδεύει οποιαδήποτε εθελοντική κίνηση, περιορίζεται δηλαδή στην διάρκεια εκτέλεσης μιας συγκεκριμένης εργασίας (π.χ. γραφή) (Rovini, et al., 2017) και συναντάται λιγότερο σε ασθενείς με Πάρκινσον, όμως παρά ταύτα παρατηρείται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% στους παρκινσονικούς ασθενείς (Lukšys, et al., 2018). Και τέλος, το στατικό τρέμουλο συμβαίνει όταν ένα άτομο διατηρεί μια θέση ασκώντας δύναμη έναντι της βαρύτητας (π.χ. έχοντας τα χέρια εκτεταμένα μπροστά) (Lukšys, et al., 2018). Το στατικό τρέμουλο ή το τρέμουλο κίνησης μπορεί να συμβεί ταυτόχρονα με το τρέμουλο ηρεμίας αλλά σε διαφορετικές όμως συχνότητες. Το τρέμουλο ηρεμίας για παράδειγμα, μπορεί να συμβαίνει μαζί με στατικό τρέμουλο, αλλά το δεύτερο εξαφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας άσκησης με παρουσία τρέμουλου κίνησης (Lukšys, et al., 2018).

Υπάρχουν όμως και άλλα είδη τρέμουλου που δεν θα πρέπει να συγχέονται με το παρκινσονικό. Τέτοια είναι το ιδιοπαθές τρέμουλο (essential tremor) και το τρέμουλο που παρουσιάζεται κάποιες φορές σε υγιή άτομα και είναι φυσιολογικό. Το εύρος συχνοτήτων του ιδιοπαθούς τρέμουλου συμπίπτει σε κάποιες τιμές με το εύρος συχνοτήτων του τρέμουλου ηρεμίας, αλλά σχετίζεται με μια κινητική διαταραχή διαφορετική από την PD. Συνεπώς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην διάγνωση της PD, αφού λανθασμένη διάγνωση μεταξύ του τρέμουλου ηρεμίας και ιδιοπαθούς τρέμουλου συμβαίνει στο 20-30% των ασθενών που πάσχουν με μια από τις δύο αυτές ασθένειες (Rovini, et al., 2017).

#### 2.1.1.1 Διάγνωση και αξιολόγηση του τρέμουλου

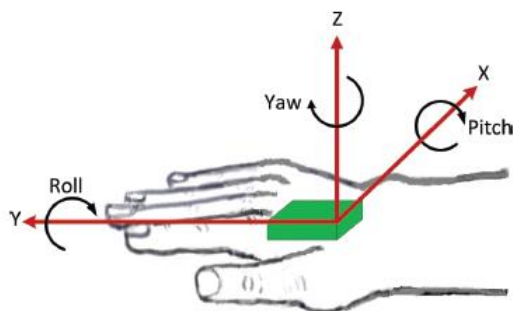
Ο άμεσος εντοπισμός και η σωστή αξιολόγηση κάθε τύπου τρέμουλου από τον ιατρό, αποτελεί βασική προϋπόθεση για μια σωστή διαχείριση της νόσου του Πάρκινσον. Η θεραπευτική αγωγή που θα ακολουθήσει ο ασθενής εξαρτάται σημαντικά από τη συγκεκριμένη αιτιολογία κάθε τύπου τρέμουλου. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αξιολόγησης γενικότερα των συμπτωμάτων της PD, συμπεριλαμβανομένου δηλαδή και του τρέμουλου, βασίζεται στην παρακολούθηση και αξιολόγηση του ασθενούς βάσει της UPDRS κλίμακας από ένα νευρολόγο ιατρό (Rovini, et al., 2017). Άλλη τεχνική η οποία εξειδικεύεται στην αξιολόγηση του τρέμουλου είναι η ποσοτικοποίηση με «drawn spirals» ενώ η χρήση της TRS κλίμακας (Fahn-Tolosa-Marin Tremor Rating Scale) δεν είναι τόσο συνήθης (Ossig, et al., 2016).

Είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψιν ότι η νόσος του Πάρκινσον είναι νόσος που εξελίσσεται και στα πρώτα στάδιά της κυρίως, μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολος ο εντοπισμός των συμπτωμάτων μέσω της οπτικής εξέτασης (Rovini, et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα στα αρχικά στάδια της ασθένειας εντοπίζεται τρέμουλο στα δάχτυλα που στην συνέχεια αναπτύσσεται και σε ολόκληρο το χέρι και κάποιες φορές σε ολόκληρο το σώμα. Συνεπώς μια γενικευμένη αξιολόγηση του τρέμουλου σε όλο το σώμα είναι σημαντική όσο αναπτύσσεται η ασθένεια. Επίσης η δυσκολία μέτρησης του τρέμουλου στα κάτω άκρα (σε σχέση με τα άνω άκρα) ωθεί την ανάγκη για ένα σύστημα πολυαισθητήρων (multi-sensor) που θα έχει ως αποτέλεσμα μια καλύτερη καταμέτρηση και εκτίμηση των συμπτωμάτων (Delrobaeia, et al., 2018). Η αξιολόγηση του τρέμουλου σε όλο το σώμα είναι ένα θέμα που δεν έχει ερευνηθεί αρκετά σε αντίθεση με την αξιολόγηση του τρέμουλου σε μεμονωμένα τμήματα του σώματος (Delrobaeia, et al., 2018) Το γεγονός αυτό ωθεί τους κλινικούς να αναπτύξουν ένα πιο ολοκληρωμένο πρωτόκολλο θεραπείας χρησιμοποιώντας και τεχνολογικές λύσεις ικανές να ποσοτικοποιήσουν τη βαρύτητα της νόσου και την αποτελεσματικότητα της θεραπείας προσφέροντας χαμηλή επεμβατικότητα και υψηλή αξιοπιστία (Delrobaeia, et al., 2018; Rovini, et al., 2017).

Καινούργιες μέθοδοι και τεχνολογίες στην αξιολόγηση του τρέμουλου και άλλων κινητικών συμπτωμάτων στη νόσο του Πάρκινσον, αποτελούν αντικείμενο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος. Διάφορα συστήματα αισθητήρων πλέον μπορούν να ποσοτικοποιήσουν το τρέμουλο. Συστήματα αισθητήρων όπως ηλεκτρομυογράφοι, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, μαγνητόμετρα, λείζερ αισθητήρες υπολογισμού μετατόπισης και γωνιόμετρα έχουν δημιουργηθεί για την ποσοτικοποίηση του τρέμουλου. Δυστυχώς όμως δεν είναι ακόμα γνωστό ποιες τεχνολογίες θα αποτελέσουν καλύτερες λύσεις για αυτό το θέμα. Παρόλα αυτά έχει διαπιστωθεί πως είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση του τρέμουλου με την ανάλυση των δεδομένων από επιταχυνσιόμετρα ή γυροσκόπια μέσω ειδικών (computational) υπολογιστικών μεθόδων (López-Blanco, et al., 2019; Lukšys, et al., 2018).

### 2.1.1.2 Ανάλυση του τρέμουλου

Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να πραγματοποιήσει κινήσεις σε 3 διαστάσεις, μπρος-πίσω, πάνω-κάτω, πλευρικές και περιστροφικές μετατοπίσεις. Το τρέμουλο είναι μια ταλαντωτική κίνηση με μορφή περίπου ημιτονοειδή και όλοι οι μέθοδοι ανάλυσης του βασίζονται σε αυτήν του την ιδιότητα. Πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η χρήση μετασχηματισμού Fourier για την φασματική ανάλυση (spectral analysis), δηλ. μέθοδος στον χώρο της συχνότητας (frequency domain analysis). Χρησιμοποιούνται όμως και τεχνικές αποκλειστικά στον χώρο του χρόνου (time-domain analysis) χωρίς συχνοτική ανάλυση αλλά και μικτές τεχνικές ανάλυσης χρόνου-συχνότητας (time-domain analysis) και μη-γραμμικές αναλύσεις (nonlinear analysis) (Lukšys, et al., 2018). Μια από της πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές μη-γραμμικής ανάλυσης παραμέτρων είναι η προσεγγιστική εντροπία (approximated entropy - ApEn) η οποία επιτρέπει την εκτίμηση της πολυπλοκότητας το σήματος (Elble & McNames, 2016). Όλες αυτές οι μέθοδοι μπορούν με μεγάλη ευκολία να εφαρμοστούν με την χρήση των εργαλείων ανάλυσης σημάτων που προσφέρει το MATLAB ή με την SciPy βιβλιοθήκη που διαθέτει η Python.



Εικόνα 7: Αναπαράσταση ενός αισθητήρα κίνησης (πράσινο χρώμα) τοποθετημένο στο πάνω μέρος του χεριού (Elble & McNames, 2016)

Το εύρος συχνοτήτων που έχει μια εκούσια κίνηση κυμαίνεται σε συχνότητες κάτω των 2 Hz, ενώ οι περισσότεροι τύποι τρέμουλου κυμαίνονται σε συχνότητα 3 Hz και μεγαλύτερες. Οι εκούσιες κινήσεις είναι κατά κύριο λόγο αρρυθμικές και δεν παράγουν διακριτή φασματική κορυφή στο φάσμα του πλάτους συνεπώς εύκολα διακρίνονται από το τρέμουλο. Παρόλα αυτά, εκούσιες σπασμωδικές κινήσεις και ακούσιες κινήσεις (π.χ. η νόσος του Huntigton προκαλεί ακούσιες, ακανόνιστες, απρόβλεπτες μυϊκές κινήσεις) περιέχουν υψηλά εύρη συχνοτήτων, τα οποία μπορούν να επεκταθούν σε συχνότητες ίδιες με του τρέμουλου. Ο διαχωρισμός του τρέμουλου από τις υπόλοιπες κινήσεις επιχειρείται να γίνει βάσει «εστιασμένης» ρυθμικότητας (rhythmicity), επειδή μπορεί να εντοπιστεί σε ένα στενό φάσμα κορυφής με «ήμισυ εύρους ζώνης» (half-bandwidth) συχνότητας 2 Hz ή και μικρότερης. Το ήμισυ εύρους ζώνης είναι το εύρος της φασματικής κορυφής στο μισό του μέγιστου πλάτους του φάσματος ισχύος (power spectrum). Η ρυθμικότητα μπορεί επίσης να ποσοτικοποιηθεί ως προς την μεταβλητότητα της περιόδου στους διαδοχικούς κύκλους του τρέμουλου. Αυτοί οι μέθοδοι συνήθως συνδυάζονται με υπερπερατά φίλτρα για τον διαχωρισμό των χαμηλών συχνοτήτων της κίνησης από το τρέμουλο (Elble & McNames, 2016).

Τα περισσότερα τρέμουλα συνίστανται κυρίως σε ταλαντωτική περιστροφή (oscillatory rotation) ενός μέρους του σώματος από έναν ή πολλαπλούς συνδέσμους. Για παράδειγμα, το τρέμουλο που παρουσιάζεται στο χέρι μπορεί να προέρχεται από περιστροφικά τρέμουλα του καρπού, του αγκώνα ή του ώμου, αντίστοιχα τρέμουλο που παρουσιάζεται στο κεφάλι οφείλεται κυρίως στην περιστροφή από το λαιμό. (Elble & McNames, 2016). Συνέπεια των παραπάνω είναι ότι ο πιο συχνά χρησιμοποιημένος τρόπος μέτρησης του τρέμουλου είναι με συστήματα που έχουν «αδρανειακές μονάδες μέτρησης» (Inertial Measurement Units - IMUs) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι συνδυάζει διάφορους τύπους αισθητήρων που σχετίζονται ακριβώς με τον τρόπο κίνησης του τρέμουλου. Τα IMUs περιέχουν τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα, τριαξονικά γυροσκόπια και συχνά τριαξονικά μαγνητόμετρα και υψομετρητές, ενσωματωμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για την ψηφιακή αποθήκευση και ασύρματη εξαγωγή των δεδομένων. Το κόστος και ο χώρος που απαιτεί η διάταξη έχει πέσει κατακόρυφα με την ανάπτυξη των φορητών υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία έχουν άφθονη μνήμη και υπολογιστική ισχύ (Elble & McNames, 2016).

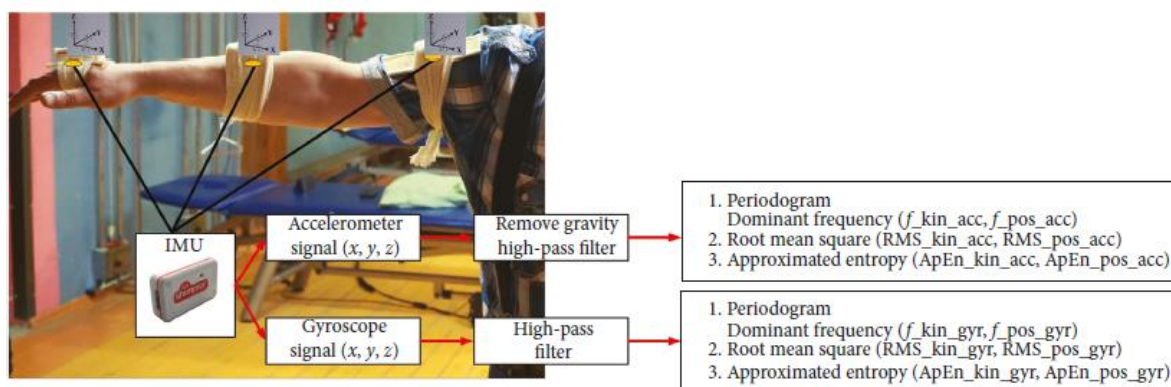
Τα επιταχυνσιόμετρα έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά περισσότερο από άλλους μετατροπείς στην ανάλυση του τρέμουλου και είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευαίσθητα στην γραμμική (translation) και όχι στην γωνιακή περιστροφή. Τα γυροσκόπια είναι μετατροπείς που ανιχνεύουν παραμέτρους κίνησης, όπως τα επιταχυνσιόμετρα, αλλά διαφέρουν στο ότι είναι σχεδιασμένα για την καταγραφή της γωνιακής ταχύτητας.

Στην συνέχεια παραθέτουμε την περίληψη συγκεκριμένων άρθρων που αναφέρονται στην χρήση των παραπάνω συσκευών και συστημάτων για την ανίχνευση της νόσου του Πάρκινσον:

### 2.1.1.3.A Μελέτη πάνω στην ποσοτική ανάλυση του παρκινσονικού τρέμουλου σε κλινικές δοκιμές χρησιμοποιώντας *Inertial Measurement Units*

Στην δημοσίευση του Lukšys Donata και των συνεργατών του το 2018 αναφέρονται σε μια μελέτη κατά την οποία εξετάστηκαν οι παράμετροι του παρκινσονικού τρέμουλου (συχνότητα, προσεγγιστική εντροπία, μέση τετραγωνική ρίζα (Root Mean Square – RMS) με σκοπό την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών των ασθενών που διαγνώστηκαν με νόσο του Πάρκινσον σε σύγκριση με μια άλλη ομάδα από υγιή άτομα. Η διαίρεση των ατόμων στις δύο κατηγορίες (PD-υγιή) βάσει των παραμέτρων ης μελέτης συγκρίθηκε έπειτα με την διαίρεση των ατόμων βάσει της UPDRS κλίμακας αξιολόγησης (Lukšys, et al., 2018).

Τα άτομα που λάβανε μέρος στην έρευνα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, μια ομάδα ανθρώπων που διαγνώστηκαν με PD και μια ομάδα ελέγχου (Control Objects – CO) που αποτελείται από υγιή άτομα. Η διαδικασία είχε ως εξής: κάθε άτομο εκτελούσε κινητικές ασκήσεις ειδικές για το τρέμουλο (π.χ. δάχτυλο στην μύτη) τρεις φορές. Η μέτρηση της κίνησης του άνω άκρου πραγματοποιήθηκε με την χρήση μιας εννέα βαθμών ελευθερίας (Degrees of Freedom - DOF) ασύρματης μονάδας συστήματος Inertial Measurement Unit (IMU). Η ποσοτική εκτίμηση του κινητικού (kinetic) και του στατικού (static) τρέμουλου έγινε με τον υπολογισμό από τα εξής σήματα και τις παραμέτρους: γωνιακή ταχύτητα, γραμμική επιτάχυνση, «κυρίαρχη» συχνότητα (dominant frequency), RMS και προσεγγιστική εντροπία (Approximate Entropy – ApEn) (Lukšys, et al., 2018).



Εικόνα 8: Τοποθέτηση των αισθητήρων IMU στο άνω άκρο και ο υπολογιστικός αλγόριθμος (Lukšys, et al., 2018)

Από τα αποτελέσματα βρέθηκαν στατιστικά μεγάλες διαφορές των υπολογισμένων παραμέτρων μεταξύ των PD και CO ομάδων και η ApEn είναι η καλύτερη παράμετρος για τον διαχωρισμό αυτών των ομάδων. Ο μέσος όρος της προσεγγιστικής εντροπίας ApEn ήταν με στατιστικά σημαντικό τρόπο υψηλότερος στην PD ομάδα, το οποίο δείχνει ότι η κίνηση είναι πιο απρόβλεπτη και πιο τυχαία σε ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον. Υψηλότερες τιμές ApEn μεταξύ ατόμων και των διαφορετικών πλευρών του σώματος δείχνουν σε ποια πλευρά και τμήμα του σώματος είναι το τρέμουλο πιο σοβαρό στην ομάδα των PD. Οι RMS τιμές υποδεικνύουν την ένταση του τρέμουλου. Επίσης διαπιστώθηκε ότι η ένταση του



postural τρέμουλου θέσης (postural tremor) είναι μεγαλύτερη στην αριστερή πλευρά του σώματος της γωνιακής ταχύτητας. Η κυρίαρχη συχνότητα συμβάλλει επίσης στην ορθή εκτίμηση του PD τρέμουλου, επιπλέον δε, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το τρέμουλο θέσης ανιχνεύεται καλύτερα από το σήμα γωνιακής ταχύτητας από ότι το σήμα επιτάχυνσης (Lukšys, et al., 2018).

Από την μελέτη αυτή οδηγήθηκαν ο Lukšys Donatas και οι συνεργάτες του στο συμπέρασμα ότι χρησιμοποιώντας IMU σε κλινικές έρευνες πάνω στην αξιολόγηση ασθενών με παρκινσονικό τρέμουλο, είναι δυνατή η παροχή ποσοτικοποιημένων πληροφοριών για διαγνωστικούς σκοπούς, με στόχο τον κλινικό διαχωρισμό ασθενών με νόσο του Πάρκινσον από άλλα άτομα, στηριζόμενοι στις παραμέτρους, κυρίαρχης συχνότητας, RSM και ApEn.

### **2.1.1.3.B Χρήση IMU συστήματος καταγραφής κίνησης για εξ αποστάσεως παρακολούθηση του παρκινσονικού τρέμουλου**

Το 2018 ο Mehdi Delrobaei και οι συνεργάτες του εξέτασαν κατά πόσο η χρήση ενός φορητού IMU συστήματος μπορεί να ποσοτικοποιήσει το τρέμουλο σε όλο το σώμα και κατά πόσο είναι εφικτός ο διαχωρισμός “tremor dominant”<sup>1</sup> PD ασθενείς από “non-tremor dominant”<sup>2</sup> PD ασθενείς και υγιή άτομα με την χρήση αυτού του συστήματος. Συνολικά έλαβαν μέρος 62 άτομα, από τα οποία τα 40 ήταν PD ασθενείς ενώ τα 22 υπόλοιπα ήταν υγιή άτομα. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η ύπαρξη μιας τέτοιου είδους φορητής τεχνολογίας που ενσωματώνει πολλαπλούς αισθητήρες, με την βοήθεια ενός απλού μέτρου για την αξιολόγηση της σοβαρότητας του τρέμουλου (Tremor Sensitivity Score-TSS), μπορεί να φανεί χρήσιμη στην αξιολόγηση του παρκινσονικού τρέμουλου. Η βαθμολόγηση με το TSS σε σχέση με την βαθμολόγηση με UPDRS δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά. Επίσης, η έρευνα έδειξε ότι τέτοια φορητά συστήματα καταγραφής της κίνησης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αυτόματη ανίχνευση του τρέμουλου και την αυτόματη αναφορά της σοβαρότητάς του. Αυτό θα παρείχε μια αντικειμενική αξιολόγηση των ασθενών στους ιατρούς και θα επέτρεπε την πραγματοποίηση προσαρμογών στην φαρμακευτική αγωγή. Συνεπώς, μελλοντικά, μια τέτοια τεχνολογία θα μπορούσε να οδηγήσει σε εξ' αποστάσεως παρακολούθηση των ασθενών (Delrobaei, et al., 2018).

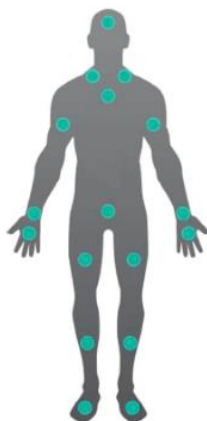
Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη αυτή, αποτελούνταν από 17 IMUs, τα οποία τοποθετούνταν πάνω στο σώμα του εξεταζόμενου όπως φαίνεται στην *Εικόνα 8*. Το καθένα από αυτά είχε ενσωματωμένα ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο για μέτρηση ευθύγραμμης επιτάχυνσης, ένα τριαξονικό γυροσκόπιο για μέτρηση γωνιακής ταχύτητας και ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο για μέτρηση μαγνητικής δύναμης. Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν στη συχνότητα των 60Hz με την χρήση του IGS-Biosoftware λογισμικού (Version 2.56). Εκτός της καταγραφής των δεδομένων από τα IMUs, το σύστημα χρησιμοποιούσε τα δεδομένα αυτά για την δημιουργία, σε πραγματικό χρόνο, 3D κινούμενου σχεδίου, όπως

<sup>1</sup> **Tremor-dominant PD:** αναφέρεται σε ασθενείς που παρουσιάζουν αρχικά τρέμουλο με σχετικά ήπια βραδυκίνησια και ακαμψία και που εξελίσσονται αργά για πολλά χρόνια με το τρέμουλο να παραμένει το πιο εμφανές κλινικό σύμπτωμα μαζί με σχετικά ήπια βραδυκίνησια, ακαμψία και απουσία ορθοστατικής αστάθειας.

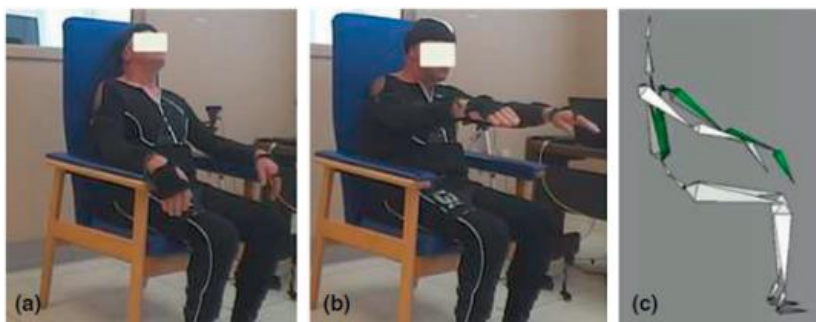
<sup>2</sup> **Non-tremor dominant PD:** αναφέρεται σε ασθενείς που παρουσιάζουν κυρίως χαρακτηριστικά βραδυκίνησιας με την μη ή ελάχιστη παρουσία ήπιου τρέμουλου ηρεμίας.



φαίνεται στην *Εικόνα 9*. Το βίντεο αυτό μπορεί να αναπαραχθεί ξανά οποιαδήποτε στιγμή με την χρήση των αποθηκευμένων δεδομένων (Delrobaeia, et al., 2018).



*Εικόνα 9: Τοποθέτηση αισθητήρων IMU στο σώμα. (Delrobaeia, et al., 2018)*



*Εικόνα 10: Κλινικές δοκιμές για την αξιολόγηση του τρέμουλου σε (α) ανάπαυση, (β) στάση, ενώ φοριέται το φορητό σύστημα καταγραφής κίνησης IGS-180 της Synertial, (γ) ένα στιγμιότυπο της κινούμενης εικόνας που δημιουργήθηκε (Delrobaeia, et al., 2018)*

Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες έως το 2018 συσκευές αξιολόγησης του τρέμουλου αδυνατούν να παρουσιάσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για το τρέμουλο σε όλο το σώμα του εξεταζόμενου. Κάποιες συσκευές από αυτές δεν είναι φορητές ή ευκολοφόρετες, άλλες δεν ενσωματώνουν πολυαισθητήρες, ενώ άλλες δεν έχουν την δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων ούτως ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη μιας κινούμενης καταγραφής για περαιτέρω οπτική ανάλυση (σε άλλη χρονική στιγμή). Αντιθέτως, το φορητό σύστημα που μελετήθηκε στην εργασία αυτή έχει την δυνατότητα καταγραφής του τρέμουλου σε όλα τα μέρη του σώματος παρέχοντας ποσοτικοποιημένες και αντικειμενικές μετρήσεις την ίδια χρονική στιγμή που γίνεται η κίνηση. Επίσης η διάρκεια καταγραφής της κίνησης είναι μεγαλύτερη από ότι σε μια τυπική οπτική αξιολόγηση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζει έναν καλύτερο μέσο όρο τιμών του τρέμουλου από όλο το σώμα (Delrobaeia, et al., 2018).

Παρ' όλα αυτά, ένα αρνητικό σημείο του συστήματος είναι το γεγονός ότι αδυνατεί να εντοπίσει και να απομονώσει επιμέρους κινήσεις που μπορεί να φανούν σημαντικές για την εκτίμηση του σταδίου της ασθένειας, μιας και ανιχνεύει και αξιολογεί τις κινήσεις του σώματος μόνο στα σημεία που τοποθετούνται οι αισθητήρες. Για παράδειγμα, μια μικρή κίνηση της κάτω γνάθου, ενώ θα μπορούσε να εντοπιστεί εύκολα οπτικά, το σύστημα θα την περιλάμβανε στην συνολική κίνηση

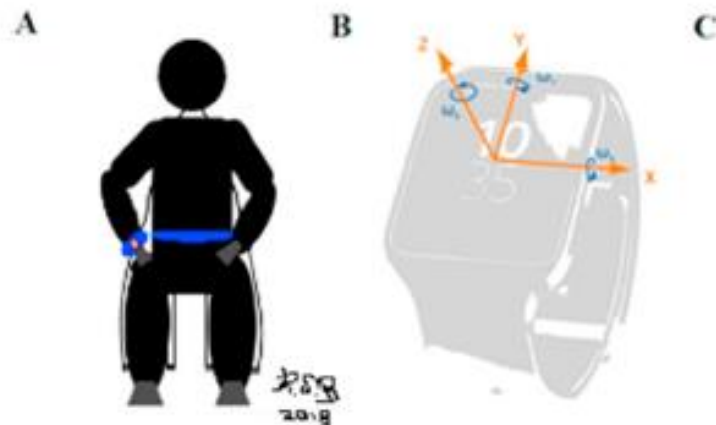
του κεφαλιού, με αποτέλεσμα να μην την αξιολογήσει μεμονωμένα και έτσι να υπάρξει αστοχία στην τελική διάγνωση (Delrobaeia, et al., 2018). Επιπρόσθετα, παρόλο που με την χρήση τέτοιων συστημάτων καταγραφής της κίνησης είναι δυνατή η αναλυτική καταγραφή της, ένα μέρος μόνο των δεδομένων που συλλέγονται έχει κλινική σημασία. Αυτό σημαίνει ότι συσσωρεύεται μεγάλος όγκος πληροφοριών, χωρίς να εστιάζεται η προσοχή στις κλινικά ουσιώδεις πληροφορίες.

Παρόλο που για την αξιολόγηση του παρκινσονικού τρέμουλου χρησιμοποιείται ως βασική μέθοδος η UPDRS κλίμακα, δεν αποτελεί αντικειμενικό τρόπο αξιολόγησης του. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι η αξιολόγηση με UPDRS βασίζεται στην οπτική εκτίμηση του πλάτους του τρέμουλου. Συνεπώς και η αξιολόγηση του συστήματος που αναφερόμαστε μπορεί να μην θεωρηθεί αντικειμενικά έγκυρη εφόσον έγινε με βάση την UPDRS κλίμακα. Αυτό θα μπορούσε μελλοντικά να διαλευκανθεί αν γινόταν η εκτίμηση του συστήματος αυτού με τη χρήση ενός ευρέως αποδεκτού και αντικειμενικού εργαλείου ανίχνευσης και αξιολόγησης της κίνησης σε PD ασθενείς (Delrobaeia, et al., 2018).

### **2.1.1.3.Γ Φορητή συσκευή «έξυπνου» ρολογιού (smartwatch) για ανάλυση του τρέμουλου ηρεμίας (rest tremor) σε PD ασθενείς**

Η έρευνα του 2019 από τον Roberto López-Blanco και τους συναδέλφους του είχε ως σκοπό την εκτίμηση για το πόσο είναι εφικτή μελλοντικά, η χρήση έξυπνων ρολογιών που δεν έχουν φτιαχτεί εξ αρχής για ιατρικούς σκοπούς (non-health smartwatches) ως εργαλείο αντικειμενικής παρακολούθησης του τρέμουλου ηρεμίας σε PD ασθενείς εντός κλινικών εγκαταστάσεων. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στο κατά πόσο θα ήταν αποδεκτή μια τέτοια φορητή συσκευή σε PD ασθενείς όσον αφορά την άνεση και την ευκολία στην χρήση από αυτούς. Στην έρευνα συμμετείχαν 22 PD ασθενείς και αποδείχθηκε ότι η χρήση έξυπνου ρολογιού για την παρακολούθηση του τρέμουλου ηρεμίας σε PD ασθενείς είναι δυνατή, αξιόπιστη, παρουσιάζει καλή συσχέτιση με κλινικές βαθμολογίες, έχει μεγάλη αποδοχή από τους χρήστες και έχει την προοπτική για αντικειμενική ποσοτικοποίηση του παρκινσονικού τρέμουλου σε αίθουσα εξέτασης (López-Blanco, et al., 2019).

Το σύστημα έξυπνου ρολογιού αποτελείται από ένα Smartwatch3 Sony © που τοποθετείται στον καρπό του εξεταζόμενου. Το έξυπνο ρολόι συνδέεται ασύρματα βάσει ενός Bluetooth πρωτοκόλλου με ένα android έξυπνο τηλέφωνο (smartphone), το οποίο τοποθετείται στην μέση του εξεταζόμενου με την βοήθεια μιας ζώνης που έχει ενσωματωμένη μια θήκη (βλέπε Εικόνα 10). Τα δεδομένα μέσω της ασύρματης Bluetooth σύνδεσης, στέλνονται στο έξυπνο τηλέφωνο και καταγράφονται μέσω μιας ειδικά φτιαγμένης εφαρμογής με συχνότητα δειγματοληψίας 50Hz. Η μέτρηση της έντασης του τρέμουλου ορίστηκε με την μέση τετραγωνική ρίζα της γωνιακής ταχύτητας (López-Blanco, et al., 2019).



Εικόνα 11: Α. Η τοποθέτηση του smartwatch στον καρπό και το smartphone, σε θήκη ζώνης.  
Β. Σύστημα αναφοράς των γυροσκοπίων (López-Blanco, et al., 2019)

Κατά την έρευνα κάθε ασθενής με PD εξετάστηκε και το τρέμουλο ηρεμίας βιντεοσκοπήθηκε, ενώ καθόταν σε μια καρέκλα φορώντας το σύστημα έξυπνου ρολογιού. Αρχικά, ένας νευρολόγος με εξειδίκευση στις κινητικές διαταραχές, πραγματοποίησε λεπτομερές κλινικό ιστορικό και νευρολογική εξέταση εφαρμόζοντας την UPDRS-III κλίμακα, για να δώσει μια συνολική βαθμολογία όσον αφορά την κινητικότητα του ασθενούς (εύρος=0–68). Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε 2 φορές σε διάστημα 1,5 χρόνου με τους ασθενείς να συνεχίζουν να λαμβάνουν την φαρμακευτική αγωγή τους. Ένας νευρολόγος εξέτασε τα βίντεο κάθε ασθενή και βαθμολόγησε το τρέμουλο ηρεμίας του βραχίονα, όπου ήταν τοποθετημένο και το smartwatch, σύμφωνα με την UPDRS-III κλίμακα. Έπειτα τα βίντεο αξιολογήθηκαν από έναν δεύτερο βαθμολογητή χωρίς αυτός να γνωρίζει τις πρώτες βαθμολογίες. Ο μέσος όρος όλων των βαθμολογιών χρησιμοποιήθηκε ως έγκυρη βαθμολογία για την αξιολόγηση του τρέμουλου, ώστε να συγκριθεί αργότερα με τα αποτελέσματα που προκύψαν από την χρήση των έξυπνων ρολογιών. Αυτό έγινε με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας της κλινικής βαθμολόγησης. Στο τέλος της έρευνας όλοι οι ασθενείς κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο προκειμένου να ελεγχθεί η αποδοχή του συστήματος έξυπνου ρολογιού (López-Blanco, et al., 2019).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το παρκινσονικό τρέμουλο ηρεμίας ποσοτικοποιήθηκε ικανοποιητικά χρησιμοποιώντας ένα απλό και άνετο έξυπνο ρολόι, με ισχυρή συσχέτιση με τη βαθμολογία της UPDRS-III. Επιπλέον οι ασθενείς έδειξαν καλή αποδοχή της χρήσης ενός έξυπνου ρολογιού. Σύμφωνα με τον Roberto López-Blanco και τους συναδέλφους του, είναι η πρώτη μελέτη με προσαρμοσμένο έξυπνο ρολόι που επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό του τρέμουλου ηρεμίας σε ασθενείς με PD (López-Blanco, et al., 2019).

Παρόλα όμως τα πλεονεκτήματα της συσκευής, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που υστερεί και θα πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω. Αρχικά, η θέση των έξυπνων ρολογιών, στον καρπό έχει τον περιορισμό της καταγραφής κινήσεων σε συγκεκριμένο σημείο μόνο του σώματος, έτσι είναι εύκολο να παραληφθούν σημαντικά δεδομένα κίνησης, που θα βοηθούσαν στην διάγνωση (π.χ. τρέμουλο στα δάχτυλα). Δεύτερον, τα γυροσκόπια της συσκευής μπορεί να ανιχνεύσουν ένα χαμηλό εύρος συχνοτήτων θορύβου, το οποίο θα επηρεάσει την μέτρηση του τρέμουλου. Τρίτον, κάποιες εκούσιες κινήσεις των ασθενών θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ορθότητα της καταγραφής του τρέμουλου. Αυτό δυσκολεύει την ιδέα της εξ' αποστάσεως παρακολούθησης του τρέμουλου από τους γιατρούς ή την

αυτοματοποίηση της διαδικασίας αξιολόγησής του από την συσκευή. Ωστόσο, η χρήση των έξυπνων ρολογιών εκτός κλινικών εγκαταστάσεων δεν ήταν αντικείμενο της έρευνας αυτής, κάτι που θα πρέπει στο μέλλον να μελετηθεί περισσότερο. Τέλος, δεν υπήρχαν στην έρευνα ασθενείς με σοβαρά επίπεδα τρέμουλου, λόγω της πρακτικής δυσκολίας μελέτης τέτοιων ασθενών και επομένως δεν γνωρίζουμε πως θα λειτουργούσαν τέτοιες συσκευές σε προχωρημένα στάδια της ασθένειας (López-Blanco, et al., 2019).

Εν κατακλείδι, η προσαρμογή έξυπνων συσκευών για την καταγραφή δεδομένων κίνησης από τις ενσωματωμένες μονάδες μέτρησης αδράνειας, μέσω ερευνητικών εφαρμογών, επιτρέπει στους κλινικούς ιατρούς και τους ερευνητές να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με κινητικές διαταραχές, χωρίς να απαιτείται να προμηθευτεί και να χρησιμοποιεί ο ασθενής μια συγκεκριμένη και εξειδικευμένη συσκευή. Οι έξυπνες αυτές συσκευές μπορούν στο μέλλον να προσαρμοστούν πλατφόρμες ανοικτού κώδικα και ανοικτού υλικού (open-source ή open-hardware πλατφόρμες). Με αυτόν τον τρόπο, όλες αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις που εφαρμόζονται στον τομέα των κινητικών διαταραχών ανοίγουν νέους ορίζοντες στη διαχείριση της PD.

## **2.1.2 Κινητικές Διαταραχές κατά την βάδιση στο PD - Βραδυκινησία, FOG, Δυσκινησία, Αστάθεια**

### **2.1.2.1 «Πάγωμα» (Freezing of Gate – FOG)**

Από τα πρώτα κιόλας στάδια της ασθένειας ξεκινούν να εμφανίζονται διάφορες κινητικές διαταραχές κατά την βάδιση. Συμπτώματα όπως η κάμψη του σώματος προς τα εμπρός, η μειωμένη κίνηση του χεριού κατά το περπάτημα (από την προσβεβλημένη πλευρά), το σύρσιμο των ποδιών, το μειωμένο μήκος βήματος, και η μειωμένη ταχύτητα κατά το βάδισμα είναι από τα πιο συνήθη φαινόμενα της PD (Ossig, et al., 2016). Τα χαρακτηριστικά των διαταραχών της βάδισης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, στα χρόνια και τα επεισοδιακά. Στα χρόνια χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται τα εξής: η μειωμένη ταχύτητα βάδισης με συρτά μικρά βήματα, η μειωμένη κίνηση των χεριών και το στενό πλάτος βήματος. Από την άλλη στα επεισοδιακά χαρακτηριστικά της PD περιλαμβάνονται τα εξής: το «πάγωμα» ή αλλιώς Freezing of Gate (FOG), η ακούσια μείωση του μήκος βήματος και η ταυτόχρονη επιτάχυνση του βήματος (festination gait) σε τυχαία χρονικά διαστήματα. Όλες οι διαταραχές της βάδισης οφείλονται στην απώλεια ελέγχου σε περιοχές του εγκεφάλου που ευθύνονται για την παραγωγή ομαλών και στοχευμένων κινήσεων (Movement Disorder Society, 2019).

Με τον όρο «πάγωμα» (FOG) αναφερόμαστε στην κατάσταση κατά την οποία ο ασθενής έχει δυσκολία στην έναρξη ή στην εκτέλεση διαφόρων κινήσεων έχοντας επίδραση όχι μόνο το βάδισμα αλλά στην ομιλία και στην γραφή. Από τους ασθενείς, περιγράφεται ως κατάσταση στην οποία νιώθουν «τα πόδια κολλημένα στο έδαφος» ενώ προσπαθούν να περπατήσουν. Επεισόδια παγώματος συνήθως συναντάμε σε περιπτώσεις που ο ασθενής εκτελεί στροφή ή πρέπει να διαβεί από στενό χώρο (Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018). Άλλες περιπτώσεις παγώματος έχουμε κατά την εκκίνηση του βαδίσματος από περίοδο ανάπαυσης και σε καταστάσεις που ο ασθενής αγχώνεται. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διαφοροδιάγνωση του παγώματος στην PD με άλλες παθολογικές διαταραχές που φαινομενικά έχουν το ίδιο σύμπτωμα, διότι μια σωστή διάγνωση θα οδηγήσει σε έγκαιρη και αποτελεσματική θεραπεία (Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018).

### 2.1.2.2 Διαταραχή στάσης και ισορροπίας – αστάθεια της στάσης

Η διαταραχή της στάσης (αστάθεια και διαταραχή ισορροπίας) εκδηλώνεται με μεγαλύτερη ένταση στα προχωρημένα στάδια της νόσου, όμως η πιθανότητα παρουσίας της και στα πρώτα στάδια της νόσου είναι υπαρκτή. Με την πάροδο του χρόνου επιδεινώνεται σε μεγάλο βαθμό και εμφανίζονται διάφορες παραμορφώσεις στην στάση του σώματος (Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018). Ο ασθενής αποκτά «πιθηκοειδές» βάδισμα κατά το οποίο το κεφάλι παίρνει πρόσθια θέση, παρουσιάζει κάμψη του σώματος, των ισχίων και των γονάτων (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021). Η δυσκολία στην διατήρηση της ισορροπίας ευθύνεται για την απώλεια των αντανακλαστικών και αποτελεί την κύρια αιτία των πτώσεων στους ασθενείς με PD (Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018).

### 2.1.2.3 Βραδυκινησία

Η βραδυκινησία είναι από τα πρώτα συμπτώματα που εμφανίζονται στα αρχικά στάδια της νόσου και με την πάροδο του χρόνου επιδεινώνεται. Η βραδυκινησία είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ο ασθενής παρουσιάζει μια βραδύτητα στην εκτέλεση εκούσιων κινήσεων. Στους PD ασθενείς ο χρόνος εκτέλεσης βασικών καθημερινών κινήσεων όπως η ένδυση, το μαγείρεμα, το περπάτημα κλπ. απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο για να πραγματοποιηθούν λόγω αυτής της βραδύτητας που προκαλεί η ασθένεια. Άλλα χαρακτηριστικά της βραδυκινησίας αποτελούν η μείωση της έντασης της φωνής (σιγανή φωνή-hyporhonia), η μονότονη ομιλία, το ανέκφραστο προσωπείο (λόγω της μείωση των μικρών κινήσεων μικρών μυών του προσώπου), η μειωμένη κίνηση των χεριών και η μικρογραφία (μείωση του μεγέθους των γραμμάτων κατά την γραφή) (Ζιάγκοβα & Νίκου, 2021; Ζάχου & Κοτσιρώνης, 2018).

### 2.1.2.4 Δυσκινησία – Κινητικές διακυμάνσεις

Στα πιο προχωρημένα στάδια της ασθένειας παρουσιάζονται φαινόμενα δυσκινησίας και κινητικών διακυμάνσεων, συμπτώματα που θεωρούνται ως παρενέργειες της χορήγησης λεβοντόπας. Κλίμακες όπως η UPDRS και η MDS-UPDRS είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι αξιολόγησής της. Άλλες κλίμακες όπως η Ενοποιημένη Κλίμακα Βαθμολόγησης Δυσκινησίας Unified Dyskinesia Rating Scale (UDysRS) και η τροποποιημένη κλίμακα Abnormal Involuntary Movement Scale (mAIMS) επίσης χρησιμοποιούνται. Για την εκτίμηση των κινητικών διακυμάνσεων επιπλέον χρησιμοποιούνται αυτοαναφορές από τους ασθενείς (Home PD diaries) αλλά και καταγραφές με βίντεο κατ' οίκον. Και οι δύο αυτές τεχνικές αποτελούν υποκειμενικό τρόπο αξιολόγησης, διότι από την μια στην περίπτωση των αυτοαναφορών εξαρτάται από τον ασθενή, ενώ στην περίπτωση της βιντεοσκόπησης κατ' οίκον από τον νευρολόγο (Ossig, et al., 2016).

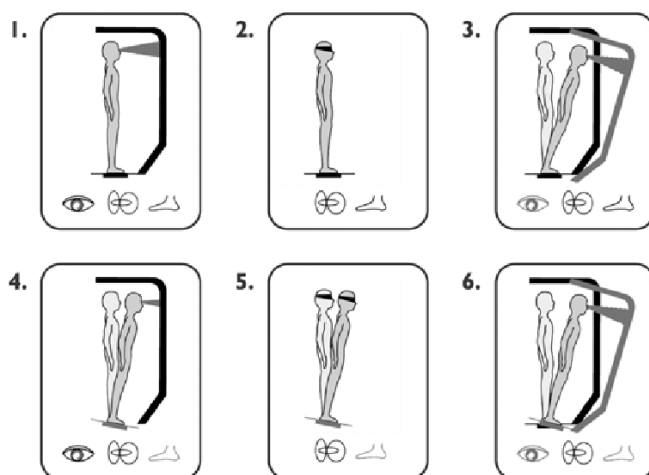
### 2.1.2.5 Αξιολόγηση βαδίσματος

Για την αξιολόγηση της βάδισης χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο κλινικές κλίμακες αξιολόγησης όπως η UPDRS και τεχνικές όπως η καταγραφή στάσης του σώματος (posturography) με χρήση ψηφιακής δυναμικής πλατφόρμας ισορροπίας,

ανάλυση βαδίσματος (Gait Analysis) και TUG τεστ. Η καταγραφή στάσης του σώματος αποτελεί μια τεχνική για την αξιολόγηση της ισορροπίας κατά την οποία ποσοτικοποιείται ο έλεγχος της στάσης ενώ ο εξεταζόμενος προσπαθεί να παραμείνει σε όρθια στάση υπό στατικές ή δυναμικές συνθήκες. Από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα αποτελεί η υπολογιστική δυναμική καταγραφή στάσης του σώματος (Computerized Dynamic Posturography - CDP), κατά την οποία ο εξεταζόμενος τοποθετείται πάνω σε μια κινητή πλατφόρμα, η οποία ελέγχεται από έναν υπολογιστή. Η πλατφόρμα περιβάλλεται από ένα κινητικό οπτικό «περίβλημα» το οποίο έχει την δυνατότητα να κινείται ανεξάρτητα από την πλατφόρμα. Η θέση του κέντρου πίεσης καταγράφεται με την πάροδο του χρόνου με την χρήση μετρητών πίεσης που είναι τοποθετημένοι σε κάθε τεταρτημόριο της πλατφόρμας (Flint , 2021). Η τεχνική ανάλυσης βαδίσματος πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο σε εργαστηριακούς χώρους με οπτικό-κινητικά καταγραφικά (optical motion capture). Ενώ τα αποτελέσματα που παρέχονται με την τεχνική αυτή έχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια, λόγω όμως της πολυπλοκότητάς της ως τεχνική, δεν προτιμάται για χρήση σε κλινικές δοκιμές (Mariani, et al., 2013). Τέλος με την χρήση του TUG τεστ οι κλινικοί ιατροί αξιολογούν το βάδισμα και παρακολουθούν την ευελιξία και κατά πόσο μπορεί ο ασθενής να διατηρεί την ισορροπία του κατά το βάδισμα. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται το τεστ είναι σε ευρύχωρο και επαρκώς φωτισμένο δωμάτιο, πράγμα που δεν αντικατοπτρίζει το περιβάλλον που κινείται ο ασθενής στην καθημερινότητα του (Lu, et al., 2020). Οι τρόποι αξιολόγησης που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά όχι μόνο την αξιολόγηση της θεραπείας αλλά και την έγκαιρη διάγνωση του ασθενούς.



Εικόνα 12: Computerized Dynamic Posturography (πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Computerized-dynamic-posturography-Source-Photograph-reprinted-with-permission-from\\_fig2\\_24032890](https://www.researchgate.net/figure/Computerized-dynamic-posturography-Source-Photograph-reprinted-with-permission-from_fig2_24032890))



Εικόνα 13: Τεστ ισορροπίας (πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Sensory-Organization-Test-Source-Figure-reprinted-with-permission-from-NeuroCom\\_fig3\\_24032890](https://www.researchgate.net/figure/Sensory-Organization-Test-Source-Figure-reprinted-with-permission-from-NeuroCom_fig3_24032890))

Εκτός αυτών των τεχνικών αξιολόγησης του βαδίσματος και γενικότερα των συμπτωμάτων της PD, η αξιολόγηση γίνεται επιπρόσθετα και με αυτοαναφορές από τους ίδιους τους ασθενείς (ημερολόγια ασθένειας - PD home diaries) αλλά και από αναφορές των φροντιστών τους (Son, et al., 2018). Ενώ τα ημερολόγια και οι αναφορές έχουν χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά την απόδοση του ασθενούς σε χώρους μη δομημένους (π.χ. σπίτι ασθενούς, εξωτερικούς χώρους), δεν έχουν την δυνατότητα να παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του ασθενούς. Επιπλέον η καθημερινή καταγραφή των ημερολογίων μπορεί να παραλείπεται από τον ασθενή ή να μην θυμάται σωστά (η νόσος επηρεάζει την νοητική ικανότητα). Αυτό σηματοδοτεί μια επιτακτική ανάγκη ανάπτυξης συνεχών και αντικειμενικών μέτρων λειτουργικής κινητικότητας (Son, et al., 2018).

#### 2.1.2.6. Φορετές συσκευές για την μελέτη του βαδίσματος

Οι μέθοδοι αξιολόγησης της βάδισης μέχρι και σήμερα, ενώ έχουν καλή ακρίβεια στις μετρήσεις τους όμως είναι είτε υποκειμενικές (μεταβλητότητα στην αξιοπιστία των νευρολόγων, λανθασμένη ανάκληση μνήμης των ασθενών), είτε υπάρχει δυσκολία εφαρμογής των πιο εξεζητημένων συστημάτων λόγω πολυπλοκότητας, ανάγκη εφαρμογής τους σε ειδικούς χώρους και του υψηλού κόστους τους. Η χρηστικότητα επίσης αποτελεί πολύ σημαντική προϋπόθεση από την στιγμή που οι συσκευές αυτές θα απευθύνονται κατά κύριο λόγο σε γηραιότερο πληθυσμό. Όλα τα παραπάνω ώθησαν τον ερευνητικό τομέα στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που καθιστούν την αξιολόγηση του βαδίσματος πιο έγκυρη, εύκολη, γρήγορη και οικονομικότερη.

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έκανε δυνατή την ανάπτυξη συστημάτων φορετών αισθητήρων ικανά για την περιπατητική ανάλυση του βαδίσματος. Η σμίκρυνση των αισθητήρων και γενικότερα του υλικού (hardware), η δυνατότητα σύνδεσης συσκευών σε μεγάλη εμβέλεια και με ευκολία, οδήγησε στην ανάπτυξη της «έξυπνης» τεχνολογίας για την μελέτη της PD. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος ανάλυσης βαδίσματος είναι με την χρήση IMUs, τα οποία μπορούν να παρέχουν μια εύκολα προσβάσιμη και πιο συνεχή (μακροπρόθεσμη) παρακολούθηση βάδισης. Ο λόγος που τα IMUs έχουν προτιμηθεί στην ερευνητική κοινότητα και στις κλινικές μελέτες οφείλεται στην φορητότητά τους, το μειωμένο κόστος τους, την



αξιοπιστία τους, την χρήση μπαταριών για την λειτουργία τους και την συμβατότητα τους με ασύρματα συστήματα μεταφοράς δεδομένων (πχ Bluetooth) (Margiotta, et al., 2017). Τα IMUs που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του βαδίσματος περιλαμβάνουν γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα. Τα φορετά αυτά συστήματα θα μπορούν να εξυπηρετούν ως βοηθητικά εργαλεία για τους κλινικούς ιατρούς για να έχουν καλύτερη εικόνα της εξέλιξης της νόσου αλλά και καλύτερη εικόνα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της φαρμακευτικής θεραπείας (Lu, et al., 2020). Παρόλο που οι φορετές αυτές συσκευές παρέχουν μια εύκολη λύση και σε χαμηλό κόστος, χρησιμοποιούνται προς το παρόν στον ερευνητικό χώρο. Η διάθεση τους στο εμπόριο όμως απαιτεί περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

Στην συνέχεια θα κάνουμε αναφορά σε έξι φορετές συσκευές-φορετά συστήματα που αποσκοπούν στην αξιολόγηση του βαδίσματος και κάποια από αυτά και σε μακρόχρονη παρακολούθηση της ασθένειας. Τα τέσσερα από αυτά είναι φορετές συσκευές που εφαρμόζονται ή στα άκρα του εξεταζόμενου ή/και στην μέση, ενώ από τα υπόλοιπα δύο, το μεν ένα εφαρμόζει επάνω στο παπούτσι, το δε δεύτερο είναι μία σόλα.

#### **2.1.2.6.A Φορετή συσκευή αξιολόγησης βαδίσματος τοποθετημένη στο υπόδημα-παπούτσι (“on-shoe”)**

Το 2013 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη από τον Benoit Mariani και τους συνεργάτες του με στόχο: 1) την επικύρωση της χρήσης φορητών αισθητήρων πάνω σε παπούτσι για την αξιολόγηση του TUG τεστ αλλά και τεστ βαδίσματος σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ικανοποιητική ακρίβεια και επαναληψιμότητα κατά τον διαχωρισμό PD ασθενών και της ομάδας ελέγχου (Control group). Η έρευνα αποτελούνταν από 10 άτομα με PD με ήπια ως μέτρια επιδείνωση της νόσου (μέσο όρος ηλικίας  $64 \pm 7$  έτη) και 10 άτομα ελέγχου (CO-control objects) αντίστοιχων περίπου ηλικιών (μέσος όρος ηλικίας  $66 \pm 7$  έτη). Οι ασθενείς φορούσαν δύο ίδιες φορετές συσκευές και στα δύο πόδια πραγματοποιώντας 3 λεπτών TUG τεστ και τεστ βάδισης (Mariani, et al., 2013).

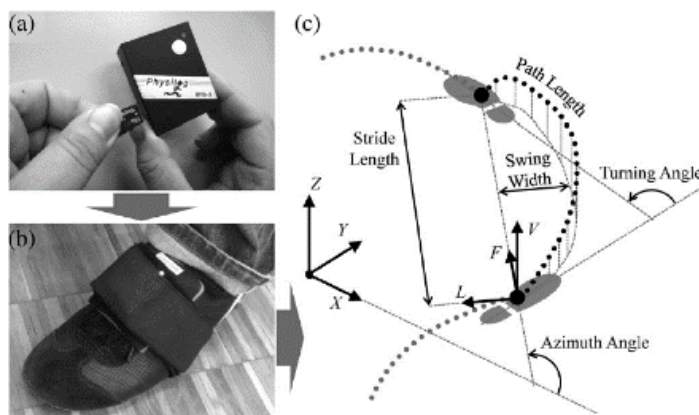
Η on-shoe φορετή που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από μία μεμονωμένη (stand-alone) αδρανειακή μονάδα Physilog. Αυτή η μονάδα αποτελούνταν από αισθητήρες και σύστημα επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων. Συγκεκριμένα, ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο και ένα τριαξονικό γυροσκόπιο, υπεύθυνα για την ανίχνευση της κίνησης, ήταν συνδεδεμένα με έναν μικροελεγκτή, ο οποίος επεξεργαζόταν τα δεδομένα από τους αισθητήρες. Τα αποτελέσματα ύστερα αποθηκεύονταν στην microSD κάρτα της μονάδας. Ο συγχρονισμός των αποθηκευμένων πληροφοριών γίνονταν με έναν υπολογιστή ασυρμάτως. Η λειτουργία του Physilog στηριζόταν στην χρήση μιας μπαταρίας χαμηλής ισχύος (71mA κατά την καταγραφή). Η φορετή αυτή συσκευή τοποθετούνταν πάνω από το παπούτσι του εξεταζόμενου με ελαστικό ιμάντα. Το μέγεθος (50mm x 40mm x 16mm) και το βάρος (36g) της είναι μικρό. (Mariani, et al., 2013)

Ο μικροελεγκτής με χαμηλοπερατό φίλτρο, συχνότητας αποκοπής 17 Hz και συχνότητα δειγματοληψίας 200Hz ( 16 bits), επεξεργάζεται τα σήματα που λαμβάνει από τους αισθητήρες. Το TUG και το βάδισμα αξιολογήθηκαν μέσω τυπικών χωροχρονικών παραμέτρων, όπως η ταχύτητα βήματος και το μήκος βήματος, επιπλέον των νέων παραμέτρων που το σύστημα παρείχε, π.χ. γωνία στροφής, μήκος διαδρομής και πλάτος ταλάντευσης (Mariani, et al., 2013).



Οι κύκλοι βαδίσματος ταξινομήθηκαν αυτομάτως με την χρήση χωροχρονικών παραμέτρων. Οι ομάδες στις οποίες ταξινομήθηκαν ήταν σε μεταβατικές, σταθερές και περιστροφικές φάσεις. Οι κύκλοι μετάβασης ορίστηκαν κατ' αναλογία με τον χρόνο απόκρισης του συστήματος ως οι κύκλοι βάρδισης με μήκος βήματος κάτω από το 63% της τιμής της σταθερής κατάστασης (υπολογίζεται από τη διάμεσο από όλους τους κύκλους). Ο πρώτος και ο τελευταίος κύκλος μετάβασης ορίστηκε ως η έναρξη και ο τερματισμός βάρδισης. Οι κύκλοι στροφής ορίστηκαν με γωνία στροφής πάνω από ένα κατώφλι των 20°. Τέλος όσοι κύκλοι έμειναν και δεν ταξινομήθηκαν σε κύκλους στροφής, έναρξης και τερματισμού, ταξινομήθηκαν στους κύκλους σταθερού βαδίσματος. Για κάθε φάση, ανιχνεύθηκε ο αριθμός των κύκλων και η συνολική διάρκεια υπολογίστηκε με το άθροισμα του χρόνου των κύκλων βάρδισης (Mariani, et al., 2013).

Κατά την διάρκεια των TUG test εκτός από τις δύο φορητές συσκευές Physilog, οι εξεταζόμενοι φορούσαν αντανάκλαστικούς δείκτες (reflective markers) με σκοπό την ταυτόχρονη αξιολόγηση από ένα σύστημα οπτικής ανίχνευσης κίνησης (Optical Motion Capture) με 7 κάμερες. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι η συσκευή παρουσιάζει εξαιρετική επαναληψιμότητα και στα PD άτομα και στα CO άτομα στις μετρήσεις του χρόνου του TUG, τον αριθμό βημάτων, του μήκους του διασκελισμού (σε σταθερό βάδισμα) και τον αριθμό βημάτων κατά την περιστροφή.



Εικόνα 14: (α) Αδρανειακή μονάδα Physilog (β) Τοποθέτηση Physilog στο παπούτσι. (γ) Χωροχρονικές παραμέτρους με σταθερό πλαίσιο (XYZ) και πλαίσιο βάρδισης (FLV). (Mariani, et al., 2013))

Η χρήση μιας on shoe φορητής συσκευής όπως η Physilog, αποτελεί μια πρακτική, βολική και εύκολα εφαρμόσιμη συσκευή για την αντικειμενική εκτίμηση των τρισδιάστατων κινητικών παραμέτρων. Η εύκολη εφαρμογή της στο πάνω μέρος του παπουτσιού και η ικανότητα σωστής μέτρησης ανεξαρτήτως θέσεως του αισθητήρα πάνω στο παπούτσι την καθιστά ιδανική επιλογή. Επιπλέον η τοποθέτηση της με χρήση ιμάντα, το μικρό μέγεθός της και το γεγονός ότι είναι ελαφριά την καθιστά προσιτή και στο γηραιότερο πληθυσμό (όπου έχουμε μεγαλύτερα ποσοστά κινητικών διαταραχών).

Η χρήση της μελλοντικά θα έχει ως στόχο την κατ' οίκον παρακολούθηση ούτως ώστε να μπορούν οι νευρολόγοι να έχουν μια καλύτερη εικόνα για την κατάσταση των ασθενών, μιας και η εξέταση σε κλινικές εγκαταστάσεις δεν είναι αντιπροσωπευτική, για λόγους που έχουμε εκθέσει παραπάνω.

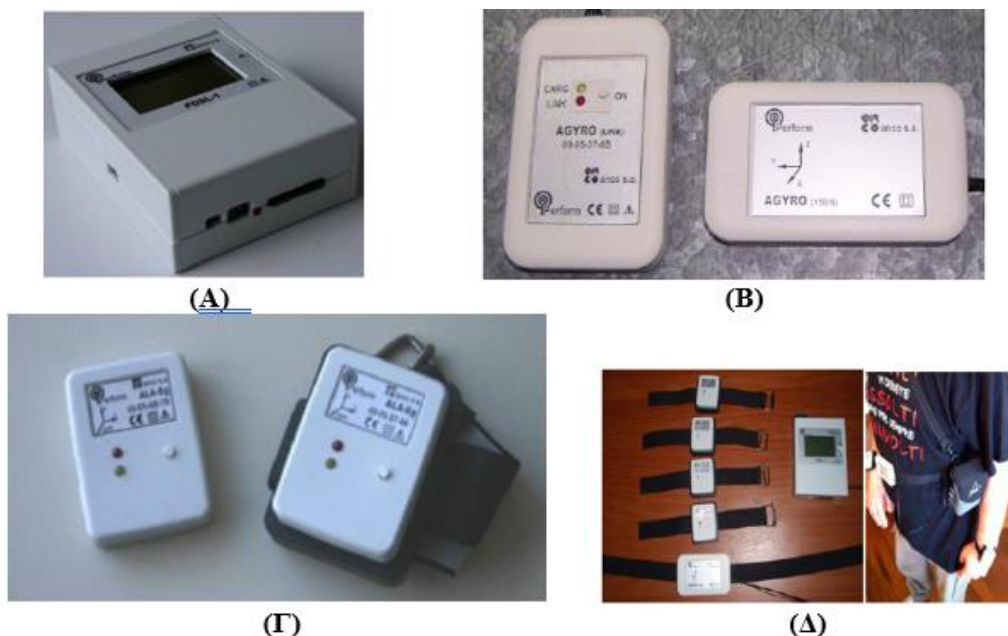
Παρόλα τα θετικά μιας on shoe φορητής συσκευής, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή και άλλων κλινικών ερευνών και στατιστικών αναλύσεων πάνω σε μεγαλύτερο δείγμα ασθενών PD και CO, ούτως ώστε να επικυρωθεί η χρήση αυτών

των χωροχρονικών παραμέτρων (μήκος διασκελισμού, μήκος διασκελισμού κλπ) για την αξιολόγηση της κίνησης σε PD.

#### **2.1.2.6.B Φορητό σύστημα για μακρόχρονη συνεχόμενη παρακολούθηση συχνών συμπτωμάτων της PD**

Το 2014 ο Markos Tsiouras και οι συνεργάτες του εξέτασαν ένα μέρος του συστήματος Perform, το οποίο είχε ως στόχο την συνεχή αξιολόγηση και παρακολούθηση της κινητικής κατάστασης των PD ασθενών. Το Perform αποτελείται από τρία κυρίως τμήματα την Πολύ-αισθητηριακή Μονάδα Παρακολούθησης (Wearable Multi-Sensor Monitoring Unit - WMSMU), την Μονάδα «Τοπικής» Βάσης (Local Base Unit) και την Κεντρική Νοσοκομειακή Μονάδα (Centralized Hospital Unit). Στην έρευνα αυτή ανέλυσαν την λειτουργία της WMSMU. Στην WMSMU, πραγματοποιείται η προ-επεξεργασία των σημάτων από επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια που μετέπειτα χρησιμοποιούνται από την Μονάδα Τοπικής Βάσης, με σκοπό την ποσοτικοποίηση και κατηγοριοποίηση των κινητικών συμπτωμάτων και της κινητικής κατάστασης των PD ασθενών. Συνδυάζει ένα σύνολο φορητών αισθητήρων, όπου τα δεδομένα τα οποία καταγράφουν, επεξεργάζονται και αναλύονται με περίπλοκες μεθόδους ανάλυσης δεδομένων. Η φορητή μονάδα αυτή, εξετάστηκε πάνω σε 12 ασθενείς με συμπτώματα της ασθένειας του Πάρκινσον. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Perform θα μπορούσε μελλοντικά να οδηγήσει σε μακρόχρονη κατ' οίκον παρακολούθηση των συμπτωμάτων ασθενών με PD (Tsiouras, et al., 2014).

Η Perform WMSMU είναι μια ελαφριά φορητή μονάδα, φυσικά προσαρτημένη στο σώμα του ασθενούς με PD και αποτελείται από τέσσερα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα ALA-6g, μια συσκευή AGYRO η οποία περιλαμβάνει τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο και τριαξονικό γυροσκόπιο (τεχνολογίας MEMS-Micro-Electro-Mechanical-System) και έναν καταγραφέα PDSL-1 Logger. Τα ALA-6g αποτελούν μικρές και άνετες συσκευές και τοποθετούνται στα τέσσερα άκρα του ασθενούς, στους καρπούς και στους αστραγάλους. Επιπλέον συνδέονται ασύρματα με το PDSL-1 Logger για μεταφορά δεδομένων μέσω δίκτυο αισθητήρων σώματος (Body Sensor Network). Στην μέση του ασθενούς τοποθετείται η AGYRO, η οποία με την χρήση ενός μακριού καλωδίου συνδέεται μονίμως με το PDSL-1 Logger για να στέλνει τα δεδομένα της (Tsiouras, et al., 2014). Τα ALA-6g επιταχυνσιόμετρα είναι υπεύθυνα για την καταγραφή της επιτάχυνσης του κάθε άκρου και η AGYRO είναι σχεδιασμένη για την καταγραφή της επιτάχυνσης του σώματος αλλά και της γωνιακής ταχύτητας κατά την διάρκεια των στροφών. Το PDSL-1 Logger λαμβάνει και από τα ALA-6g και την AGYRO σήματα με σκοπό την συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της καθημερινής κινητικότητας και κατάστασης του ασθενούς στην ενσωματωμένη SD κάρτα που περιλαμβάνει (Tsiouras, et al., 2014).



Εικόνα 15:(Α)Data Logger (Β) Συσκευή Agyro (Γ) ALA-6g και ALA-6g-Ext επιταχυνσιόμετρα (Δ) Το σύστημα PERFORM WMSMU, PDSL-1, τα τέσσερα επιταχυνσιόμετρα ALA-6g και μία συσκευή AGYRO (αριστερά) και η τοποθέτηση WMSMU επάνω στο σώμα (δεξιά) (Tsipouras, et al., 2014)

Για την αξιολόγηση της Perform εξετάστηκε η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων και η αποθήκευση των δεδομένων στην SD κάρτα. Συγκεκριμένα ελέγχθηκε η ισχύς του δικτύου, κατά πόσο δηλαδή χάνονται δεδομένα και αποσυνδέονται οι μικροσυσκευές, αλλά και αξιολογήθηκε η μέγιστη διακίνηση των δεδομένων του ασύρματου δικτύου. Επίσης ελέγχθηκε και η ακρίβεια του συστήματος στην μέτρηση των επιταχύνσεων με την χρήση του Q-test<sup>3</sup>. Το Q-Test αποτελεί εσωτερική εφαρμογή και σε συνδυασμό με την Μονάδα Τοπικής Βάσης, κατά την διάρκεια της μελέτης, πρόβαλλε σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη τις τιμές των επιταχύνσεων. Από την προβολή αυτών των δεδομένων ο προγραμματιστής έλεγχε τους σωστούς προσανατολισμούς και τις κατευθύνσεις του άξονα των επιταχύνσεων και των γυροσκοπίων (Tsipouras, et al., 2014).

Συμπερασματικά, ο Markos Tsipouras και οι συνεργάτες του κατέληξαν στο γεγονός ότι η επικοινωνία των μερών της φορητής μονάδας WMSMU βρίσκεται σε πολύ καλό επίπεδο καθώς και η ταξινόμηση των αλγορίθμων οδηγεί σε ορθή αξιολόγηση της κατάστασης των PD ασθενών. Παρόλο που η έρευνα δεν επικεντρώθηκε στην γενική αποτελεσματικότητα της συσκευής και στην σύγκρισή της με τις ήδη υπάρχουσες, με την ανάλυση που διεξήχθη γίνεται κατανοητό ότι μπορεί να αποτελέσει ένα προηγμένης τεχνολογίας και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο για την αντιμετώπιση και διαχείριση της ασθένειας του Πάρκινσον.

<sup>3</sup>**Dixon's Q-test ή Q-test:** Αποτελεί μια διαδικασία στην στατιστική για τον εντοπισμό και την απόρριψη των ακραίων τιμών.

### 2.1.2.6.Γ Φορητό ασύρματο σύστημα για ανάλυση βάδισης για έγκαιρη διάγνωση της νόσου Alzheimer και της νόσου Parkinson

Η πειραματική μελέτη που διεξήγαγαν οι N. Margiotta, G. Avitabile, G. Coviello έδειξε την αποτελεσματικότητα τους συστήματος, που εξετάστηκε στην μέτρηση χωρητικών και χρονικών παραμέτρων σε ομάδες υγιών ατόμων κατά την διάρκεια διαφορετικών μοτίβων περπατήματος (αργό και γρήγορο περπάτημα και σύρσιμο ποδιών κατά το περπάτημα). Το ασύρματο φορητό σύστημα, σε συνδυασμό με τον ειδικό αλγόριθμο, δημιουργήθηκε με στόχο την ανάλυση του βαδίσματος σε ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον και Αλτσχάιμερ. Μελλοντικά, αναφέρουν οι συγγραφείς, το φορητό αυτό σύστημα ανάλυσης βαδίσματος θα εξετασθεί και σε ομάδες ατόμων με ήπια μορφή Αλτσχάιμερ και νόσο του Πάρκινσον (Margiotta, et al., 2017).

Συγκεκριμένα το φορητό σύστημα της μελέτης συνδυάζει IMU με ένα ασύρματο δίκτυο φορητών αισθητήρων (Wireless Body Sensor Network – WBSN). Το WBSN αποτελείται από δύο φορητούς κόμβους αισθητήρων (wearable sensor nodes - WSN) και έναν πομποδέκτη (transceiver), οποίος συνδέεται σε υπολογιστή μέσω θύρας USB. Πραγματοποιείται αυτόματος συγχρονισμός των δεδομένων από τα WBSN, δηλαδή τα δεδομένα αποθηκεύονται τοπικά και μεταδίδονται εξ αποστάσεως με διεπαφή χαμηλής ενέργειας (Bluetooth Low Energy- BLE interface) σε έναν κεντρικό διακομιστή για την ανάλυση εκτός σύνδεσης. Τα WBSN βρίσκονται μέσα σε πλαστικές θήκες και εφαρμόζουν πάνω στο σώμα με την βοήθεια των ελαστικών ιμάντων που διαθέτουν. Τα WBSN τοποθετούνται πάνω στον εξεταζόμενο και τα δύο από την ίδια πλευρά του ποδιού και συγκεκριμένα το ένα στον τετρακέφαλο και το άλλο πιο κάτω από το γόνατο (βλέπε *Εικόνα 15*). Το κάθε WBSN διαθέτει μπαταρία τύπου «κουμπιού» (button) μη επαναφορτιζόμενη 125mAh Li-MnO<sub>2</sub> και επεξεργαστή Single ultra-low power 16MHz 32bit ARM Cortex-M0. Ακόμα κάθε WBSN διαθέτει μια ενσωματωμένη μνήμη και ένα IMU MPU6000. Το MPU6000 αποτελείται αντίστοιχα από ένα 3-αξονικό επιταχυνσιόμετρο και ένα 3-αξονικό γυροσκόπιο. Τα IMUs μέσω των επιταχυνσιόμετρων παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον προσανατολισμό της συσκευής ενώ μέσω των γυροσκοπίων παρέχουν πληροφορίες όσον αφορά την γωνιακή ταχύτητα. Με την χρήση των IMUs μπορεί αυτόνομα να μετρηθούν τα μοτίβα κίνησης μέσα στην καθημερινή ζωή.

Πραγματοποιήθηκαν πολλές προκαταρκτικές δοκιμές μετρήσεων στο εργαστήριο προκειμένου να επικυρωθεί η απόδοση του συστήματός αυτού. Όμως για την χρήση τους από ασθενείς με Αλτσχάιμερ και νόσο του Πάρκινσον θα πρέπει να διεξαχθεί νέα μελέτη με συμμετοχή ατόμων με αυτές τις παθήσεις, ούτως ώστε να επικυρωθεί η απόδοσή τους (Margiotta, et al., 2017).



Εικόνα 16 Σύστημα μέτρησης δεδομένων βάδισης (Margiotta, et al., 2017)

#### 2.1.2.6.4 Αξιολόγηση δοκιμασίας TUG με φορητές συσκευές

Στο άρθρο της Ana Francisca Rozin Kleiner και των συνεργατών της του 2018 με τίτλο “Timed Up and Go evaluation with wearable devices: Validation in Parkinson's disease” αναφέρονται στην μελέτη που πραγματοποίησαν με σκοπό να συγκριθούν οι συνολικοί χρόνοι των TUG τεστ που μετρήθηκαν από ένα φορητό 3-αξονικό IMU, με εκείνους που ελήφθησαν από ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα και ένα χρονόμετρο. Συγκεκριμένα συγκρίθηκαν, το G walk, BTS® IMU με το οπτοηλεκτρονικό σύστημα με εργαλείο μέτρησης BTS® SMART (που αποτελεί «χρυσό» πρότυπο, δηλ. πρότυπη διαδικασία αναφοράς) και ένα απλό χρονόμετρο. Με αυτήν την μελέτη είχαν ως σκοπό να εξετάσουν κατά πόσο τα IMUs θα είναι κατάλληλα για την πραγματοποίηση TUG τεστ σε PD ασθενείς (Rozin Kleiner, et al., 2018).

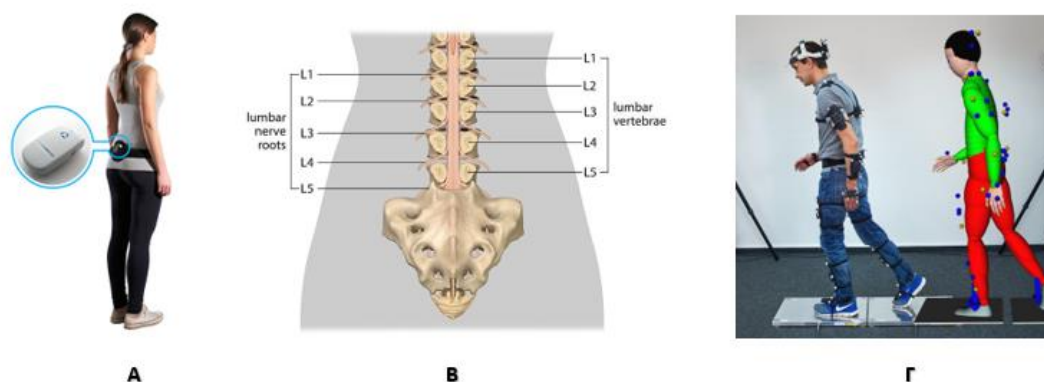
#### Συσκευή

Η φορητή συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του TUG ήταν το BTS G-Walk® το οποίο περιέχει ένα IMU, το BTS G-Sensor®. Το αδρανειακό αυτό σύστημα αποτελείται από ένα τριαξονικό επιταχυνσίμετρο 16 bit/axes με πολλαπλές ευαισθησίες ( $\pm 2 \pm 4$ ,  $\pm 8, \pm 16$  g), ένα τριαξονικό γυροσκόπιο 16 bit/axes με πολλαπλές ευαισθησίες ( $\pm 250$ ,  $\pm 500, \pm 1000$ ,  $\pm 2000^\circ$  /s) και ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο 13 bit. Με αυτό το σύστημα αισθητήρων είναι εφικτή η απόκτηση και η μετάδοση πληροφοριών σε υπολογιστή μέσω Bluetooth σύνδεσης. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό BTS® G-Studio, το οποίο είναι υπεύθυνο για την απόκτηση, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων. Η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 100Hz. Σημαντική ήταν η ορθή τοποθέτηση του συστήματος στον οσφυϊκό σπόνδυλο L5 (βλέπε Εικόνα 16 (B)). Το BTS G-Studio εκτός από πολλαπλά πρωτόκολλα ανάλυσης, διαθέτει και εξειδικευμένο πρωτόκολλο για την ανάλυση TUG τεστ. (Rozin Kleiner, et al., 2018)

Στην έρευνα, το οπτοηλεκτρονικό σύστημα (BTS® SMART) αποτελούνταν από δύο οπτοηλεκτρονικές κάμερες και είχε συχνότητα δειγματοληψίας ίδια με το IMU, δηλαδή 100Hz. Είκοσι δύο σφαιρικοί αντανακλαστικοί παθητικοί δείκτες



(spherical retroreflective passive markers), διαμέτρου 14 mm, τοποθετήθηκαν στο δέρμα των κάτω άκρων και του κορμού των ατόμων σε συγκεκριμένα σημεία σύμφωνα με το πρωτόκολλο που περιγράφεται από τον Davis και των συνεργατών του στο άρθρο “A gait analysis data collection and reduction technique” (1991). (Rozin Kleiner, et al., 2018)



Εικόνα 17 (Α) G Walk: Φορητό 3-αξονικό IMU (πηγή: <https://podiatrist.borginsole.com/en/bts-g-walk-sensor>), (Β) Οσφυϊκοί σπόνδυλοι L1- L5 (πηγή: <https://www.flintrehab.com/lumbar-spine-injury/>), (Γ) Καταγραφικό κίνησης της ART με το λογισμικό ανθρώπινου μοντέλου Dynamicus της IFM (πηγή: <https://ar-tracking.com/en/product-program/motion-capture>)

### Ανάλυση των δεδομένων

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε αρχικά ανάλυση διασποράς μιας κατεύθυνσης (One Way ANOVA), με την οποία συγκρίθηκαν οι διαφορές των μέσων τιμών των τριών συστημάτων, όσον αφορά τους χρόνους των TUG (Rozin Kleiner, et al., 2018).

Η αξιοπιστία της μέτρησης αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τον Συντελεστή Συσχέτισης Intraclass (Intraclass Correlation Coefficient - ICC) που υπολογίστηκε με χρήση στατιστικού λογισμικού SPSS (έκδοση 2015, IBM Corporation). Η επαναληψιμότητα και η ακρίβεια εξετάστηκαν με τη χρήση γραφικής παράστασης Bland-Altman (BA plot), που ο υπολογισμός της πραγματοποιήθηκε με χρήση λογισμικού Microsoft Excel (έκδοση 2011, Microsoft Corporation). (Rozin Kleiner, et al., 2018) Με την ANOVA μιας κατεύθυνσης δεν φάνηκαν διαφορές μεταξύ των μέσων μετρήσεων χρόνου TUG των 3 συστημάτων. Οι TUG χρόνοι έδειξαν εξαιρετική αξιοπιστία για μεμονωμένες και μέσες μετρήσεις μεταξύ των τριών συστημάτων. Το χρονόμετρο παρουσίασε μικρότερες διαφορές σε σύγκριση με το οπτοηλεκτρονικό σύστημα από ότι με το IMU (Rozin Kleiner, et al., 2018).

### Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Στην έρευνα αυτή το IMU έδειξε εξαιρετική αξιοπιστία, ακρίβεια και επαναληψιμότητα στην ποσοτικοποίηση των χρόνων ολοκλήρωσης του TUG τεστ. Επίσης, δείχθηκε ότι οι χρόνοι που μετρούνται με IMU είναι παρόμοιοι με αυτούς που λαμβάνονται χρησιμοποιώντας το οπτοηλεκτρονικό σύστημα (το «χρυσό πρότυπο»). Το IMU υπερτερεί έναντι των οπτοηλεκτρονικών συστημάτων για διάφορους λόγους. Πρώτον, το κόστος των IMU είναι δύο τάξεις μικρότερο από αυτό

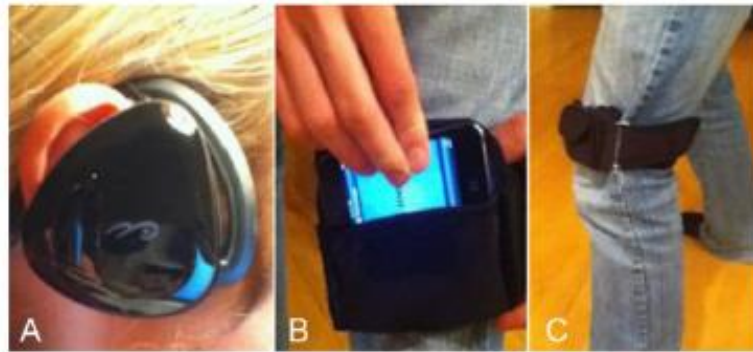
των οπτοηλεκτρονικών συστημάτων, συνεπώς θα είναι πιο εύκολη η ενσωμάτωση τους στην υγειονομική περίθαλψη. Δεύτερον, ενώ ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα έχει την ικανότητα να ποσοτικοποιήσει την κίνηση με υψηλό βαθμό ακρίβειας και επαναληψιμότητας, ένα IMU μπορεί να ποσοτικοποιήσει την κίνηση λαμβάνοντας υπόψιν και περιβαλλοντικούς όρους, δηλαδή μπορεί να συλλέξει δεδομένα από την καθημερινότητα του ασθενούς, αλλά και να αξιολογήσει την λειτουργική ικανότητα του ασθενούς. Τρίτον, η δυνατότητα χρήσης του συστήματος και στο σπίτι, όχι μόνο αποτελεί μεγάλη διευκόλυνση σε ασθενείς σε προχωρημένα στάδια (λόγω δυσκολίας μετακίνησης), αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι αντικατοπτρίζεται καλύτερα η κατάσταση του ασθενούς. Το τελευταίο οφείλεται στο ότι οι ασθενείς σε καταστάσεις δοκιμών σε εργαστηριακό ή κλινικό περιβάλλον συχνά αποδίδουν καλύτερα επειδή είναι πιο συγκεντρωμένοι (έχουν μεγαλύτερη συνείδηση της κίνησης τους) και τα αποτελέσματα της εξέτασης δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως τις ικανότητες του ασθενούς (καθώς δεν αναπαράγει τις συνθήκες του σπιτιού). Τέταρτον, η γρήγορη αξιολόγηση που παρέχει το IMU ευνοεί σε περιβάλλοντα νοσοκομείων ημέρας ή αποκατάστασης που απαιτούν γρήγορες και απλές αξιολογήσεις.

Για την ανάπτυξης όμως μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας, είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση μελετών για την σύγκριση των υποφάσεων του TUG τεστ με χρήση IMU σε σύγκριση με ένα οπτοηλεκτρονικό σύστημα, πράγμα που δεν έγινε στην μελέτη που αναφερόμαστε (Rozin Kleiner, et al., 2018).

Επίσης, τα IMU αν συγκριθούν με τα χρονόμετρα, έχουν την ικανότητα να συλλέξουν πολύ μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών όσον αφορά την απόδοση του ασθενούς και παρουσιάζουν μειωμένη υποκειμενικότητα στις μετρήσεις τους. Ενώ τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι οι μετρήσεις που λαμβάνονται από ειδικούς χειριστές με την χρήση χρονομέτρου είναι εξαιρετικά αξιόπιστες, έχουν ακρίβεια και επαναληψιμότητα, ωστόσο, είναι υποκειμενικές και εξαρτώνται από τον χειριστή-ιατρό. Η μικρότερη εμπειρία του ιατρού δηλαδή, θα μπορούσε να επηρεάσει την ποιότητα της μέτρησης (Rozin Kleiner, et al., 2018).

Εν κατακλείδι, το TUG τεστ είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέχρι και σήμερα τεστ, το οποίο πραγματοποιείται κυρίως με χρήση χρονομέτρου. Μελλοντικά όμως πραγματοποίηση του TUG τεστ με χρήση IMU, θα μπορούσε να βελτιώσει τα χρονικά πλαίσια αξιολόγησης και την ποιότητα παρακολούθησης της νόσου (Rozin Kleiner, et al., 2018).

### 2.1.2.6.E Φορητή συσκευή Ambulosono



Εικόνα 18(A) Ασύρματα ακουστικά της Ambulosono (B)&(Γ) Η συσκευή της Ambulosono τοποθετείται πάνω από το γόνατο του εξεταζόμενου

Μια ακόμη φορητή συσκευή η οποία έχει σημαντικές εφαρμογές στην διάγνωση της PD βοηθώντας κλινικά στην αξιολόγηση των κινητικών διαταραχών, είναι η Ambulosono την οποία εξετάζουν οι Bin Hu και Taylor Chomiak (Hu & Chomiak, 2019), λαμβάνοντας υπόψη πρόσφατες έρευνες που είχαν εκπονηθεί πάνω σε αυτή. Συγκεκριμένα στην μελέτη αυτή οι ερευνητές κατέληξαν στο γεγονός ότι η Ambulosono μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμη στην διεξαγωγή της δοκιμασίας βάρδισης 6 λεπτών (6-Minutes-Walking-Test - 6MWKT) και της δοκιμασίας επιτόπιου βαδίσματος (Stepping-In-Place - SIP), που αποτελούν και χρήσιμες παρεμβάσεις κινητικής προπόνησης και οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Επιπλέον, η φορητή αυτή συσκευή έχει εφαρμογές και στην αποκατάσταση των ασθενών, οι οποίες όμως θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

#### 6MWKT-Ambulosono

Αρχικά στο παραπάνω άρθρο των Bin Hu και Taylor Chomiak αναλύθηκε η χρήση της φορητής συσκευής Ambulosono για την τυποποίηση και αυτοματοποίηση του 6MWKT με στόχο την αξιολόγηση της ταχύτητας του βαδίσματος. Στη έρευνα που αναφέρεται, έλαβαν μέρος 57 ασθενείς και διήρκησε 4 εβδομάδες.

Το 6MWKT τεστ αποτελεί έναν από τους βασικούς τρόπους διάγνωσης και αξιολόγησης διαταραχών στην βάρδιση, της καρδιαγγειακής κατάστασης/υγείας, και των αποτελεσμάτων της θεραπείας (treatment outcomes). Η διερεύνηση των αποτελεσμάτων της θεραπείας συνίσταται στην αξιολόγηση που πραγματοποιείται πάνω στα αποτελέσματα στον τρόπο διαχείρισης και τις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για την καταπολέμηση της νόσου, προκειμένου να καθοριστεί η αποτελεσματικότητα, η ασφάλεια και η πρακτικότητα αυτών των μεθόδων/διαδικασιών.

Το 6MWKT αξιολογεί τη λειτουργική ικανότητα του ατόμου και παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με όλα τα συστήματα του σώματος κατά τη διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένων των πνευμονικών και καρδιαγγειακών συστημάτων, της κυκλοφορίας του αίματος, των νευρομυϊκών μονάδων, του μεταβολισμού του σώματος και της περιφερικής κυκλοφορίας. Κατά την διάρκεια της εξέτασης αυτής, δίνονται εντολές στον εξεταζόμενο να περπατήσει για 6 λεπτά σε ένα χώρο με σημαδεμένη διαδρομή. Έπειτα αξιολογείται η επίδοση του ασθενούς από τους κλινικούς ιατρούς. Σαν βοηθητικό εργαλείο για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα η συσκευή Ambulosono. Η φορητή



αυτή συσκευή, ενσωματώνει αισθητήρες και την εφαρμογή iOS GaitReminder η οποία επεξεργάζεται τα δεδομένα των αισθητήρων. Η συσκευή προσαρμόζεται πάνω από το γόνατο του εξεταζόμενου και συνδέεται μέσω Bluetooth σύνδεσης, με ασύρματα ακουστικά (βλέπε *Εικόνα 17*). Οι αισθητήρες της Ambulosono (iOS 3-D γυροσκόπιο και 3-D επιταχυνσιόμετρο) καταγράφουν το μέγεθος του βήματος και την ταχύτητα. Με βάσει αυτά τα δεδομένα η εφαρμογή iOS GaitReminder καθοδηγεί μέσω ακουστικών εντολών τον εξεταζόμενο όσον αφορά τον τρόπο της βάδισής του. Οι ακουστικές αυτές εντολές είναι προκαθορισμένες και τυποποιημένες από ειδικούς και περιλαμβάνουν ενθαρρυντικές προτροπές, εντολές για τον ρυθμό βάδισης (αργό ή γρήγορο) καθώς και ακουστική επισήμανση για την ολοκλήρωση του τεστ.

Τα αποτελέσματα της έρευνας άνοιξαν προοπτικές για μελλοντική χρήση της Ambulosono σαν σημαντικό εργαλείο για την διάγνωση της ασθένειας του Πάρκινσον. Στο μέλλον θα μπορούν τα δεδομένα που συλλέγονται από την Ambulosono να επεξεργάζονται από ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης και το αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής να είναι ο προσδιορισμός και η οπτικοποίηση των νοητικών και κινητικών διαστάσεων του FOG.

### **SIP-Ambulosono**

Το παραπάνω άρθρο αναφέρεται επίσης σε μια έρευνα του 2015 στην οποία ο Chomiak με άλλους συνεργάτες (Chomiak, et al., 2015) περιέγραφαν την διαδικασία SIP, όπου χρησιμοποιούσαν βοηθητικά και την συσκευή Ambulosono. Το SIP είναι ένα τεστ κατά το οποίο ο εξεταζόμενος εκτελεί επιτόπιο βάδισμα. Η λειτουργία της Ambulosono στην διαδικασία αυτή αφορά στην μέτρηση του ύψους βήματος και την κάμψη του ισχίου του εξεταζόμενου. Κατά την διάρκεια της έρευνας στην οποία αναφέρεται το άρθρο, ο ασθενής δεχόταν μια σειρά ακουστικών εντολών μέσω της Ambulosono. Οι εντολές αυτές περιείχαν αριθμητικές αφαιρέσεις ή μνημονική ανάκληση λέξεων (word memory recall). Ο συνδυασμός της SIP με τις εντολές αυτές είχαν ως σκοπό να «προκαλέσουν» στον ασθενή επεισόδιο FOG. Έχει αποδειχθεί ότι το FOG στην PD αποτελεί νοητικό-κινητικό σύμπτωμα που συχνά εμφανίζεται όταν ο ασθενής αποσπάται από άλλη δευτερεύουσα, είτε νοητική είτε κινητική, εργασία, δηλαδή όταν εκτελεί δύο εργασίες ταυτοχρόνως (dual tasking).

Η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια των μετρήσεων της Ambulosono συγκρίθηκε βάσει ενός προγράμματος ανάλυσης κινηματικού βίντεο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στους ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον, το ύψος βήματος είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Επίσης τα αποτελέσματα του SIP τεστ στους ασθενείς που δεν παρουσίαζαν επεισόδια FOG ήταν καλύτερα από εκείνους που παρουσίαζαν. Με την έρευνα αυτή φάνηκε ότι η χρήση φορετών συσκευών σε συνδυασμό με το SIP τεστ μπορούν να αποτελέσουν μια νέα μέθοδο αξιολόγησης στην PD χωρίς περιορισμούς, όσον αφορά τον χώρο όπου γίνεται η αξιολόγηση, εφόσον μπορεί να γίνει και στην οικία του ασθενή(ή και οπουδήποτε αλλού).

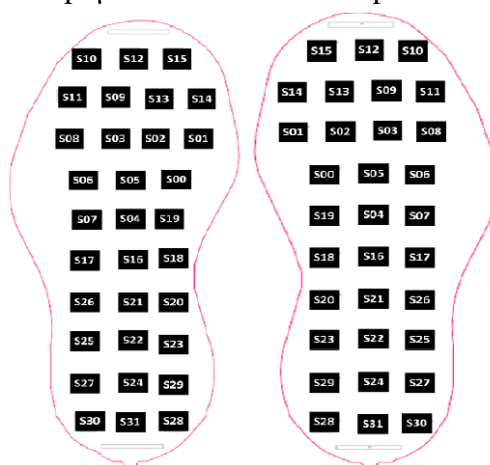
### 2.1.2.6.ΣΤ «Έξυπνες ένθετες σόλες» (*Smart Insoles*) για ανάλυση βαδίσματος

Τα περισσότερα από τα συστήματα συσκευών καταγραφής της κίνησης, φορετά ή μη, που χρησιμοποιούνται σε «περιβάλλοντα ελεύθερης διαβίωσης» (free living environment), δηλ. στους χώρους όπου κινείται το άτομο στην καθημερινότητά του ενώ έχουν μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις, έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά απαιτούν την τοποθέτηση μικρών ηλεκτρονικών συσκευών είτε στον αστράγαλο είτε στο εξωτερικό μέρος του παπουτσιού (όπως το Physilog που αναφέραμε πιο πάνω). Αυτό αποτελεί πρόβλημα για τους ασθενείς PD, από την στιγμή που οι περισσότεροι είναι μεγάλης ηλικίας και δεν είναι πρακτική και εύκολη η τοποθέτησή τους, λόγω του ότι είναι ογκώδεις και συχνά έχουν καλώδια σύνδεσης. Επίσης το μέρος που τοποθετούνται τα κάνει ορατά από τον περίγυρο του ασθενούς με αποτέλεσμα να μην νιώθει ο ασθενής άνετα να τα φοράει. Τα φορετά συστήματα καταγραφής της κίνησης έχουν την δυνατότητα να κάνουν ικανοποιητική ανάλυση του βαδίσματος λόγω του ότι αποτελούνται από επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια. Δεν παρέχουν όμως πληροφορίες όσον αφορά την κατανομή του βάρους (κατά το βάδισμα). Μια φορετή συσκευή εντός σόλας («ένθετη σόλα») (insole) συνδυάζει και την καταγραφή της κίνησης αλλά και την παροχή πληροφοριών για την κατανομή του βάρους. Ακόμη τα συστήματα καταγραφής και ανάλυσης της βαδίσσης σε περιβάλλοντα ελεύθερης διαβίωσης είναι ακριβά και χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές κλινικές εγκαταστάσεις. Μια ένθετη σόλα ελπίζεται ότι θα μπορεί μελλοντικά να εξυπηρετήσει ως εργαλείο εξ' αποστάσεως παρακολούθησης όχι μόνο για την ασθένεια του Πάρκινσον αλλά και για άλλες χρόνιες παθήσεις όπως εγκεφαλικά, άνοια, καρκίνο, καρδιακές παθήσεις και διαβήτη. Η ασύρματη σύνδεση της για την μεταφορά δεδομένων, όπως μπορεί να γίνει και για οποιαδήποτε εφαρμογή είτε φορητών είτε φορετών διατάξεων, θα μπορεί να συνδεθεί και με υπηρεσίες νέφους (cloud services), ώστε τα δεδομένα που θα αποστέλλονται να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ερευνητικό τομέα, εφόσον έχουν ληφθεί οι κατάλληλες πρόνοιες για τα προσωπικά δεδομένα. Επιπλέον, θα μπορέσει να αποτελέσει ως βάση για την εκτίμηση των μεθόδων αποκατάστασης των ασθενών.

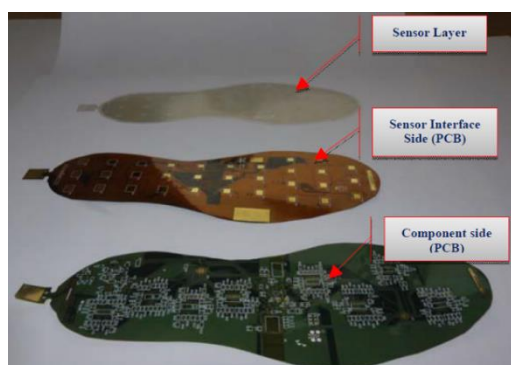
Στη συνέχεια θα αναφερθούμε με λεπτομέρεια σε μία από τις μελέτες που περιγράφουν έρευνα σχετική με σύστημα έξυπνης ένθετης σόλας (Mustufa, et al., 2015). Η έξυπνη ένθετη σόλα της παραπάνω μελέτης έχει ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες, τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα, μικροελεγκτή και Bluetooth τεχνολογία επικοινωνίας και έχει σκοπό την ανίχνευση της πίεσης στο πέλμα του ποδιού σε περιβάλλοντα ελεύθερης διαβίωσης. Η σόλα αποτελείται από 32 πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε όλο το μήκος της σόλας όπως φαίνεται στην εικόνα (βλέπε *Εικόνα 18*) (Mustufa, et al., 2015). Εκτός των αισθητήρων πίεσης έχουμε και αισθητήρα θερμοκρασίας αλλά και έναν αισθητήρα δύναμης υπεύθυνο για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση της σόλας. Τα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα παρέχουν στο σύστημα πληροφορίες για τον προσανατολισμό του πέλματος. Η σόλα αποτελείται από 2 ελαστικά στρώματα τυπωμένων κυκλωμάτων (printed circuit boards – PCB) και ένα στρώμα στο οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες. Τα τρία αυτά στρώματα είναι τοποθετημένα μέσα σε μια μαλακή θήκη που εξασφαλίζει άνεση στον χρήστη αλλά και προστασία των αισθητήρων και των κυκλωμάτων που έχει ενσωματωμένα.

Το μπλοκ διάγραμμα της έξυπνης ένθετης σόλας αποτελείται από 4 βασικά τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελείται από αισθητήρες πίεσης, κυκλώματα προσαρμογής του σήματος (Signal Conditioning Circuits -SCC) και αναλογικού-ψηφιακού μετατροπέα (Analog to Digital Converter - ADC). Οι αισθητήρες

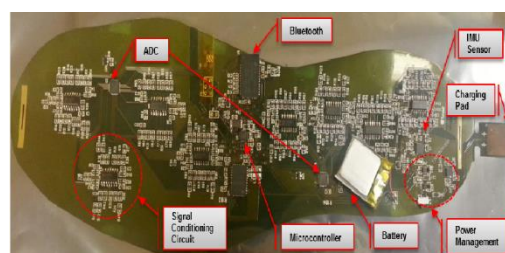
μεταδίδουν τα σήματα πίεσης (που έχουν γίνει ηλεκτρικά) στα SCC κυκλώματα. Τα SCC επεξεργάζονται τα δεδομένα και τα στέλνουν στα ADC και από εκεί μετά ο μικροελεγκτής διαβάζει τα δεδομένα με συχνότητα 5 Hz. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από ένα IMU MPU6000 το οποίο αποτελείται από ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο και ένα τριαξονικό γυροσκόπιο. Το επιταχυνσιόμετρο καταγράφει την κίνηση του πέλματος σε 3 διαστάσεις ενώ το γυροσκόπιο καταγράφει την γωνιακή περιστροφή του πέλματος. Το τρίτο τμήμα είναι υπεύθυνο για την διαχείριση της ενέργειας της σόλας και αποτελείται από ένα κύκλωμα που ελέγχει την κατάσταση της μπαταρίας της σόλας και κυκλώματα ρυθμιστών-σταθεροποιητών της τροφοδοσίας σόλας, κυρίως για το κύκλωμα του ADC. Η μπαταρία που έχει είναι 280mAh Li-ion και μπορεί να καταγράψει συνεχόμενα για 2 ώρες. Το τέταρτο τμήμα είναι υπεύθυνο για την σύνδεση της σόλας με ένα έξυπνο τηλέφωνο (smartphone) ή τάμπλετ ή υπολογιστή. Η σύνδεση αυτή γίνεται με την βοήθεια ενός TI LMX9838 Bluetooth chip με baud rate 115200bps.



Εικόνα 19: Τοποθέτηση των σημείων ανίχνευσης πίεσης σε κάθε έξυπνη ένθετη σόλας (Mustufa, et al., 2015)



Εικόνα 20: Εύκαμπτα PCB με ηλεκτρονικά κυκλώματα αισθητήρων και διασυνδέσεων (Mustufa, et al., 2015)



Εικόνα 21: Τοποθέτηση εξαρτημάτων της έξυπνης ένθετης σόλας (Mustufa, et al., 2015)

### Αξιοπιστία των Insoles για μέτρηση βημάτων, στάσης και αναγνώριση δραστηριότητας ασθενούς

Στη συνέχεια παραθέτουμε περίληψη των αποτελεσμάτων μιας ανασκόπησης βιβλιογραφίας που πραγματοποιήθηκε στην δημοσίευση (Ngueleu, et al., 2019), όπου

παρατίθεντο και συγκρίνονταν αποτελέσματα ερευνών όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι ένθετων για την ανίχνευση βημάτων και της στάσης κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων. Οι ερευνητές συγκέντρωσαν υλικό από έξι διαφορετικές βάσεις δεδομένων βάσει κριτηρίων αναζήτησης που είχαν θέσει. Από 33 άρθρα που επιλέχθηκαν τελικά έβγαλαν δεδομένα όσον αφορά την εγκυρότητα των μετρήσεων των ένθετων σολών δηλαδή την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα, την ευαισθησία, την ειδικότητα, τον ρυθμό αναγνώρισης και το σφάλμα μέτρησης κατά την καταμέτρηση των βημάτων, τη στάση του σώματος και την αναγνώριση δραστηριότητας. Συγκεκριμένα στην στάση και στην αναγνώριση της δραστηριότητας (activity recognition), η ολική ακρίβεια<sup>4</sup> κυμαίνονταν μεταξύ 75% και 100%, το ποσοστό ορθώς θετικών ενδείξεων<sup>5</sup> μεταξύ 65.8% και 100%, η ειδικότητα<sup>6</sup> μεταξύ 98.1% και 100% και η ευαισθησία<sup>7</sup> μεταξύ 73% και 100%. Αυτές οι τιμές απέκλειαν την ανίχνευση σκαλοπατιών ανόδου/καθόδου επειδή σε ορισμένα άρθρα, η εγκυρότητα κριτηρίου αυτής της δραστηριότητας αναφέρθηκε ότι ήταν πολύ χαμηλή (από 3,0% έως 53,0%). Επίσης, ένα πρόβλημα που διαπιστώθηκε όσον αφορά τους αλγόριθμους των συσκευών ήταν η δυσκολία διαχωρισμού της ακινησίας και της πολύ αργής ταχύτητας βαδίσματος (π.χ. σε ηλικιωμένα άτομα και άτομα με νόσο του Πάρκινσον) (μεταξύ 0,69 και 0,35 m/s). Απεναντίας, στην αναγνώριση των βημάτων υπήρξε μεγάλη ακρίβεια μεταξύ 94.8% και 100%. Το περπάτημα, η ορθοστασία και το κάθισμα ήταν οι πιο συχνά αξιολογημένες δραστηριότητες (Ngueleu, et al., 2019).

Η δυνατότητα σύγκρισης των ένθετων σολών, όσον αφορά την εγκυρότητα τους δεν ήταν δυνατή για διάφορους λόγους. Αρχικά, σε κάθε μελέτη χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί αλγόριθμοι και πολλές φορές παραπάνω από ένας στην ίδια μελέτη, συνεπώς από την στιγμή που υπήρξε διαφορά στην επεξεργασία των δεδομένων δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συσκευών. Δεύτερον, σε κάθε μελέτη ο χρόνος των δοκιμών, οι δραστηριότητες που ελέγχονταν με το πρωτόκολλο και οι πειραματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες εκτελούνταν οι δοκιμές αυτές, διέφεραν μεταξύ τους. Τρίτον, τα δεδομένα που συλλέγονταν σε κάθε μελέτη και ο αριθμός των συμμετεχόντων διέφεραν και συχνά δεν συμμετείχαν ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον. Τέλος, πολλές από τις μελέτες έλαβαν χώρα σε εργαστηριακό περιβάλλον, με αποτέλεσμα να μην αντικατοπτρίζουν τις καθημερινές συνθήκες (Ngueleu, et al., 2019).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει μελλοντικά να διεξαχθούν πιο στοχευμένες έρευνες για την επικύρωση του καλύτερου τύπου ένθετης σόλας, οι οποίες μελέτες θα πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις. Αρχικά θα πρέπει να υπάρχει ομοιομορφία και τυποποίηση στη συλλογή και στον τρόπο επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων από ασθενείς σε διαφορετικά στάδια της νόσου του Πάρκινσον. Η καθιέρωση κοινού πειραματικού πρωτοκόλλου θα μπορούσε να

<sup>4</sup> **Ολική Ακρίβεια**= $A\Theta/(A\Theta+\Lambda\Theta+\Lambda\Lambda)$ , όπου  $A\Theta$  ο αριθμός αληθώς θετικών ενδείξεων (true positives),  $\Lambda\Theta$  ο αριθμός λανθασμένων θετικών ενδείξεων (false positives) και  $\Lambda\Lambda$  ο αριθμός λανθασμένων αρνητικών ενδείξεων (false negatives). Θετική ένδειξη=ασθένεια, αρνητική=υγεία.

<sup>5</sup> **Ποσοστό αληθώς θετικών**= $A\Theta/(A\Theta+\Lambda\Theta)$ , εκφράζει το ποσοστό αληθώς θετικών ενδείξεων επί όλων των θετικών ενδείξεων. Όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο περισσότερο μπορούμε να στηριχθούμε σε μια θετική ένδειξη ότι πράγματι υπάρχει κατάσταση ασθένειας.

<sup>6</sup> **Ειδικότητα**: Εκφράζει την ικανότητα του τεστ να ανιχνεύει τους αληθώς αρνητικούς (δηλ. τους υγιείς). Ισούται με  $\Lambda\Lambda/(AA+\Lambda\Theta)$ , όπου  $AA$  ο αριθμός αληθώς αρνητικών ενδείξεων.

<sup>7</sup> **Ευαισθησία**: Εκφράζει την ικανότητα του τεστ να ανιχνεύει τους αληθώς θετικούς (δηλ. τους ασθενείς). Ισούται με  $A\Theta/(A\Theta+\Lambda\Lambda)$ .

επιτρέπει τη συγκέντρωση δεδομένων για συγκριτικές αναλύσεις. Δεύτερον, θα πρέπει να υπάρχει πληθώρα δεδομένων συλλεγμένων υπό πραγματικές συνθήκες (εξωτερικά καθημερινά περιβάλλοντα). Σημαντικό ρόλο παίζει σε αυτό η ενοποίηση και η σμίκρυνση των συσκευών με την εξάλειψη εξωτερικών εξαρτημάτων και με την εφαρμογή ασύρματης τεχνολογίας. Τέλος, θα πρέπει να δοθεί βάρος ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία των μεθόδων διάκρισης μεταξύ καταστάσεων (π.χ. να μειωθεί η σύγχυση στάσης και αργού βαδίσματος).

## 2.2 Αποκατάσταση, υποβοήθηση και διαχείριση συμπτωμάτων της νόσου του Πάρκινσον

Στην PD οι διαταραχές που προκαλεί η ασθένεια όχι μόνο αποτελούν αιτία των πτώσεων σε PD ασθενείς αλλά, ταυτόχρονα με την νοητική εξασθένιση του ασθενούς, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η ικανότητα του ασθενούς να εκτελέσει καθημερινές δραστηριότητες (Hu & Chomiak, 2019). Τα κινητικά συμπτώματα που επιφέρει η ασθένεια αυτή, όπως η δυσκολία στη βάδιση, η αστάθεια, η πιθανότητα να βιώσουν ένα επεισόδιο FOG μαζί με τον φόβο μιας πιθανής πτώσης, έχουν ως αποτέλεσμα να ωθεί τους ασθενείς να μειώνουν τις εξόδους τους, πράγμα που δεν τους ωφελεί όχι μόνο σε ψυχολογικό επίπεδο, διότι δεν κοινωνικοποιούνται και δεν αλληλεπιδρούν με άλλα άτομα, αλλά ούτε και σε σωματικό επίπεδο, διότι η σωματική αδράνεια οδηγεί σε επιδείνωση της νόσου. Ακόμα, ένας σοβαρός τραυματισμός έπειτα από μια πτώση μπορεί να οδηγήσει σε εισαγωγή του ασθενούς σε νοσοκομείο ή ακόμα να απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και φροντίδα του ασθενούς στο σπίτι. Όλα τα παραπάνω είναι φανερό ότι μειώνουν την ποιότητα ζωής των ασθενών με νόσο του Πάρκινσον (Son, et al., 2018).

Σήμερα κεντρικό ρόλο στην ιατρική διαχείριση χρόνιων παθήσεων αποτελεί η σωματική δραστηριότητα και η άσκηση. Έρευνες έχουν δείξει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν για την βελτίωση της υγείας του εγκεφάλου, την διατήρηση της λειτουργικής αυτονομίας αλλά ακόμη και στην πρόληψη πολλών ασθενειών και διαταραχών. Όπως έχουμε αναφέρει, η νόσος του Πάρκινσον αποτελεί νευροεκφυλιστική διαταραχή που επιδεινώνει την αντιληπτική ικανότητα και την κινητικότητα των ασθενών, συνεπώς είναι κατανοητή η ανάγκη για εφαρμογή εκτός από φαρμακευτική αγωγή και άλλων προγραμμάτων/ασκήσεων αποκατάστασης στους PD ασθενείς (Hu & Chomiak, 2019; Nguелеu, et al., 2019).

Η προπόνηση στην ισορροπία και στην βάδιση, με την πραγματοποίηση συμβατικών ασκήσεων έχουν δείξει όφελος για την πρόληψη των πτώσεων (Gordt, et al., 2018). Μελέτες που έχουν γίνει πάνω στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση της νόσου, δείχνουν πως η χρήση φορετών συστημάτων σε προπονήσεις μπορεί να έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με μια συμβατική προπόνηση. Ένα φορετό σύστημα, που προσφέρει άμεση εξωτερική ανατροφοδότηση όσον αφορά στην απόδοση της κίνησης ή τα λάθη κατά την κίνηση, έχει την δυνατότητα να συμβάλει στην καλύτερη κινητική εκμάθηση. Μπορεί δηλαδή να πραγματοποιεί ο ασθενείς σωστές κινήσεις, να κινείται σωστά, ούτως ώστε να εκτελεί με περισσότερη ευκολία τις καθημερινές του δραστηριότητες. Ειδικότερα η χρήση φορετής τεχνολογίας κατά την διάρκεια ασκήσεων βελτιώνει την αποτελεσματικότητά τους.

Τα επεισόδια FOG στους PD ασθενείς εμφανίζονται είτε λόγω θεραπευτικών επιπλοκών, δηλαδή σε καταστάσεις μείωσης της αποτελεσματικότητας της φαρμακευτικής αγωγής (wearing off) ή διακυμάνσεων στην απόδοση του φαρμάκου, είτε σε περιπτώσεις που υπάρχουν συνθήκες που «πυροδοτούν» (triggering ) το FOG, όπως σε περιπτώσεις που ο ασθενής σπύδει να προλάβει κάτι (π.χ. να τρέχει να προλάβει το κινητό που χτυπάει). Όλα τα παραπάνω καθιστούν δύσκολη την έρευνα και την μελέτη πάνω στην αντιμετώπιση του FOG σε ασθενείς με PD. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε κάποιες φορετές συσκευές που έχουν μελετηθεί, είτε για την αντιμετώπιση επεισοδίων FOG είτε για την γενικότερη αποκατάσταση του PD ασθενούς .

### 2.2.1 Gamepad: φορητό σύστημα αποκατάστασης βάρδισης και ισορροπίας στην PD

Το 2017 σε ένα άρθρο της Paria Carpinella και των συνεργατών της (Carpinella, et al., 2017) αναλύουν μια μελέτη πάνω σε ένα φορητό σύστημα αποκατάστασης της βάρδισης και της ισορροπίας σε PD ασθενείς, το Gamepad (GAMing Experience in PArkinson's Disease). Στόχος αυτής της έρευνας ήταν να εξετασθεί η χρήση του φορητού αυτού συστήματος σε ένα γυμναστήριο αποκατάστασης. Αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των ασκήσεων ισορροπίας και βάρδισης από προπόνηση με χρήση Gamepad και τα αποτελέσματα της φυσιοθεραπείας χωρίς το σύστημα Gamepad. Έλαβαν μέρος 42 ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον, που χωρίστηκαν με τυχαίο τρόπο σε δύο ομάδες, την ομάδα που θα προπονούσαν με την χρήση του συστήματος Gamepad και την άλλη ομάδα που θα έκανε φυσιοθεραπεία χωρίς το σύστημα Gamepad. Το σύστημα παρείχε σε πραγματικό χρόνο οπτική και ακουστική ανάδραση και οδηγίες για κινητικές ασκήσεις που μοιάζουν με καθημερινές δραστηριότητες, προσαρμοσμένες στις ελλείψεις του κάθε ασθενούς. Όλες οι ασκήσεις ορίστηκαν από το κλινικό προσωπικό σύμφωνα με μελέτες πάνω στην φυσιοθεραπεία σε ανθρώπους με PD.

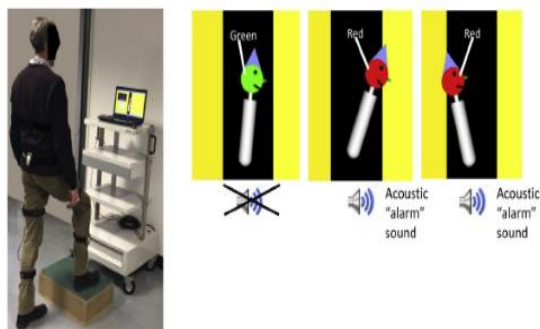
Το Gamepad αποτελούνταν από έξι φορητούς αδρανειακούς αισθητήρες, ένα προσωπικό υπολογιστή, ένα ειδικά φτιαγμένο λογισμικό με χρήση τεχνολογίας NET και περιβάλλον MATLAB/Simulink. Με την χρήση αυτού του λογισμικού ήταν δυνατή η προβολή σε πραγματικό χρόνο των πρωτογενών και των επεξεργασμένων δεδομένων και η ανατροφοδότηση του ασθενή με πληροφορίες (Carpinella, et al., 2017).

Οι αισθητήρες εφαρμόζονταν πάνω στους ασθενείς με χρήση ελαστικών ζωνών στον άνω κορμό, στον κάτω κορμό και στα κάτω άκρα (βλέπε *Εικόνα 21*). Συγκεκριμένα, ο κάθε αισθητήρας αποτελούνταν από ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο, ένα τριαξονικό γυροσκόπιο, ένα μαγνητόμετρο και ένα μικροελεγκτή. Οι αισθητήρες μέσω Bluetooth σύνδεσης έστελναν τα δεδομένα με συχνότητα δειγματοληψίας 50 Hz στον υπολογιστή. Ο μικροελεγκτής ήταν υπεύθυνος για τον υπολογισμό του προσανατολισμού του αισθητήρα στο χώρο (Carpinella, et al., 2017).

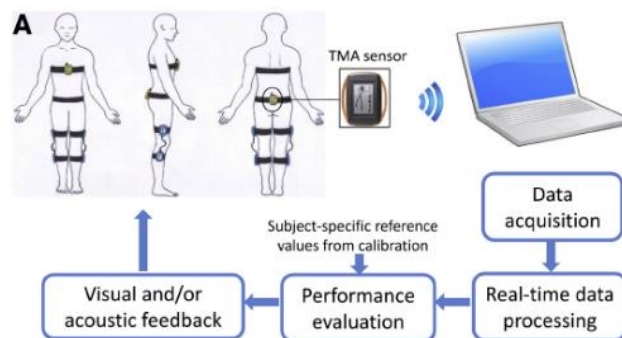
Το ειδικά κατασκευασμένο λογισμικό του Gamepad προσέφερε πολλές δυνατότητες. Αρχικά, επέτρεπε την επιλογή άσκησης από ένα μενού που περιλάμβανε διάφορες ομάδες ασκήσεων. Δεύτερον, κατά την διάρκεια των ασκήσεων έλεγχε την μετατόπιση του βάρους και της στάσης του σώματος σε σήκωμα-κάθισμα, σε προσθοπίστια και μεσοπλευρική κατεύθυνση, σε όρθια και καθιστή στάση, στην εκκίνηση βαδίσματος, στο περπάτημα πάνω σε ευθεία γραμμή σε διαφορετικές ταχύτητες κλπ. Εκτιμήθηκαν οι κλίσεις του σώματος και οι γωνίες κάμψης των γονάτων μέσω των δεδομένων που λήφθηκαν από τους αισθητήρες. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με χρήση ειδικών αλγορίθμων που υπολόγιζαν την μετατόπιση του κέντρου μάζας, σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τον προσανατολισμό των αισθητήρων. Τρίτον, το λογισμικό του Gamepad επέτρεπε στους κλινικούς ιατρούς να βαθμονομούν την άσκηση, έτσι ώστε να είναι προσαρμοσμένη στον κάθε εξεταζόμενο, ρυθμίζοντας τις τιμές αναφοράς για τη σωστή εκτέλεση εργασιών και παροχή ανατροφοδότησης. Τέλος, με την έναρξη της άσκησης, ο ασθενής λάμβανε «εντός γραμμής/επιγραμμικά» (online), δηλ. σε πραγματικό χρόνο, οπτική ανατροφοδότηση μέσω κινούμενου άβαταρ (avatar) σε οθόνη και ακουστική ανατροφοδότηση (ήχοι) σχετικά με την κίνηση του (βλέπε *Εικόνα 21*). Μετά από

κάθε άσκηση, παρέχονταν αυτόματα ένα σκορ από 0 έως 10, βαθμολογώντας την απόδοση του ασθενούς (Carpinella, et al., 2017).

**B**



Εικόνα 22: Παράδειγμα ενός εξεταζόμενου ο οποίος ελέγχει την προσθοπίσθια κλίση του κορμού του από την οθόνη του υπολογιστή. Εάν το avatar δεν παραμένει μέσα στο μαύρο πλαίσιο, το κεφάλι του γίνεται κόκκινο και εκπέμπεται ένας ήχος συναγερμού (Carpinella, et al., 2017)



Εικόνα 23: Σχηματική αναπαράσταση του φορετού συστήματος Gamepad (Carpinella, et al., 2017)

### Ομάδα που χρησιμοποίησε το σύστημα («πειραματική ομάδα»)

Καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσης, ένας φυσιοθεραπευτής παρακολουθούσε τις επιμέρους επιδόσεις αναλύοντας τις βαθμολογίες που βγήκαν από το Gamepad μετά από την εκτέλεση μιας ομάδας ασκήσεων. Παρακολουθώντας την επίδοση του ασθενούς, προσαρμόζε την δυσκολία των ασκήσεων, για παράδειγμα δίνοντας να κρατάει ο ασθενής ένα δίσκο με μια μπάλα πάνω του ή βάζοντας σόλες πιο χοντρές στα πόδια του ασθενούς, αλλάζοντας έτσι την ιδιοδεκτικότητα<sup>8</sup>. Ακόμα, το πρόγραμμα ανατροφοδότησης ήταν έτσι διαμορφωμένο, ούτως ώστε να μειώνει σταδιακά την ανατροφοδότηση όσο εξελισσόταν η άσκηση, με στόχο την βελτίωση της (αυτό)μάθησης.

### Ομάδα φυσιοθεραπείας χωρίς το σύστημα

Η ομάδα που πραγματοποιούσε ασκήσεις φυσιοθεραπείας χωρίς το σύστημα, ακολουθούσε τις συμβουλές από φυσιοθεραπευτές. Ο κάθε ασθενής ξεκινούσε με διατάξεις των μυών και ασκήσεις κινητοποίησης του σώματος, π.χ. περιστροφή κορμού, για 5 λεπτά. Στην συνέχεια πραγματοποιούσε για 40 λεπτά ασκήσεις ισορροπίας και βάρδισης, παρόμοιες με αυτές που εκτελούνται από την πειραματική ομάδα, αλλά χωρίς να του παρέχεται κάποια είδους ανάδραση ή εξωτερικές ενδείξεις (Carpinella, et al., 2017).

<sup>8</sup> **Ιδιοδεκτικότητα:** η ικανότητα του εγκεφάλου να αναγνωρίζει που είναι το σώμα μας στο χώρο.



## Συζήτηση

Από τις μέχρι τότε συσκευές (δηλαδή μέχρι το 2017/2016) το Gamepad αποτελούσε το πρώτο φορητό σύστημα που ενσωμάτωνε ταυτόχρονα ασκήσεις ισορροπίας και βάρδισης προσαρμοσμένες στις ανάγκες της καθημερινής ζωής. Οι περισσότερες από τις συσκευές κάλυπταν συγκεκριμένη πτυχή της κινητικής αποκατάστασης, ήταν δηλαδή φτιαγμένες για ένα τύπο ασκήσεων, είτε μόνο για ισορροπία είτε μόνο για βάρδιση (Carpinella, et al., 2017).

Η σύγκριση μεταξύ της ομάδας που χρησιμοποιούσε το Gamepad και της ομάδας που δεν το χρησιμοποιούσε έδειξε τα εξής: Το φορητό αυτό σύστημα είχε θετική επίδραση στην βελτίωση της ισορροπίας των ασθενών λόγω των προτεινόμενων παρεμβάσεων που γίνονται, ακόμα και σε αλλοιωμένες αισθητηριακές συνθήκες, (π.χ. βάρδιση με ψηλά υποδήματα), που επηρεάζουν σημαντικά την σταθερότητα της στάσης σε ασθενείς με PD (Carpinella, et al., 2017).

Από την άλλη μεριά, στο θέμα της ταχύτητας του βαδίσματος αλλά και στην αντιμετώπιση των FOG, το Gamepad δεν έδειξε κάποια θετική επίδραση. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι ασκήσεις και οι υποδείξεις που περιελάμβανε δεν αφορούσαν τόσο τον ρυθμό και την ταχύτητα βαδίσματος, όσο την στάση και την κλίση του σώματος. Τέλος, η εκπαίδευση με την χρήση Gamepad, σύμφωνα με τους ασθενείς, δεν είχε κάποια οφέλη στην εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων. Αυτό οφείλεται πιθανώς στο γεγονός ότι οι ασκήσεις που πρότεινε, δεν προσομοίωναν επαρκώς κινήσεις και στάσεις στην καθημερινότητα του ασθενούς (Carpinella, et al., 2017).

## Περιορισμοί της μελέτης και συμπεράσματα

Παρόλα τα θετικά αποτελέσματα της έρευνας αυτής υπήρξαν κάποιοι περιοριστικοί παράγοντες. Συγκεκριμένα, το σύνολο των ασθενών που έλαβαν μέρος ήταν μικρό. Επίσης, η διαδικασία της τυχαίας κατανομής («coinflip») με χρήση υπολογιστή των ασθενών στις δύο ομάδες του πειράματος, οδήγησε σε ανισορροπία στα βασικά χαρακτηριστικά των ασθενών.

Συνολικά, το φορητό σύστημα Gamepad αποδείχθηκε κλινικά χρήσιμο για ασθενείς με νόσο του Πάρκινσον. Σε γενικές γραμμές ήταν αποδεκτό από τους ασθενείς και τους φυσιοθεραπευτές και φάνηκε πιο αποτελεσματικό από τη φυσιοθεραπεία χωρίς ανάδραση στην βελτίωση της ισορροπίας. Παρόλα αυτά είναι απαραίτητη η διεξαγωγή και άλλων μελετών ώστε να εκπονηθεί μεγαλύτερη ποικιλία στοχευμένων ασκήσεων για κάθε στάδιο της ασθένειας. Επιπλέον, ιδανική θα ήταν η απλοποίηση του συστήματος όσον αφορά την χρήση του από τους ασθενείς, δηλ. να είναι πλήρως φορητό, ώστε να μπορεί στο μέλλον να χρησιμοποιείται χωρίς την επίβλεψη ιατρού-φυσιοθεραπευτή, αλλά και να αποθηκεύει τα αποτελέσματα των προπονήσεων έτσι ώστε να μεταφέρονται ψηφιακά ανά πάσα στιγμή.

### 2.2.2 Φορητή συσκευή Ambulosono για κατ' οίκον προπόνηση

#### Ambulosono & SIP τεστ

Στην έρευνα των Bin Hu και Taylor Chomiak εξετάστηκε ο συνδυασμός της Ambulosono (η διάταξη αναλύθηκε και αναφέρθηκε για άλλες εφαρμογές της στο Κεφάλαιο «3.1.1 Διάγνωση και φορητές διατάξεις») με το SIP τεστ για την

αντιμετώπιση επεισοδίων στα οποία ο ασθενής κάνει μικρά βήματα και παρουσιάζει επεισόδια FOG. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε κατά πόσο η Ambulosono θα μπορούσε να αποτελέσει βοηθητικό εργαλείο για κατ' οίκον προπόνηση με σκοπό την αποκατάσταση PD ασθενών. Η έρευνα στόχευε στην βελτίωση της ικανότητας των PD ασθενών σε «διπλή δραστηριότητα» (dual tasking) και διήρκησε 4 εβδομάδες.

Κατά την διάρκεια της εξέτασης οι συμμετέχοντες παρακολουθούσαν σε συνεχή βάση μια ακουστική αναπαραγωγή αποτελούμενη είτε από ραδιοφωνικό podcast είτε από «ενθαρρυντική» μουσική. Αν κατά την διάρκεια του τεστ ο συμμετέχων μίκραινε τα βήματα του ή βίωνε επεισόδιο FOG, το σύστημα αυτόματα διέκοπτε την ηχητική αναπαραγωγή. Η διακοπή της ηχητικής αναπαραγωγής λειτουργούσε ως υπενθύμιση, ούτως ώστε να δώσει περισσότερη προσοχή στον έλεγχο της κίνησής του.

Χρησιμοποιήθηκε ένας δείκτης βασισμένος στην αναλογία του ύψους βήματος σε συνθήκες μιας μόνο δραστηριότητας (mono-tasking) και διπλής δραστηριότητας (dual tasking) και είχε ως σκοπό την αξιολόγηση της ικανότητας του συμμετέχοντος να ελέγχει το βήμα του πριν και μετά την χρήση ηχητικής ανάδρασης (feedback) κατά την διάρκεια της προπόνησης.

Οι κλίμακες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα ήταν η Fear-of-falling (FES-I), η αξιολόγηση της γενικής νοητικής λειτουργίας (Montreal Cognitive Assessment - MoCA) και οι αυτοαναφορές FOG (FOG-Q). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση της Ambulosono για μικρό χρονικό διάστημα δεν προσφέρει ιδιαίτερα οφέλη σύμφωνα με τις FES-I, MoCA, ή FOG-Q. Ωστόσο, η χρήση μουσικής ως ανάδρασης κατά την διάρκεια του SIP είχε ως αποτέλεσμα να βελτιωθούν σημαντικά οι δείκτες απόδοσης των συμμετεχόντων.

Ο Bin Hu και ο Taylor Chomiak από την έρευνα τους συμπέραναν ότι η αξιοποίηση της τεχνολογίας φορετών συσκευών σε συνδυασμό με προπόνηση χρησιμοποιώντας το SIP, μπορεί να οδηγήσει σε αυτοδιαχείριση (self-management) των συμπτωμάτων της PD από τους ίδιους τους ασθενείς στο ίδιο τους το σπίτι.

### **Χρήση Ambulosono με ακουστικές υποδείξεις για επεισόδια FOG (Ambulosono auditory cueing for FOG episodes – “Ambulosono de FOG”)**

Παρά το ότι στην «βασική» εκδοχή του Ambulosono που αναλύθηκε στο άρθρο των Bin Hu και Taylor Chomiak, στο ίδιο άρθρο οι συγγραφείς αναφέρουν ότι για την αντιμετώπιση των επεισοδίων FOG σε PD ασθενείς με τη βοήθεια της Ambulosono, βασίστηκαν πάνω σε μια μελέτη των ακουστικών νευροεπιστημών, η οποία προβάλλει το συσχετισμό του ήχου με την δράση. Σύμφωνα με αυτήν, όταν μια ηχητική ακολουθία, όπως μουσικές νότες (π.χ. νότες πιάνου), παράγεται πριν από μια δράση/κίνηση και μαθευτεί αυτός ο συσχετισμός, μπορεί να έχει πολύ μεγάλη επίδραση στο να συνθηματοποιηθεί η προετοιμασία για εκκίνηση και η εκκίνηση για αυτή τη δραστηριότητα. Βάση αυτών, ένα σύνολο από ακουστικές εντολές ή πρωτόκολλα που μπορούν εύκολα να μαθευτούν από τους ασθενείς, όπως εντολές «πάμε» ή μουσική με ξεκάθαρο ρυθμό που μπορεί να ακολουθήσει ο ασθενής, χρησιμοποιήθηκαν μέσω της Ambulosono, με σκοπό την προετοιμασία του ασθενούς για εκκίνηση (έναρξη) κάποιας άσκησης. Η ενεργοποίηση της συσκευής και των ακουστικών της εντολών, γινόταν με την πραγματοποίηση ενός επιτόπιου βήματος από τον ασθενή. Στο άρθρο αυτό αναφέρονται επίσης σε μια μελέτη του 2016 σε κλινική στην Κίνα, όπου εφαρμόστηκε το Ambulosono-de-FOG. Εκεί διαπιστώθηκε ότι με τη μουσική και τους ήχους που εξέπεμπε η συσκευή, πάνω από το 80% των

ασθενών κατάφεραν, σε μια σύντομη περίοδος περπατήματος, να εξαλείψουν ουσιαστικά την FOG, συμπεριλαμβανομένης αυτής που προκαλείται από καταστάσεις dual-tasking.

### **Πλατφόρμα Ambuloso-MDE**

Στην ίδια μελέτη οι συγγραφείς αναλύουν και το σύστημα Ambuloso-brisk-walking, που αποτελεί μια πλατφόρμα ασκήσεων τύπου multidomain exercise (MDE). Με τον όρο MDE εννοούμε μια ρουτίνα ασκήσεων αποτελούμενη από ποικίλες αισθητηριοκινητικές διεγέρσεις σε συνδυασμό με συγκεκριμένο είδος συμβατικών ασκήσεων που οδηγεί σε ενεργοποίηση πολλαπλών δικτύων του εγκεφάλου και καρδιαγγειακών αλλά και μυοσκελετικών συστημάτων. Με την χρήση μουσικής παρακινεί αλλά και αναζωογονεί τους ασθενείς που βρίσκονται στα αρχικά στάδια αλλά και στα μέσα/μεσαία στάδια της PD, ούτως ώστε να βαδίζουν με μεγάλο διασκελισμό για μεγάλες αποστάσεις. Η μουσική αποτελείται από ρυθμικούς ήχους, φωνητικό τραγούδι προσαρμοσμένο να αναστέλλει τον φόβο και το άγχος. Σε περίπτωση που ο ασθενής είτε επιβραδύνει είτε κάνει συρτά βήματα (shuffling), αυτόματα διακόπτεται η μουσική και με αυτόν τον τρόπο υπενθυμίζει στον ασθενή να αυξήσει τον διασκελισμό.

Έχει βρεθεί ότι η μουσική μπορεί να προκαλέσει έντονη συναισθηματική διέγερση και να αυξήσει σημαντικά την απελευθέρωση ντοπαμίνης στον εγκέφαλο σε αντίθεση με τον μετρονομικό ήχο ή άλλες λεκτικές ή οπτικές ενδείξεις. Ο λόγος που μπορεί η μουσική να προκαλεί έντονη συναισθηματική διέγερση ίσως να οφείλεται στον ρυθμό της, στις φωνητικές μελωδίες αλλά και την οικειότητα του ασθενούς με την μελωδία. Η συναισθηματική μουσική μπορεί να προκαλέσει αυτόματες κινήσεις, για παράδειγμα η ακρόαση οικείων τραγουδιών/μελωδιών μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα τα στοματοπροσωπικά κινητικά δίκτυα χωρίς εμφανείς κινήσεις.

Ο Bin Hu και ο Taylor Chomiak θεωρούν ότι η μεγάλη ποικιλία που διαθέτει η Ambuloso σε μελωδίες, ήχους κλπ έχει την δυνατότητα να προκαλέσει πολλαπλές στοματοπροσωπικές κινήσεις σε ασθενείς, βοηθώντας τους έτσι στις εκφράσεις του προσώπου τους. Μελλοντικά η χρήση της Ambuloso θα μπορούσε να οδηγήσει στον αυτοματισμό και άλλων καθημερινών και συνήθων κινήσεων όπως την άρση των χεριών.

Η έρευνα πάνω στην χρήση φορητής τεχνολογίας σε ασκήσεις και την υγεία του εγκεφάλου απαιτεί πολλά έξοδα, από την στιγμή που απαιτούνται πολλαπλές δοκιμές, μεγάλα δείγματα και όλα για μακρόχρονες περιόδους. Για την επίλυση τέτοιων όμως θεμάτων προτείνεται από τους συγγραφείς ότι θα πρέπει να ιδρυθούν «εργαστήρια κοινότητας» (“community labs”) μέσω της χρήσης φορητής τεχνολογίας με κοινωνικά μέσα (social medium) και Τεχνητής Νοημοσύνης (TN, Artificial Intelligence, AI), ειδικότερα με εργαλεία εξόρυξης γνώσης μέσω (AI data mining tools). Υποστηρίζουν ότι πολλά από τα διαγνωστικά τεστ, όπως το 6MWKT και οι προπονήσεις με ασκήσεις μπορούν να εφαρμοστούν κατ’ οίκον με την υποστήριξη από εφαρμογές κοινωνικών μέσων και συστήματα TN, τα οποία μπορούν να διαχειριστούν τα ποικίλα σετ των κλινικών δεδομένων.

### 3. Συμπερασματικές παρατηρήσεις - σημασία φορετών διατάξεων στην διάγνωση και διαχείριση της νόσου

Κλείνοντας τη διπλωματική αυτή εργασία θα μπορούσαμε να καταλήξουμε σε κάποια θετικά συμπεράσματα για την ιδέα και την εφαρμογή των φορετών συσκευών στην αντιμετώπιση της νόσου του Πάρκινσον. Συγκεκριμένα, η δυνατότητα των συσκευών αυτών να συλλέγουν πολλά αριθμητικά δεδομένα σχετικά με την κινητικότητα των ασθενών, να τα επεξεργάζονται μέσω πολύπλοκων αλγορίθμων και να παρουσιάζουν κάποια αντίστοιχα αποτελέσματα-εξόδους, τις καθιστά πολύτιμα εργαλεία στα χέρια των ιατρών για να αξιολογούν αντικειμενικά και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά και διαδραστικά την PD. Σημαντικό πλεονέκτημα των συσκευών πάνω σε αυτό το θέμα, είναι και η διακριτικότητα κατά την συλλογή των δεδομένων, αφού αυτή μπορεί να γίνεται σε καθημερινές συνθήκες ζωής του ασθενούς και χωρίς την παρουσία και την επίβλεψη γιατρών.

Επιπρόσθετα, λόγω των φορετών διατάξεων, μπορεί να επιτευχθεί η εξ αποστάσεως παρακολούθηση των ασθενών, με άμεσο επακόλουθο την μείωση του αριθμού των επισκέψεων στον γιατρό, οι οποίες αφ' ενός είναι δαπανηρές και αφ' ετέρου δυσκολεύουν αρκετά ηλικιωμένα άτομα και ασθενείς σε προχωρημένα στάδια της PD.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε και τη δυνατότητα τέτοιων συσκευών στον άμεσο εντοπισμό και στην πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων (όπως μια πτώση) για έναν ασθενή που δεν επιβλέπεται.

Τέλος, η λήψη μεγάλου όγκου μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο από τις φορετές συσκευές βοηθάει για περεταίρω μελέτες πάνω στην PD, συμβάλλει στη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων για την ασθένεια, διαμορφώνει γενικότερους τρόπους θεραπείας και καθιστά εφικτή την πιο κατάλληλη εξατομικευμένη θεραπεία για κάθε ασθενή.

Παρ όλα όμως τα θετικά στοιχεία των φορετών συσκευών, δε θα πρέπει να παραβλέψουμε κάποιες γενικές αδυναμίες τους οι οποίες χρήζουν περεταίρω μελέτης για την ελαχιστοποίησή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές απαιτούν απεριόριστη σύνδεση με Bluetooth για τη σωστή λειτουργία τους. Σε περίπτωση δηλαδή μη σωστής σύνδεσης, υπάρχει η πιθανότητα απώλειας δεδομένων και επομένως λανθασμένης εικόνας του γιατρού για την κατάσταση του ασθενούς.

Επιπλέον, οι φορετές διατάξεις έχουν αποδειχθεί αναποτελεσματικές για πολύ προχωρημένα στάδια της PD, αλλά και δύσχρηστες για άτομα με γνωστική εξασθένηση ή για άτομα που υστερούν στη χρήση της τεχνολογίας (π.χ. ηλικιωμένοι). Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημάνουμε την υποκειμενικότητα που μπορεί να υπάρχει στην επιλογή δείγματος για τις μελέτες που γίνονται. Για παράδειγμα οι ηλικιωμένοι είναι μια ομάδα ασθενών που εξαιρούνται συνήθως από τις μελέτες, λόγω δυσκολίας υποβολής τους σε διάφορες δραστηριότητες.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των φορετών συσκευών θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι η άσκοπη πολλές φορές συλλογή δεδομένων και το υψηλό κόστος που έχουν για την πλειοψηφία των ασθενών.

Σε τεχνικό και επιστημονικό επίπεδο τώρα, θα πρέπει να αναφέρουμε μια σημαντική αδυναμία των φορετών διατάξεων. Συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που ενσωματώνουν, μπορούν να κάνουν προβλέψεις υψηλής ακρίβειας και να ανακαλύψουν τη δομή και τις σχέσεις στα δεδομένα, που θα υπερέβαιναν κατά πολύ τη διαίσθηση κάποιου ανθρώπου. Ωστόσο, σε αυτή τη

διαδικασία χάνεται η επεξηγηματική ισχύς, αφού ο αλγόριθμος δεν παρουσιάζει τον τρόπο σύνδεσης των δεδομένων. Επομένως, αν κάτι «πάει στραβά» στον αλγόριθμο, δηλ. αν προκύψει λάθος διάγνωση/αποτέλεσμα είναι πολύ δύσκολο να γίνει αντιληπτό και να εντοπιστεί το πρόβλημα. Επίσης η ιδιότητα αυτή πολλών φορετών συσκευών, γίνεται εμπόδιο στην επιστημονική έρευνα η οποία στηρίζεται στην κατανόηση της δομής των δεδομένων, στη σύνδεσή τους με την υπάρχουσα γνώση και επομένως στην επιβεβαίωση, αναθεώρηση ή επέκτασή της. Τέλος, θα πρέπει στο σημείο αυτό να τονίσουμε, ότι η συλλογή και επεξεργασία προσωπικών στοιχείων από τις φορετές συσκευές, καθώς και η δυνατότητα κοινοποίησής τους σε ΙΟΤ δίκτυα, μπορεί να θέσει διλήμματα ιατρικού απορρήτου των ασθενών, τα οποία χρειάζονται πολύ προσεκτικούς και διακριτικούς χειρισμούς από το εκάστοτε σύστημα υγείας.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως οι φορετές συσκευές θα πρέπει να λειτουργούν σαν πολύτιμα ιατρικά εργαλεία για τη διαχείριση της νόσου του PD και όχι σαν τεχνολογικά επιτεύγματα που μπορούν να αντικαταστήσουν τη ανθρώπινη κρίση και διάγνωση από τον γιατρό. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται στην τεχνολογία θα πρέπει να ενσωματώνονται στη συνολική διαδικασία υγειονομικής περίθαλψης, λειτουργώντας ως υποστηρικτικά εργαλεία με συγκεκριμένο σκοπό και βασισμένες σε ηθικά ορθές διαδικασίες.

## Αναφορές - Πηγές

- [1]. Bächlin, M. και συν., 2010. Wearable Assistant for Parkinson's Disease Patients. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14, pp. 436-446.
- [2]. Carpinella, I. και συν., 2017. Wearable Sensor-Based Biofeedback Training for Balance and Gait in Parkinson Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98, pp. 622-630.
- [3]. Channa, A. και συν., 2020. Wearable solutions for patients with Parkinson's disease and neurocognitive disorder: a systematic review. *Sensors*, 20, 2713.
- [4]. Chomiak, T. και συν., 2015. Concurrent arm swing-stepping (CASS) can reveal gait start hesitation in Parkinson's patients with low self-efficacy and fear of falling. *Aging Clinical and Experimental Research*, 27, pp. 457-463.
- [5]. Das, S., Amoedo, B., De la Torre, F., & Hodgins, J. (2012). Detecting Parkinson's symptoms in uncontrolled home environments: A multiple instance learning approach. *Conference proceedings of the IEEE engineering in medicine and biology society 2012*, 3688-3691.
- [6]. Delrobaeia, M. και συν., 2018. Towards remote monitoring of Parkinson's disease tremor using wearable. *Journal of the Neurological Sciences*, 384, pp. 38-45.
- [7]. Elble, R. J. & McNames, J., 2016. Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity. *Tremor and Other Hyperkinetic Movements*, 6 (2016).
- [8]. Flint, P. W., 2021. *Evaluation of the Patient With Dizziness*, s.l.: Textbook of Clinical Neurology (Third Edition).
- [9]. Godoi, B. B. και συν., 2019. Parkinson's disease and wearable devices, new perspectives for a public health issue: an integrative literature review. *Revista da Associacao Medica Brasileira*, 65, pp. 1413-1420.
- [10]. Gordt, K. και συν., 2018. Effects of Wearable Sensor-Based Balance and Gait Training on Balance, Gait, and Functional Performance in Healthy and Patient Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Gerontology*, 64, pp. 74-89.
- [11]. Hu, B. & Chomiak, T., 2019. Wearable technological platform for multidomain diagnostic and exercise interventions in Parkinson's disease. *International Review of Neurobiology*, 147, pp. 75-93.
- [12]. Kubota, K. J. και συν., 2016. Machine Learning for Large-Scale Wearable Sensor Data in Parkinson's Disease: Concepts, Promises, Pitfalls, and Futures. *Movement Disorders*, 31, pp. 1314-1326.
- [13]. López-Blanco, R. και συν., 2019. Smartwatch for the analysis of rest tremor in patients with Parkinson's. *Journal of the Neurological Sciences*, 401, pp. 37-42.
- [14]. Lukšys, D. και συν., 2018. Quantitative Analysis of Parkinsonian Tremor in a Clinical. *Parkinson's Disease*, 2018 (1683831).
- [15]. Lu, R. και συν., 2020. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects. *Parkinson's Disease*, 2020 (4693019).

- [16]. Margiotta, N. και συν., 2016. A wearable wireless system for gait analysis for early diagnosis of Alzheimer and Parkinson disease. *2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, Ras Al Khaimah, United Arab Emirates, 2016, pp. 1-4.
- [17]. Mariani, B και συν., 2013. On-Shoe Wearable Sensors for Gait and Turning. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60, pp. 155-158.
- [18]. Movement Disorder Society, 2016. *International Parkinson and Movement Disorder Society*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/Education/Patient-Education/Deep-Brain-Stimulation-for-Parkinsons-Disease/pat-Handouts-DBS-Greek-v3.pdf>  
[Πρόσβαση 31 Ιανουάριος 2021].
- [19]. Movement Disorder Society, 2017. *International Parkinson and Movement Disorder Society (MDS)*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/Education/Patient-Education/Exercise-for-Parkinsons-Disease/pat-Handouts-Exercise-PD-Greek-v1.pdf>  
[Πρόσβαση 25 Ιανουάριος 2021].
- [20]. Movement Disorder Society, 2019. *International Parkinson and Movement Disorder Society (MDS)*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.movementdisorders.org/MDS-Files1/Education/Patient-Education/Gait-Disturbances-and-Freezing/pat-Handouts-Gait-Greek-v1.pdf>  
[Πρόσβαση 27 Ιανουάριος 2021].
- [21]. Mustufa, Y. S. A. και συν., 2015. *Design of a Smart Insole for Ambulatory*. *IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, Cambridge, MA, USA: 2015.
- [22]. Ngueleu, A. M. και συν., 2019. Validity of Instrumented Insoles for Step Counting, Posture and Activity Recognition: A Systematic Review. *Sensors*, 19 (2438).
- [23]. Ossig, C. και συν., 2016. Wearable sensor-based objective assessment of motor symptoms. *Journal of Neural Transmission*, 123, pp. 57-64.
- [24]. Pasluosta, C. F. και συν., 2015. An Emerging Era in the Management of Parkinson's Disease: Wearable Technologies and the Internet of Things. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19, pp. 1873-1881.
- [25]. Ramdhani, R. A. και συν., 2018. Optimizing Clinical Assessments in Parkinson's Disease Through the Use of Wearable Sensors and Data Driven Modeling. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 2018.00072.
- [26]. Rovini, E. και συν., 2017. How Wearable Sensors Can Support Parkinson's Disease Diagnosis and Treatment: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience*, 2017.00555.
- [27]. Rozin Kleiner, A. F. και συν., 2018. Timed Up and Go evaluation with wearable devices: validation in Parkinson's disease. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 22, pp. 390-395.
- [28]. Son, H. και συν., 2018. Mobility monitoring using smart technologies for Parkinson's disease in free-living environment. *Collegian*, 25, pp. 549-560.
- [29]. Tsipouras, M. G. και συν., 2014. A wearable system for long-term ubiquitous monitoring of common motor symptoms in patients with

- Parkinson's disease. *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, Valencia, Spain, pp. 173-176.
- [30]. Wang, L. και συν., 2018. Levodopa-Carbidopa Intestinal Gel in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, 2018.00620.
- [31]. Βεντούρας, Ε., 2021. "Τεύχος Σημειώσεων Φορετών Διατάξεων", Σημειώσεις μαθήματος "Εμφυτεύσιμες και φορετές διατάξεις", Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- [32]. Ζάχου, Ε. & Κοτσιρώνης, Γ., 2018. *Νόσος Parkinson. Νοσηλευτική παρέμβαση*, Πάτρα: ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Σχολή επαγγελματιών υγείας και πρόνοιας, Τμήμα Νοσηλευτικής.
- [33]. Ζιάγκοβα, Α. & Νίκου, Ε.-Ν., 2021. *Κλίμακες αξιολόγησης των ειδικών ελλειμμάτων και προβλημάτων του ασθενούς με Πάρκινσον*, Αίγιο: Πανεπιστήμιο Πάτρας, Σχολή Επιστημών Αποκατάστασης Υγείας, Τμήμα Φυσικοθεραπείας.



## Παράρτημα: Κλίμακα Hoehn και Yahr για την διάγνωση της νόσου του Πάρκινσον

<b>Κλίμακα Hoehn και Yahr (Αρχική και τροποποιημένη εκδοχή)</b>	
<b>Στάδιο (Βαρύτητα)</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>1 (ήπιο)</b>	Ετερόπλευρα συμπτώματα που αφορούν την κίνηση, την έκφραση του προσώπου, τον τρόπο ή την στάση αλλά δεν περιορίζουν τις δραστηριότητες.
<b>1,5 (τροποποίηση)</b>	Ετερόπλευρα συμπτώματα και διαταραχή του κορμού .
<b>2</b>	Αμφοτερόπλευρα συμπτώματα χωρίς διαταραχή της ισορροπίας
<b>2,5 (τροποποίηση)</b>	Ήπιο-μέτριο. Δυνατότητα ανάκτησης της ισορροπίας από την οπίσθια έλξη.
<b>Στάδιο 3 (μέτριο)</b>	Μέτρια αναπηρία που επηρεάζει την κινητικότητα και την ισορροπία με βραδυκινησία.
<b>Στάδιο 4 (Βαρύ)</b>	Περιορισμένη βάδιση. Απαιτείται βοήθεια από άλλα άτομα γι' αυτό ο ασθενής δεν μπορεί να ζήσει μόνος του. Μείωση του τρόμου με την αύξηση της ακαμψίας και της βραδυκινησίας.
<b>Στάδιο 5 (καχεκτικό)</b>	Αδυναμία ορθοστάτησης ή βάδισης. Απαιτείται νοσηλευτική φροντίδα.