



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΓΩΓΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑ - ΔΙΑΤΡΟΦΗ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Μεταπτυχιακή Συνθετική Διατριβή

**«Ανασκόπηση των μεθόδων εκτίμησης της ενεργειακής κατανάλωσης με την
χρήση «έξυπνων», φορητών συσκευών»**

Στυλιανός Σουργουτσίδης

Αθήνα, 2022



HAROKOPIO UNIVERSITY

SCHOOL OF HEALTH SCIENCES AND EDUCATION

DEPARTMENT OF NUTRITION AND DIETETICS

POSTGRADUATE PROGRAMME (Master of Science)

"APPLIED NUTRITION AND DIETETICS"

DISCIPLINE OF "MOLECULAR NUTRITION"

Non-Research Master Thesis

**"A review of methods in the assessment of energy expenditure using "smart"
portable/wearable devices"**

Stylianos Sourgoutsidis

Athens, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΓΩΓΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑ - ΔΙΑΤΡΟΦΗ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αναστασίου Κωνσταντίνος (Επιβλέπων),

Επίκουρος Καθηγητής Διατροφή Άσκηση και Υγεία,

Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Γιαννακούλια Μαρία,

Καθηγήτρια Διατροφής και Διαιτητικής Συμπεριφοράς,

Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Νομικός Τζώρτζης,

Αναπληρωτής Καθηγητής Βιοχημείας,

Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Μεταπτυχιακή Συνθετική Διατριβή

«Ανασκόπηση των μεθόδων εκτίμησης της ενεργειακής
κατανάλωσης με την χρήση «έξυπνων», φορητών συσκευών»

Στυλιανός Σουργουτσίδης

Αριθμός Μητρώου 4421917

Non-Research Master Thesis

"A review of methods in the assessment of energy expenditure
using "smart" portable/wearable devices"

Stylianos Sourgoutsidis

Registration Number 4421917

Ο Σουργουτσίδης Στυλιανός, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και απ' όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης, ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

Όλες οι εικόνες από το Διαδίκτυο προσαρμόστηκαν σε αυτή την πτυχιακή εργασία χωρίς να αποκτηθεί άδεια από τους αντίστοιχους κατόχους των δικαιωμάτων, επειδή χρησιμοποιήθηκαν για εκπαιδευτικό και ακαδημαϊκό σκοπό, δηλαδή έχουν μη κερδοσκοπικό χαρακτήρα (“Fair Use”).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, τον υπεύθυνο - επιβλέπων Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Αναστασίου.

Ευχαριστώ για την επιστημονική βοήθεια και καθοδήγηση.

Ευχαριστώ για την κατανόηση και την άριστη συνεργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάθε ένα άτομο της οικογένειας που έχω, όπως επίσης και τους ανθρώπους που έδειξαν συμπαράσταση κατά τη διάρκεια όλων των φοιτητικών ετών.

Η υπομονή είναι αρετή σε κάθε βήμα στη ζωή.

Πρόλογος

« Έχετε σκεφτεί ποτέ τι εννοούμε λέγοντας ότι η ενεργειακή δαπάνη του τρεξίματος για μια ώρα είναι για παράδειγμα 700 kcal ; » [Αναστασίου, Κ. 2019. Ολοκλήρωση της ρύθμισης του ενεργειακού μεταβολισμού. Ειδικά Θέματα Βιοχημείας και Μεταβολισμού της Διατροφής. Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένη Διατροφή - Διαιτολογία]

Μέσα από μία ερώτηση μίας γραμμής, δημιουργήθηκε η ιδέα για την υλοποίηση και ανάλυση του θέματος αυτής της διπλωματικής εργασίας. Κατά την παρακολούθηση του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Διαιτολογία - Διατροφή» και μελετώντας προσεκτικά τις διαλέξεις των καταξιωμένων Καθηγητών και Καθηγητριών που διδάσκουν τα μαθήματα του Μεταπτυχιακού προγράμματος, αναζήτησα το θέμα που θ' ασχοληθώ για την εκπόνηση της διατριβής, ώστε να φτάσω στην απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης. Κάπως έτσι, στο δεύτερο lockdown κατά την πανδημία του Covid-19, προέκυψε η ανάγκη για την εύρεση θέματος διπλωματικής εργασίας.

Το θέμα «Ανασκόπηση των μεθόδων εκτίμησης της ενεργειακής κατανάλωσης με την χρήση «έξυπνων», φορητών συσκευών» αναλήφθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Αναστασίου Κωνσταντίνου. Σ' αυτό το σημείο θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την υπομονή και προσπάθεια που κατέβαλε για την επιτυχή ολοκλήρωση της Διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	xvi
Λέξεις-κλειδιά	xvi
Abstract	xvii
Keywords	xvii
Συντομογραφίες και Ακρωνύμια	xix
Βασικές Έννοιες και Ορολογία	xx
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1: Η Ανάγκη για τη Διερεύνηση των «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ - «ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	6
2.1: Εισαγωγή στο Δεύτερο Κεφάλαιο	7
2.2: Σύντομη Αναδρομή στην Ιστορία της Φορητής Τεχνολογίας	9
2.3: Κατευθυντήριες Οδηγίες για τη «Φορεσιμότητα» ("Wearability")	13
2.4: Τα Χαρακτηριστικά της Φορέσιμης/Φορητής Τεχνολογίας Κατά τον Steve Mann	16
2.5: Ταξινόμηση των «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών	17
2.6: Οι Αισθητήρες που Χρησιμοποιούνται στις «Έξυπνες» Φορητές Συσκευές	23
2.7: Προαγωγή της Υγείας με τις «Έξυπνες» Φορητές Συσκευές	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΑΘΕΤΟΥΝ ΟΙ «ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	33
3.1: Βασικές Μέθοδοι Ανίχνευσης Κινήσεων	34
3.2.1: Οπτικοί Αισθητήρες Καρδιακής Συχνότητας	38
3.2.2: Εφαρμογές Οπτικών Αισθητήρων Καρδιακής Συχνότητας	45

3.3: Ανάλυση Βάδισης με Παραμέτρους από τους Αδρανειακούς Αισθητήρες (IMUs)	48
3.4: Αλγόριθμοι «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ - Η ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΑΠΑΝΗΣ / ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ «ΕΞΥΠΝΩΝ» ΦΟΡΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	57
4.1: Ο Υπολογισμός της Ενεργειακής Δαπάνης	58
4.2: Μέθοδοι Εκτίμησης της Ενεργειακής Δαπάνης	62
4.3: Ενεργειακή Κατανάλωση με Παράγοντα τον Καρδιακό Ρυθμό	66
4.4: Η Μέτρηση της Ενεργειακής Δαπάνης με τη Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών	68
4.5: Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity (I.D.E.E.A.)	75
4.6: MetaLogics Personal Calorie Monitor (P.C.M.)	78
4.7: Cosmed K4b2	81
4.7.1: Cosmed K5	82
4.8: SenseWear Armband Pro 3	83
4.9: ActiGraph GT3X	88
4.9.1: ActiGraph Αλγόριθμοι	91
4.10: Fitbit	93
4.11: Apple Watch (Series 7)	98
Πώς Μετρά το Apple Watch τους Καρδιακούς Παλμούς	101
Τρόπος Λειτουργίας της Εφαρμογής «ΗΚΓ»	102
Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Αισθητήρα Καρδιακών Παλμών	104
Τι Είναι το Οξυγόνο Αίματος	105
Τρόπος Λειτουργίας της Εφαρμογής «Οξυγόνωση»	105

Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Μέτρηση Οξυγόνωσης	106
Η Ακρίβεια Εκτίμησης της Ενεργειακής Δαπάνης από το Apple Watch	107
4.12: Garmin fenix 6 pro	109
Η ακρίβεια των δεδομένων από τις μετρήσεις Φυσικής Κατάστασης	112
Η ακρίβεια στη μέτρηση του Καρδιακού Ρυθμού από τον καρπό	112
Η ακρίβεια της Παλμικής Οξυμετρίας από τον καρπό	113
Η ακρίβεια στην εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης	113
Ιχνηλάτηση της Ενεργειακής Κατανάλωσης	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ «ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ/ΔΑΠΑΝΗ	117
5.1: Η Ακρίβεια των Wearable Συσκευών στην Εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας	118
5.2: Είναι Σωστή η Εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης από τις Wearable Συσκευές ;	122
5.3: Η Αξιολόγηση της Ενεργειακής Δαπάνης με τη Χρήση Wearable Εξοπλισμού Φυσικής Δραστηριότητας	128
5.4: Η Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών Εμπορικού Τύπου για την Εκτίμηση Ενεργειακής Δαπάνης στους Νέους	130
5.5: Η Εγκυρότητα Εκτίμησης της Ενεργειακής Κατανάλωσης από τις Εμπορικές Wearable Συσκευές	132
5.6: Η Αξιοπιστία και Εγκυρότητα των Fitness Trackers Εμπορικού Τύπου για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Δαπάνης	135
5.7: Η Εγκυρότητα στη Μέτρηση της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Δαπάνης από τους Ιχνηλάτες Φυσικής Δραστηριότητας	139
5.8: Υπάρχει Όφελος από τη Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών ;	143
5.9: Ο Αντίκτυπος των Wearable Συσκευών στη Φυσική Δραστηριότητα και στην Απώλεια Βάρους	

	146
5.10: Η Επίδραση των Πεδόμετρων/Βηματόμετρων στην Απώλεια Βάρους των Υπέρβαρων ή Παχύσαρκων Ασθενών	149
5.11: Η Επίπτωση στην Απώλεια Βάρους μέσα από τις Παρεμβάσεις με τη Χρήση Επιταχυνσιόμετρων	151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	154

Κατάλογος Εικόνων και Πινάκων

Εικόνα i	xviii
Εικόνα 1.1	4
Εικόνα 2.2	9
Εικόνα 2.21	12
Εικόνα 2.4	16
Πίνακας 2.5	17
Πίνακας 2.51	21
Εικόνα 2.5	22
Πίνακας 2.6	25
Εικόνα 2.6	26
Εικόνα 2.7	27
Πίνακας 2.7	31
Πίνακας 3.1	34
Εικόνα 3.2	40
Εικόνα 3.21	42
Εικόνα 3.22	44
Εικόνα 3.23	47
Εικόνα 3.4	52
Εικόνα 3.41	53
Εικόνα 3.42	55

Εικόνα 3.43	55
Εικόνα 4.1	58
Εικόνα 4.1.1	61
Πίνακας 4.2	65
Εικόνα 4.3	67
Εικόνα 4.4	68
Εικόνα 4.41	72
Πίνακας 4.4	73
Εικόνα 4.5	76
Εικόνα 4.51	77
Εικόνα 4.6	79
Εικόνα 4.61	80
Εικόνα 4.7	81
Εικόνα 4.71	82
Εικόνα 4.8	83
Εικόνα 4.81	85
Εικόνα 4.82	86
Εικόνα 4.9	88
Εικόνα 4.91	89
Εικόνα 4.92	90
Εικόνα 4.10	94

Εικόνα 4.10.1	96
Εικόνα 4.10.2	97
Εικόνα 4.11	100
Εικόνα 4.11.1	103
Εικόνα 4.11.2	107
Εικόνα 4.12	111
Εικόνα 4.12.1	115
Εικόνα 5.1	120
Εικόνα 5.11	121
Πίνακας 5.2	123
Εικόνα 5.2	125
Εικόνα 5.21	126
Εικόνα 5.22	127
Πίνακας 5.3	129
Πίνακας 5.4	131
Πίνακας 5.5	134
Εικόνα 5.6	137
Εικόνα 5.61	138
Πίνακας 5.7	140
Εικόνα 5.7	141
Πίνακας 5.8	145

Εικόνα 5.9	147
Εικόνα 5.91	148
Εικόνα 5.10	150
Εικόνα 5.11	152

Περίληψη

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και του εμπορίου, οδήγησε την παγκόσμια βιομηχανική παραγωγή στην κατασκευή συσκευών τόσο «έξυπνων» που μπορούν να μετρήσουν τον αριθμό επαναλήψεων των κινήσεων κατά τη φυσική δραστηριότητα και να υπολογίσουν την ενέργεια που καταναλώθηκε από αυτήν. Στόχος της μελέτης είναι να ανασκοπήσει την υπάρχουσα βιβλιογραφία για την αξιοπιστία κι εγκυρότητα των «έξυπνων» φορητών συσκευών (wearables) στην εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι μέθοδοι με τις οποίες οι συσκευές αυτές καταγράφουν τον αριθμό κινήσεων μέσω των αισθητήρων υψηλής τεχνολογίας που εμπεριέχουν, το πώς μετατρέπουν αυτά τα δεδομένα στο τελικό ζητούμενο και ποια είναι η αξιοπιστία τους. Συνεπώς, η μελέτη αυτή θα παρέχει μια συνολική εικόνα για τις «έξυπνες» αυτές συσκευές και το ρόλο τους στην διαχείριση του σωματικού βάρους.

Λέξεις-κλειδιά

«Έξυπνες» φορητές συσκευές

Φορέσιμη τεχνολογία

Ιχνηλάτης σωματικής δραστηριότητας

Συσκευή παρακολούθησης φυσικής κατάστασης

Ενεργειακή δαπάνη

Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Έλεγχος σωματικού βάρους

Abstract

The worldwide industrial production started producing "smart" devices, due to the rapid development of technology, the commercial needs and the market demand. Such "smart" devices are able to count the number of repetitive movements during physical activity and calculate the energy that was burned. The main objective of this dissertation is to review the available literature on the reliability and validity of "smart" wearable devices in estimating energy expenditure. A detailed introduction will present the methods that wearables monitor physical activity, through the hi-tech sensors, and the way the measured data are converted into the final results. In conclusion, this review will give the whole picture on "smart" wearable devices and their contribution to body weight management.

Keywords

«Smart» portable devices

Wearable technology

Physical activity tracker

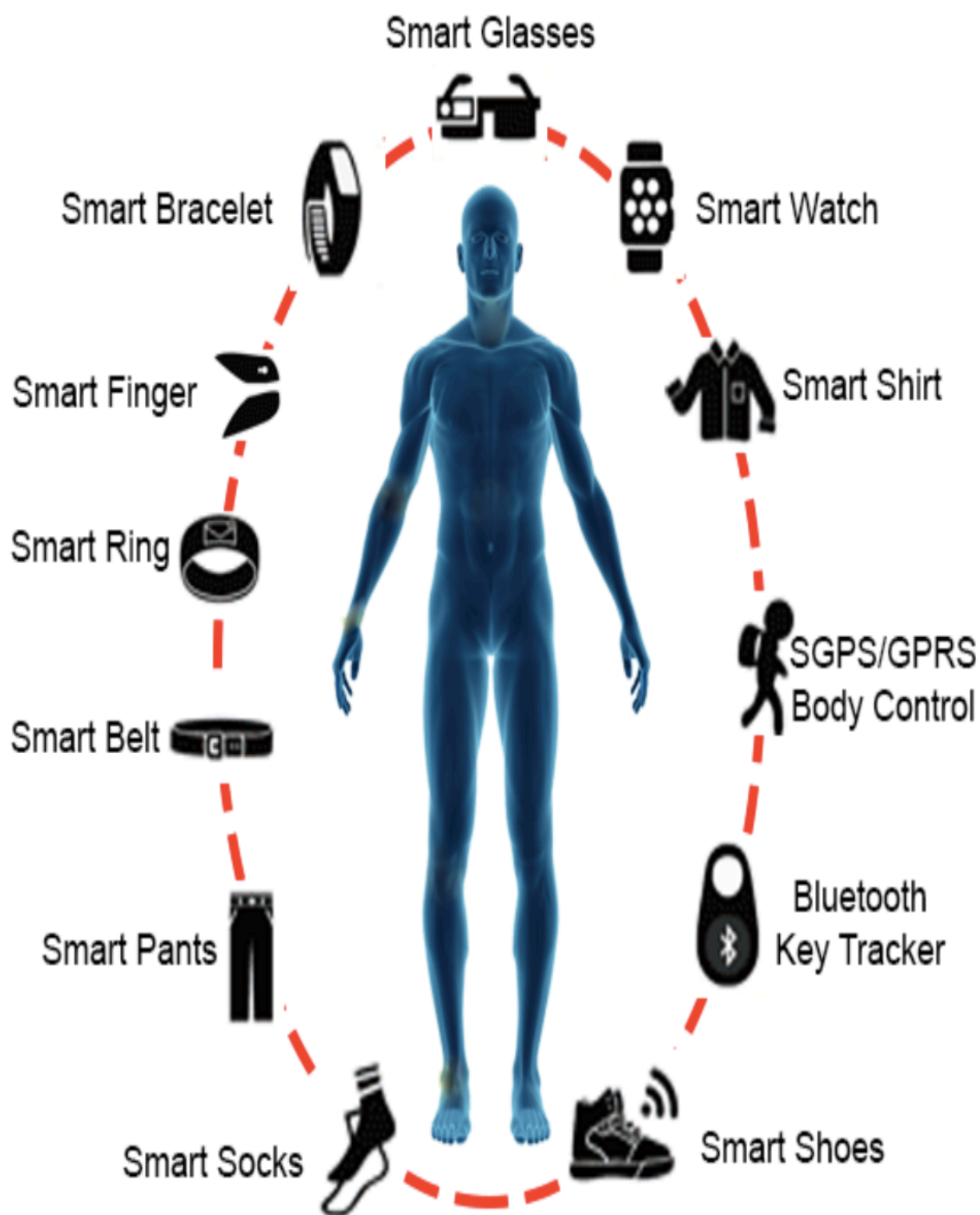
Fitness tracker

Energy expenditure

Validity and reliability

Body weight control

Εικόνα ι



Εικόνα ι. Διάφορες «έξυπνες» φορητές συσκευές. Από το "Enabling Technologies for the Internet of Health Things", των J.J.P.C. Rodrigues et al., 2018, *IEEE Access*, 6. © 2021 IEEE. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

EE: Energy Expenditure

BPM: Beats per minute

HR: Heart rate

HRV: Heart rate variability

LED: light-emitting diode

RMS: Root-mean-square

RMSE: Root-mean-square error

BMI: body mass index

ECG: electrocardiogram

GPS: Global Positioning System

MAPE: mean absolute percentage error

MVPA: moderate to vigorous physical activity

PPG: photoplethysmography

BMR: basal metabolic rate

mcTEE: total energy expenditure from metabolic chamber

PA: physical activity

TEE: total energy expenditure

sTEE: standardized typical error of the estimate

CI : Confidence Interval

MD : Mean Difference

TEE : Total Daily Energy Expenditure

REE : Resting Energy Expenditure

TEF : Thermic Effect of Feeding

AEE : Activity Energy Expenditure

Βασικές Έννοιες και Ορολογία

Wearable = Φορέσιμος, Φορέσιμη, Φορέσιμο

Wearable = «Έξυπνη» Φορητή Συσκευή (ή σύστημα)

Inertial Measurement Unit IMU (ή wearable inertial sensors) = μία μονάδα ή συσκευή που συμπεριλαμβάνει ένα επιταχυνσιόμετρο, ένα γυροσκόπιο κι ένα μαγνητόμετρο

Fitness Tracker = Ιχνηλάτης Φυσικής Δραστηριότητας

Active calories = Οι θερμίδες που καίγονται (ή δαπανώνται) κατά την εκτέλεση μίας δραστηριότητας

Total Daily Energy Expenditure = Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Κατανάλωση

Resting Energy Expenditure = Ενεργειακή Δαπάνη Ηρεμίας

Thermic Effect of Feeding = Τροφογενής Θερμογένεση

Activity Energy Expenditure = Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας

Confidence Interval = Διάστημα Εμπιστοσύνης (έννοια της Στατιστικής)

Mean Difference = Μέση Διαφορά (έννοια της Στατιστικής)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1: Η Ανάγκη για τη Διερεύνηση των «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών

Με τον όρο «φορητός» ή «φορετός» νοείται η χρήση του ανθρώπινου σώματος ως μία τοποθεσία για την εγκατάσταση μίας συσκευής. Η παρέλευση των ετών οδήγησε την ανθρωπότητα στη δημιουργία φορητών συσκευών που μετακινούνται εύκολα. Επιπλέον, η ανάγκη για συλλογή και αξιοποίηση της πληροφορίας, προκάλεσε την τεχνολογία να καινοτομήσει. Έτσι, οι συσκευές έγιναν κι «έξυπνες» έκτος από φορητές, με τη δυνατότητα να επεξεργάζονται την πληροφορία, να εξάγουν αποτελέσματα και να προσαρμόζονται ανάλογα με την κάθε περίπτωση. (Μπέλτσος, 2017)

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση του μέσου όρου ηλικίας στο προσδόκιμο ζωής των ανθρώπων όλης της Γης. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, οι συσκευές που παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας των ασθενών αναπτύχθηκαν τεχνολογικά κι έγιναν χρήσιμες, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και βοηθώντας στη μακροζωία του πληθυσμού. Με την παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας των ασθενών, εννοείται η φροντίδα για την ευημερία κι ευεξία κάθε ατόμου, δηλαδή η έγκαιρη διάγνωση των ασθενειών και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των επιδράσεων που έχει μία θεραπεία. Ως αποτέλεσμα, οι «έξυπνες» φορητές ηλεκτρονικές συσκευές κερδίζουν το ενδιαφέρον, λόγω της ευχέρειας και άνετης αλληλεπίδρασης με το ανθρώπινο σώμα, όπως είναι για παράδειγμα η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού, ο σφυγμός στον καρπό, η κίνηση, η αρτηριακή πίεση (ή πίεση αίματος) και διάφορες άλλες καταστάσεις της υγείας (Εικόνα 1.1). Σ' αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα παρακολούθησης της υγείας (π.χ. τα πιεσόμετρα), οι «έξυπνες» φορητές συσκευές είναι φορητές, φορέσιμες και παρέχουν δεδομένα εγκαίρως, καθώς καταγράφουν συνεχώς στον πραγματικό χρόνο αυτές τις πολύπλοκες καταστάσεις της υγείας. Επιπλέον, ενσωματώθηκαν στις ηλεκτρονικές συσκευές κάποια τσιπ συλλογής ενέργειας (energy-harvesting), τα οποία παρέχουν μία πολύ μικρή ποσότητα ισχύος, σε αντίθεση με τις ογκώδεις μπαταρίες. Όλες οι λειτουργίες των wearables συνεισφέρουν στη συμμόρφωση των ασθενών σχετικά με τις λεπτομέρειες μιας θεραπείας και φαρμακευτικής αγωγής. Αφότου τα wearables είναι ασύρματα, συγκεντρώνουν τις απαραίτητες πληροφορίες και τις μεταδίδουν σε κάποιο σταθερό κόμβο ή βάση, για παράδειγμα όπως λειτουργούν τα wearables με τα smartphones μέσω τεχνολογίας Bluetooth, ή αλλιώς σε μία μικρή ηλεκτρονική κονσόλα που αναμεταδίδει τις πληροφορίες σε κάποιο ιατρικό κέντρο και τελικά, ο επαγγελματίας υγείας-ιατρός εφαρμόζει τη στρατηγική πρόληψης ή θεραπείας.

(An et al., 2017)

Η αλήθεια είναι ότι τα "smart" ρολόγια ή wearables έχουν επικρατήσει στη θέση του καρπού των καταναλωτών και χρησιμοποιούνται ευρέως στην καθημερινότητα, καθώς όλοι (σχεδόν) φοράν ρολόγια με τη δυνατότητα καταγραφής βημάτων. Επίσης, υπάρχει μία πληθώρα από αυτά, στα ράφια των καταστημάτων ηλεκτρονικών ειδών και η τιμή τους ξεκινά από την τάξη των 10 €, αλλά υπάρχουν και ακριβότερα. Είναι ένα αξεσουάρ και συνάμα ένα εργαλείο, το οποίο συνοδεύει είτε έναν δραστήριο άνθρωπο στην καθημερινή του εργασία, είτε ένα άτομο που αθλείται και προσμετρά τις αθλητικές επιδόσεις του. Στην ουσία, πρόκειται για την ακρίβεια στην καταμέτρηση επαναλήψεων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διάφορων αθλητικών δραστηριοτήτων. Στο μυαλό όμως ενός αρχάριου, είναι ένας απλός βηματομετρητής – ρολόι που ονομάζεται fitness tracker. Αυτό έχει τη δυνατότητα να καταγράφει τις επαναλήψεις που εκτελεί ο αθλούμενος και ταυτόχρονα να υπολογίζει διάφορες παραμέτρους, όπως η εκτίμηση των καταναλισκόμενων ή δαπανώμενων θερμίδων που «καίει» ο αθλητής. Ωστόσο, πόσο ακριβείας είναι αυτές οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί;

Η καθημερινή επαφή των ανθρώπων τους συμπαρασύρει και τους οδηγεί στην υιοθέτηση νέων συμπεριφορών. Μία νέα τάση για δοκιμή νέων προϊόντων τεχνολογίας είναι και η αγορά των ρολογιών με τη δυνατότητα καταγραφής βημάτων, που από εδώ και πέρα θα αναφέρονται ως wearables. Αν παρατηρήσει κανείς την εξέλιξη των wearables και τις δυνατότητες που έχουν, απλά και μόνο από την τοποθέτησή τους στον καρπό του σώματος, θα δει ότι είναι πλέον αμέτρητες. Γι' αυτό και στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή έγινε μία προσπάθεια ανασκόπησης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, ώστε να συγκεντρωθούν όλες οι πληροφορίες σχετικά με τις μικροσυσκευές τεχνολογίας που καταγράφουν τη φυσική κατάσταση.

Όταν σκέφτεται κανείς για μία συνεχή καταγραφή βημάτων και κινήσεων που πραγματοποιείται στη διάρκεια μίας ημέρας, ίσως του αρέσει ή θα μπορούσε να τρομάξει στην ιδέα ότι κάτι-κάποιος-κάπου-κάποια στιγμή τον παρακολουθεί. Όμως, κατά τη διαδικασία απώλειας του περιττού σωματικού βάρους, ένα απλό fitness tracker θα μπορούσε να αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Καθώς αυτό καταγράφει την ολοήμερη δραστηριότητα ενός ατόμου, θεωρείται απαραίτητο να εμφανίζονται και οι καταναλισκόμενες θερμίδες που καίγονται από αυτή. Ή αλλιώς, κατά την ίδια έννοια, για να μην υπάρχει σύγχυση των νοημάτων στη συνέχεια της εργασίας, καταγράφονται οι θερμίδες που δαπανώνται από τον βηματισμό του ατόμου ή την εκτέλεση σωματικών ασκήσεων ή την άθληση. Τί σημαίνει ακριβώς η πρόταση ότι καταγράφονται οι θερμίδες που δαπανώνται; Θα μπορούσε να σημαίνει ότι το fitness tracker υπολογίζει τις θερμίδες που έκαψε ο αθλούμενος από την άσκηση;

Εικόνα 1.1



Εικόνα 1.1. Οι χρήσεις των «έξυπνων» φορητών συσκευών για την παρακολούθηση της υγείας. Από το "A Critical Review of Consumer Wearables, Mobile Applications, and Equipment for Providing Biofeedback, Monitoring Stress, and Sleep in Physically Active Populations", των J. M. Peake et al., 2018, *Frontiers in Physiology*, 9(743). © 2022 Frontiers Media. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ - «ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

2.1: Εισαγωγή στο Δεύτερο Κεφάλαιο

Η ορολογία «φορητή τεχνολογία», «συσκευές που μπορούν να φορεθούν», «έξυπνες φορητές συσκευές» και "wearables" αφορούν όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές σύγχρονης τεχνολογίας ή τους μικρο-υπολογιστές που ενσωματώνονται σε είδη ρουχισμού, αλλά και αξεσουάρ τα οποία προσαρμόζονται άνετα στο σώμα. Ωστόσο, η φορητή τεχνολογία έχει φτάσει στο σημείο που είναι περισσότερο ικανή στο τεχνολογικό επίπεδο σε σύγκριση με τα smartphones - κινητά τηλέφωνα. Ειδικότερα, η φορητή τεχνολογία που αποτελείται κυρίως από φορητές συσκευές και wearables, είναι όλες αυτές οι «έξυπνες» ηλεκτρονικές συσκευές που εκτελούν αμέτρητους υπολογισμούς εντός μερικών δευτερολέπτων, εμφανίζουν στον χρήστη έτοιμα τα αποτελέσματα στην οθόνη και μπορούν να φορεθούν στο σώμα ως αξεσουάρ. Παραδείγματα wearables είναι τα ρολόγια, τα γυαλιά, οι φακοί επαφής, τα «έξυπνα» υφάσματα, τα καπέλα, τα κοσμήματα όπως δαχτυλίδια, βραχιόλια και οι συσκευές ακοής που σχεδιάζονται για να μοιάζουν με σκουλαρίκια. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, ενώ η «έξυπνη» φορητή τεχνολογία συνήθως αφορά τα αντικείμενα που μπορούν να τοποθετηθούν και να απομακρυνθούν με ευκολία, υπάρχουν ακόμη κάποια άλλα, όπως για παράδειγμα η εμφύτευση συσκευών, τα μικροτσιπ ή ακόμα και τα έξυπνα τατουάζ. Τελικά, ο σκοπός της «έξυπνης» φορητής τεχνολογίας, είτε αν η συσκευή φοριέται είτε αν ενσωματώνεται στο σώμα, είναι να δημιουργήσει μία σταθερή, βολική, φορητή και ως επί το πλείστον hands-free εμπειρία χρήσης.

Γενικά, η «έξυπνη» φορητή τεχνολογία έχει κάποια μορφή επικοινωνίας και δίνει στον χρήστη πρόσβαση σε πληροφορίες σημαντικού περιεχομένου σε πραγματικό χρόνο (real-time). Οι συσκευές παρακολούθησης φυσικής δραστηριότητας (activity/fitness trackers) είναι το καλύτερο παράδειγμα των «έξυπνων» φορητών συσκευών, καθώς περιλαμβάνουν μικρο-ηλεκτρονικά συστήματα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η ανταλλαγή δεδομένων και προς άλλες συνδεδεμένες συσκευές, χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτές οι συσκευές προσφέρουν στον χρήστη έναν εύκολο τρόπο για την επιτυχή παρακολούθηση των επιπέδων φυσικής δραστηριότητας, όπως για παράδειγμα η καταμέτρηση των ημερήσιων βημάτων, η χιλιομετρική απόσταση που διανύθηκε και οι θερμίδες που δαπανήθηκαν. Χρησιμοποιώντας ένα fitness tracker, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί και να αποθηκεύει εύκολα ορισμένες πληροφορίες της καθημερινής φυσικής δραστηριότητας, ακόμη και να τις συγκρίνει με προηγούμενες ημέρες. Έτσι, πραγματοποιείται η παρακολούθηση της καθημερινής, εβδομαδιαίας, μηνιαίας κι ετήσιας προόδου και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, εφαρμόζονται συγκεκριμένες αλλαγές στο πρόγραμμα προπόνησης.

Υπάρχουν κάποιες πολύ εξειδικευμένες συσκευές που παρέχουν βιομετρικά δεδομένα στον χρήστη, καθώς οι μετρήσεις που γίνονται αφορούν τη λειτουργία της καρδιάς με τον Καρδιακό Ρυθμό και το Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ), τη θερμοκρασία του σώματος, τα επίπεδα οξυγόνου στο αίμα, τα επίπεδα εφίδρωσης και ενυδάτωσης, ακόμη και τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα. Όλες αυτές οι μετρήσεις χρησιμεύουν στην αποτελεσματικότητα των προπονήσεων και στη διατήρηση ενός επίπεδου φυσικής κατάστασης.

Οι «έξυπνες» φορητές συσκευές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην καθημερινή ζωή των ασθενών με υπερβάλλον σωματικό βάρος, καθώς επίσης και στην καθημερινή Διαιτολογική πρακτική. Με τη μέθοδο αυτή, θα είναι υποχρεωτική η αυτό-παρακολούθηση και καταγραφή της αυξομείωσης του σωματικού βάρους και της φυσικής δραστηριότητας των ασθενών, ενώ θα γίνεται αμερόληπτη ενημέρωση προς τον Διαιτολόγο ή τους άλλους επαγγελματίες Υγείας. Άλλωστε, είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες κατά την προσπάθεια για την απώλεια βάρους.

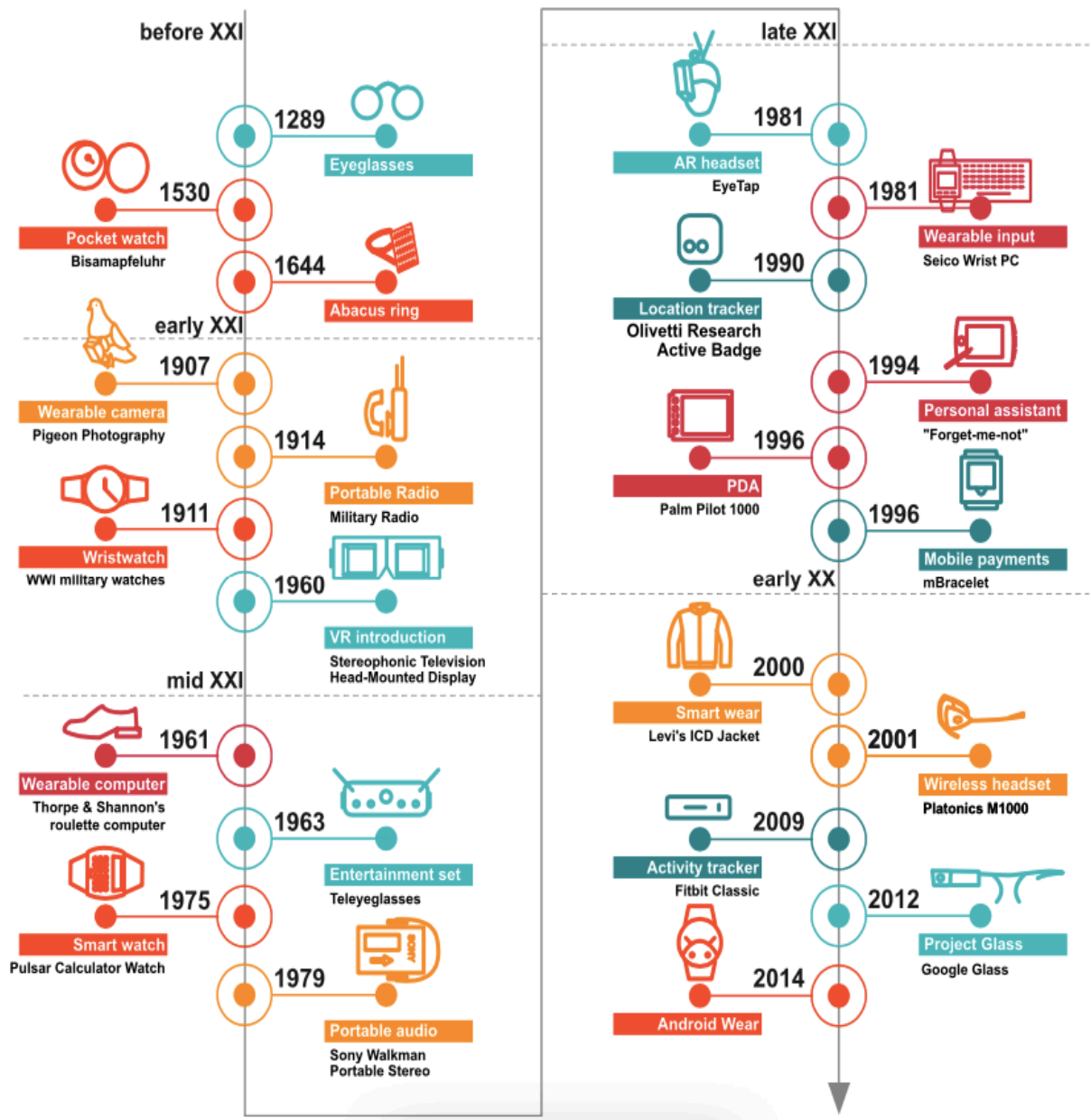
Επομένως, τα wearables με τις λειτουργίες και τις εφαρμογές λογισμικού (Applications) που διαθέτουν, αποτελούν ένα κίνητρο στους ανθρώπους να παρακολουθούν τη σωματική τους κατάσταση και τις αθλητικές ή καθημερινές δραστηριότητες, με τελικό σκοπό τη βελτίωση της υγείας και της ευεξίας τους. Η διαδικασία της παρακολούθησης της φυσικής δραστηριότητας και ευεξίας έχει απλοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, με την ενσωμάτωση «έξυπνων» συσκευών και των αντίστοιχων εφαρμογών που υποστηρίζονται.

Αναπτύσσεται ραγδαία το ενδιαφέρον για τους ιχνηλάτες φυσικής κατάστασης (fitness trackers), τα «έξυπνα» ρολόγια (smartwatches) και άλλες «έξυπνες» φορητές συσκευές ("smart" wearable devices) με ενσωματωμένους παλμογράφους - καρδιοσυχνόμετρα, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, GPS, οθόνες αφής, αισθητήρες οπτικής μέτρησης καρδιακού ρυθμού (με την τεχνολογία της Φωτοπληθυσμογραφίας) και άλλες μονάδες αισθητήρων (π.χ. IMUs).

2.2: Σύντομη Αναδρομή στην Ιστορία της Φορητής Τεχνολογίας

Στην Εικόνα 2.2 που ακολουθεί παριστάνεται γραφικά η εξέλιξη των wearables από τον 13ο αιώνα έως και το 2015.

Εικόνα 2.2



Εικόνα 2.2. Σημαντικά γεγονότα στην εξέλιξη των φορητών συσκευών. Από το "A Survey on Wearable Technology: History, State-of-the-Art and Current Challenges", των A. Ometov et al., 2021, *Computer Networks*, 193(108074). © 2021 από τους συγγραφείς. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η τεχνολογική πρόοδος και ιδιαίτερα, η μείωση του μεγέθους (miniaturization), βοήθησαν στη βελτιστοποίηση του τεχνολογικού εξοπλισμού, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Οι πρωταρχικοί υπολογιστές που κυκλοφόρησαν, εξυπηρετούσαν το μοναδικό σκοπό να λειτουργούν ως εργαλεία υπολογισμού. Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκαν και ως οργανωτικές και προσωπικές αποθήκες πληροφοριών.

Τα wearables όπως τα γνωρίζουμε σήμερα, αντιμετωπίζονται σαν «έξυπνες» συσκευές από τον ορισμό τους. Όμως, οι άνθρωποι τείνουν να ξεχνούν ότι η «ευφυία» δεν οριζόταν πάντοτε ως η επεξεργασία των δεδομένων σ' ένα μικροτσίπ. Ήταν περισσότερο γνωστή, ως η δυνατότητα της παράδοσης στον χρήστη μίας όσο καλύτερης εμπειρίας γίνεται.

Το 1966 οι Ed Thorp και Claude Shannon αποκάλυψαν την εφεύρεσή τους που ήταν ένας φορητός υπολογιστής και είχε χρήση για την πρόβλεψη του τροχού της Ρουλέτας.

Το 1967 ο Hubert Upton εφηύρε έναν αναλογικό φορητό υπολογιστή προσαρμοσμένο ως μία οθόνη τοποθετημένη σε γυαλιά οράσεως, ώστε να βοηθάει στο διάβασμα των χειλιών.

Το 1972 ο Alan Lewis επινόησε μία ψηφιακή κάμερα στο μέγεθος σταθερού υπολογιστή, ώστε να προβλέπει τον τροχό της Ρουλέτας.

Το 1977 ο CC Colins ανέπτυξε μία φορητή κάμερα επάνω σε απτικό γιλέκο για τους τυφλούς.

Το 1977 η εταιρεία Hewlett-Packard εισήγαγε στην αγορά το πρώτο ρολόι χειρός που είναι και αριθμομηχανή αλγεβρικών πράξεων.

Το 1978 η εταιρεία Eudaemonic Enterprises εφηύρε έναν ψηφιακό φορητό υπολογιστή που ενσωματώνεται σε παπούτσια, για την πρόβλεψη του τροχού της Ρουλέτας.

Το 1981 ο Steve Mann σχεδίασε έναν υπολογιστή προσαρμοσμένο ως σακίδιο πλάτης, για τον έλεγχο φωτογραφικού εξοπλισμού.

Το 1983 η εταιρεία Taft εμπορευματοποίησε υπολογιστές που λειτουργούν με τα δάχτυλα των ποδιών, για την καταμέτρηση τραπουλόχαρτων.

Το 1986 ο Steve Roberts κατασκεύασε το Winnebiko II, το οποίο είναι ένα ανακλινόμενο ποδήλατο με υπολογιστή και πληκτρολόγιο, ενσωματωμένα.

Το 1990 οι Gerald Maguire και John Ioannidis παρουσίασαν το Student Electronic Notebook, το οποίο ήταν ο πρώτος υπολογιστής σημειώσεων που προσομοίαζε το χαρτί και είχε γραφίδα, για την εισαγωγή δεδομένων και είχε ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Το 1990 με το Xybernaut ήρθε στην αγορά η πρώτη συσκευή για εμπορική χρήση, ως ένα σύστημα που μπαίνει στη ζώνη του παντελονιού και αποτελείται από το κουτί του υπολογιστή και μία οθόνη, φορητή που προσαρτάται στα χέρια ως επέκταση του υπολογιστή.

Το 1991 η CMU ανέπτυξε το VuMan 1, για την ανάγνωση και προβολή στοιχείων από προσχέδια.

Το 1991 ο Doug Platt πρωτο-εμφάνισε έναν υπολογιστή που φοριέται περιμετρικά στη μέση "Hip-PC".

Το 1993 ο Thad Starner εμφανίστηκε φορώντας έναν "Hip-PC", μία Private Eye οθόνη στο κεφάλι και ένα χειριστήριο Twiddler.

Το 1993 η BBN ολοκλήρωσε το σύστημα Pathfinder, έναν wearable υπολογιστή με GPS και σύστημα ανίχνευσης ακτινοβολίας.

Το 1994 ο Edgar Matias έκανε ντεμπούτο έναν υπολογιστή στον καρπό, μαζί με μισό πληκτρολόγιο QWERTY.

Το 1994 ο Steve Mann ανέπτυξε το "Wearable Wireless Webcam", το οποίο μπορούσε να μεταδίδει εικόνες σ' έναν σταθμό βάσης δεδομένων, χρησιμοποιώντας τις συχνότητες τηλεοπτικών μεταδόσεων, μόνο από μια αναλογική κάμερα προσαρμοσμένη στο κεφάλι. Οι εικόνες επεξεργάζονταν από το σταθμό και αναμεταδίδονταν σε μια ιστοσελίδα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.

Ο σχεδιασμός των υπολογιστών από την αρχή, μέχρι και πριν από κάποια χρόνια, δε γινόταν με έμφαση στην ευχρηστία. Έτσι, οι χρήστες είναι αυτοί που πρέπει ακόμη και σήμερα, να προσαρμόζονται στο περιβάλλον των υπολογιστών. Μελλοντικά, η συμπεριφορά των υπολογιστών θα είναι αυτή που θα τροποποιείται ανάλογα με τις ανάγκες των ανθρώπων.

(Ometov et al., 2021; Rhodes, 2019)

Εικόνα 2.21



Εικόνα 2.21. Το ρολόι Linux της IBM ως ένα ενιαίο υπολογιστικό σύστημα σε μία φορητή συσκευή για τον καρπό. Από το "From Backpacks to Smartphones: Past, Present, and Future of Wearable Computers", των O. Amft και P. Lukowicz, 2009, *IEEE Pervasive Computing*, 8(3). © 2009 IEEE. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

2.3: Κατευθυντήριες Οδηγίες για τη «Φορεσιμότητα» ("Wearability")

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά των φορέσιμων συσκευών είναι η μορφή που έχουν, ώστε να τις καθιστά «φορέσιμες». Σε σχέση με τη δυνατότητα ενός ηλεκτρονικού συστήματος «να φορεθεί», υπάρχουν κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες. Στη συνέχεια αναφέρονται δεκατρείς οδηγίες, οι οποίες και επεξηγούνται. (Παραστατίδου, 2008)

1. Τοποθέτηση (σε ποιο σημείο πρέπει να είναι επάνω στο σώμα)

Η πρώτη οδηγία αναφέρει την τοποθέτηση του φορέσιμου μικρο-υπολογιστή στο ανθρώπινο σώμα, με την απαραίτητη διακριτικότητα. Θα πρέπει να είναι τόσο μη εμφανές για τους παρατηρητές, όσο και ανεπαίσθητο για το χρήστη. Τα κριτήρια για την τοποθέτηση ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες της χρηστικότητας και της προσβασιμότητας. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες περιοχές στο ανθρώπινο σώμα που θεωρούνται καταλληλότερες, όπως περιοχές που έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος σε όλους τους ενήλικες, μικρότερη κινητικότητα όταν ο άνθρωπος βρίσκεται σε κίνηση και μεγαλύτερη επιφάνεια.

2. Μορφή (καθορισμός του σχήματος)

Η δεύτερη οδηγία σχετίζεται με το σώμα. Για να διασφαλιστεί μια άνετη και σταθερή εφαρμογή, δίνεται έμφαση στις καμπύλες του ανθρώπινου σώματος. Διαμορφώνοντας ανάλογα τα φορέσιμα αντικείμενα, καμπυλώνοντας τις άκρες και τις γωνίες τους, προκύπτει μια πιο ασφαλής, μαλακή και φορέσιμη μορφή.

3. Ανθρώπινη Κίνηση (μελέτη της μηχανικής του μυοσκελετικού συστήματος)

Η τρίτη οδηγία παραπέμπει στην ελευθερία των κινήσεων που μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο ένας είναι η μελέτη, περιμετρικά από τις περισσότερες ενεργές-δραστήριες περιοχές του σώματος, ώστε να σχεδιαστούν οι κατάλληλες συνενώσεις στην τελική φορέσιμη μορφή. Ο άλλος είναι να δημιουργηθούν χώροι στη φορέσιμη μορφή, για να επιτρέπεται μέσα σε αυτούς τους χώρους, η κίνηση του σώματος. Για παράδειγμα, ο κορμός είναι ένα καλό μέρος για την τοποθέτηση φορέσιμου αντικειμένου, αλλά τα χέρια είναι απαραίτητο να έχουν πλήρη ελευθερία περιστροφής γύρω από το πλάι και εμπρός από τον κορμό. Επιπροσθέτως, ο κορμός χρειάζεται να μη χάσει την ικανότητα να στρέφεται και να λυγίζει. Αυτού του είδους οι κινήσεις μπορούν να βοηθήσουν στη διαμόρφωση της επιφάνειας της φορέσιμης μορφής.

4. Μελέτη Ανθρώπου-Περιβάλλοντος (ανθρώπινη αντίληψη του χώρου)

Η τέταρτη οδηγία αναφέρεται στην ανθρώπινη αντίληψη του μεγέθους. Ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται μια ατμόσφαιρα γύρω από το σώμα, η οποία θα πρέπει να υπολογίζεται όταν καθορίζεται η απόσταση που προεξέχει η φορέσιμη μορφή από το σώμα. Η μελέτη ανθρώπου - περιβάλλοντος (proxemics) συνιστά να παραμένουν οι μορφές μέσα στον πολύ στενό και «οικείο» χώρο, για να γίνονται αντιληπτές από τον χρήστη ως μέρος του σώματός του. Έτσι, θα πρέπει να ελαχιστοποιείται το πάχος και να είναι εντός των 10 εκατοστών η απόσταση από το σώμα, για την αύξηση της ασφάλειας και της άνεσης.

5. Διαστασιολόγηση (για την ποικιλία των μεγεθών του σώματος)

Η ποικιλία των μεγεθών αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πρόκληση στο σχεδιασμό των τελικών μορφών. Η κατασκευή του σώματος και η κατανομή του βάρους, όταν προστίθενται και αφαιρούνται κιλά και μύες, είναι σημαντικά στοιχεία. Ο στόχος είναι να καλύπτονται όσο το δυνατόν περισσότεροι χρήστες με διαφορετικούς σωματότυπους. Ένας τρόπος για τη μεταβολή των μεγεθών είναι η χρήση των ανθρωπομετρικών δεδομένων, που δίνουν λεπτομερώς τις αποστάσεις σε σώματα διαφορετικών μεγεθών. Ένας δεύτερος τρόπος είναι η θεώρηση της ανάπτυξης των ανθρώπινων μυών και του πάχους σε τρεις διαστάσεις.

6. Προσαρμογή (επάνω στο σώμα)

Η άνετη προσαρμογή των αντικειμένων μπορεί να δημιουργηθεί με το τύλιγμα γύρω από το σώμα, αντί για τη χρήση συνδετικού εξοπλισμού. Είναι βασική η χρήση συστημάτων προσάρτησης που να εξυπηρετούν διάφορα φυσικά μεγέθη.

7. Περιεχόμενο (λαμβάνοντας υπόψη τι είναι μέσα στη δομή)

Στη σχεδίαση φορέσιμων αντικειμένων, η δομή περιέχει διάφορα υλικά, κάποια από τα οποία έχουν εύπλαστη μορφή και κάποια όχι. Συνεπώς, μερικά ευαίσθητα μηχανήματα που περιέχονται μέσα στη δομή, δημιουργούν περιορισμούς για το εξωτερικό περίβλημα των φορέσιμων συσκευών.

8. Βάρος (το πώς κατανέμεται πάνω στο ανθρώπινο σώμα)

Η όγδοη οδηγία αντιμετωπίζει το βάρος, το οποίο δεν θα πρέπει να παρεμποδίζει το σώμα στις κινήσεις ή την ισορροπία. Το φορτίο είναι καλό να μπαίνει κοντά στο κέντρο βάρους

του σώματος, δηλαδή γύρω από το στομάχι, τη μέση και την περιοχή των γοφών για τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση.

9. Προσβασιμότητα («δυνατότητα πρόσβασης» και ωφέλεια από κάποιο σύστημα ή οντότητα)

Σε κάθε περίπτωση φορέσιμου εξοπλισμού, κρίνεται σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η προσβασιμότητα. Αφορά το σχεδιασμό προϊόντων, συσκευών, υπηρεσιών ή περιβάλλοντα, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άτομα με ειδικές ανάγκες. Η έννοια του προσβάσιμου σχεδιασμού και της πρακτικής της προσβάσιμης ανάπτυξης, εξασφαλίζει τόσο την «άμεση πρόσβαση» (δηλαδή χωρίς βοήθεια), όσο και την «έμμεση πρόσβαση» που σημαίνει συμβατότητα με την βοηθητική τεχνολογία ενός ατόμου. Ωστόσο, η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της προσβασιμότητας, φέρνει οφέλη για δημιουργία πραγμάτων προσβάσιμων από όλους τους ανθρώπους (είτε έχουν αναπηρία είτε όχι). Εκτεταμένη έρευνα έχει διεξαχθεί στους τομείς της οπτικής, απτικής και ακουστικής πρόσβασης στο ανθρώπινο σώμα.

10. Αισθητήρια Αλληλεπίδραση (για παθητική ή ενεργητική εισαγωγή δεδομένων)

Είναι σημαντικό να παραμένει όσο γίνεται πιο απλή και διαισθητική για το χρήστη.

11. Θερμότητα (θέματα της θερμότητας γύρω από το σώμα)

Όσον αφορά τη θερμότητα, υπάρχουν τρεις απόψεις για το σχεδιασμό αντικειμένων σε σχέση με το σώμα: η λειτουργική, η βιολογική και η αντιληπτική. Το σώμα έχει την ανάγκη να αναπνέει και παρουσιάζεται ιδιαίτερα ευαίσθητο σε προϊόντα που δημιουργούν, συγκεντρώνουν ή παγιδεύουν τη θερμότητα.

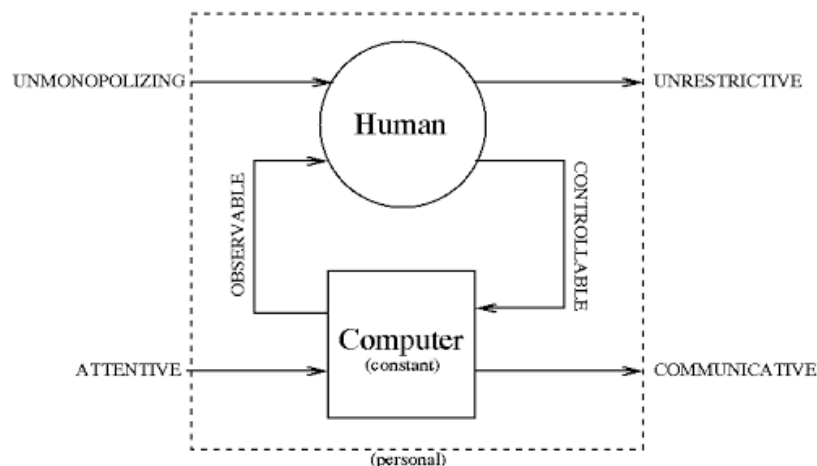
12. Αισθητική (αντιληπτική καταλληλότητα)

Η αισθητική αποτελεί παράγοντα κρίσιμης σημασίας στη φόρμα και τη λειτουργικότητα οποιουδήποτε φορέσιμου αντικειμένου. Η κουλτούρα και το περιεχόμενο υπαγορεύουν τα σχήματα, τα υλικά, τις υφές και τα χρώματα που ταιριάζουν καλύτερα στο χρήστη και το περιβάλλον του.

2.4: Τα Χαρακτηριστικά της Φορέσιμης/Φορητής Τεχνολογίας Κατά τον Steve Mann

Για την καλύτερη λειτουργία ενός «έξυπνου» φορητού ηλεκτρονικού συστήματος, θα πρέπει να πληροί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές. Αυτές οι προδιαγραφές αποδίδουν τη σωστή ροή πληροφοριών, στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τη συσκευή (Εικόνα 2.4). Έτσι, θα πρέπει να είναι «Ελεγχόμενο» ("Controllable"), δηλαδή ο χρήστης να μπορεί να πάρει τον έλεγχο του συστήματος και να το λειτουργεί χειροκίνητα. Επίσης, θα πρέπει να είναι και «Παρατηρήσιμο» ("Observable"), δηλαδή να κερδίζει το ενδιαφέρον του χρήστη. Θα πρέπει να μην είναι «Μονοπώλιο» ("Unmonopolizing") για την προσοχή του χρήστη, δηλαδή να δίνεται σημασία στις πραγματικές συνθήκες της τρέχουσας χρονικής στιγμής, ή απλά να μην του αποσπά την προσοχή. Θα πρέπει να μην είναι «Περιοριστικό» ("Unrestrictive"), δηλαδή να μπορεί ο χρήστης να έχει άνεση κινήσεων στις δραστηριότητες. Θα πρέπει να είναι «Προσεκτικό προς το περιβάλλον» (Attentive to the environment), δηλαδή να έχει γίνει η παραγωγή του προϊόντος με περιβαλλοντική συνείδηση. Τέλος, θα πρέπει να είναι «Επικοινωνήσιμο» ("Communicative"), δηλαδή να αλληλεπιδράει επικοινωνώντας με άλλα συστήματα, ώστε να γίνεται ανταλλαγή δεδομένων. (Φραγγίδου, 2018)

Εικόνα 2.4



Εικόνα 2.4. Οι διαδρομές που ακολουθεί το σήμα για να υπηρετεί τους σκοπούς της φορητής τεχνολογίας. Από το "Definition of Wearable Computer", του S. Mann, University of Toronto, 1998. Ανακτήθηκε 23 Νοεμβρίου, 2021, από <http://wearcomp.org/wearcompdef.html>. © 1998 Steve Mann. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

2.5: Ταξινόμηση των «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών

Πίνακας 2.5

Τύπος	Ιδιότητες	Ικανότητες	Εφαρμογές
«Έξυπνο ρολόι» (Smartwatch)	- Λειτουργική ισχύ χαμηλής κατανάλωσης - Διεπαφή φιλική προς τον χρήστη με εντολές αφής και φωνής	- Δημοσιεύει συγκεκριμένες πληροφορίες - Πληρωμή - παρακολούθηση φυσικής δραστηριότητας - επικοινωνία - αναζήτηση	- επιχείρηση, διοίκηση - marketing, ασφάλιση - επαγγελματικός αθλητισμός, προπόνηση - εκπαίδευση - ψυχαγωγία
«Έξυπνα γυαλιά» (Smart eyewear)	- έλεγχος αγγίζοντας την οθόνη, μέσω της κίνηση του κεφαλιού, της φωνητικής εντολής και με το κούνημα των χεριών, - χαμηλή ισχύς λειτουργίας - στέλνει τον ήχο απευθείας στο αυτί	- οπτικοποίηση - γλωσσική ερμηνεία - επικοινωνία - συντονισμός εργασιών	- χειρουργική - αεροδιαστημική και άμυνα - εφοδιαστική (logistics) - εκπαίδευση - ψυχαγωγία
Fitness tracker	- Υψηλή ακρίβεια - αδιάβροχο - ελαφρύ - ασύρματη επικοινωνία	- ευεξία - πλοήγηση - παρακολούθηση φυσικής δραστηριότητας - παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού	- υγειονομική περίθαλψη - επαγγελματικός αθλητισμός
Smart clothing	- καμία οπτική αλληλεπίδραση με τον χρήστη μέσω οθόνης ή οθόνης - Τα δεδομένα λαμβάνονται από τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές του σώματος	- καρδιακό ρυθμό, καθημερινές δραστηριότητες, θερμοκρασία και παρακολούθηση θέσης σώματος - θέρμανση ή ψύξη της θερμοκρασίας του σώματος	- επαγγελματικός αθλητισμός - φυσική δραστηριότητα - medicine - στρατός - logistics
Wearable camera	- μπορεί να ενσωματωθεί πάνω στα ρούχα ή στο σώμα - μικρότερες διαστάσεις - νυχτερινή όραση	- τραβάει φωτογραφίες και βίντεο πρώτου προσώπου σε πραγματικό χρόνο - live streaming - καταγράφει την φυσική κατάσταση και δραστηριότητα	- άμυνα - φυσική δραστηριότητα - βιομηχανία - εκπαίδευση
Wearable medical device	- διαχείριση πόνου - παρακολούθηση γλυκόζης - παρακολούθηση ύπνου - παρακολούθηση εγκεφαλικής δραστηριότητας	- καρδιαγγειακές παθήσεις - διαταραχές - χρόνιες ασθένειες (π.χ. διαβήτης) - χειρουργική - νευροεπιστήμη - δερματολογία - αποκατάσταση	- φυσική κατάσταση - καρδιαγγειακή ιατρική - ψυχιατρική - χειρουργική - ογκολογία - δερματολογία

Πίνακας 2.5. Οι τύποι, οι ιδιότητες, οι δυνατότητες και οι εφαρμογές των «έξυπνων» φορητών συσκευών. Από το "Wearable Devices και Mobile Applications στα Πλαίσια του Internet of Things για την Παρακολούθηση της Φυσικής Κατάστασης των Χρηστών", της Σ.Μ. Καρβουνίδου, 2018, σ. 33. © 2018 Καρβουνίδου Στυλιανή-Μαρία. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Γενικότερα, τα φορητά ηλεκτρονικά συστήματα αποτελούνται από «έξυπνους» αισθητήρες, φορέσιμα υλικά, ενεργοποιητές, τροφοδοτικά, μονάδες με ασύρματη επικοινωνία και διασύνδεση, μονάδες ελέγχου και επεξεργασίας δεδομένων, περιβάλλον εργασίας για τον χρήστη (user interface), λογισμικό και προηγμένους αλγόριθμους που εξάγουν αποτελέσματα, αξιολογούν και αναλύουν τα δεδομένα, δίνοντας έτοιμα συμπεράσματα. Συνεπώς, αυτά τα συστήματα μπορούν να παρακολουθούν τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του ασθενούς, όπως η θερμοκρασία, η πίεση του αίματος, η καταπόνηση, το στρες και τις συγκεντρώσεις βιομορίων στην κυκλοφορία του αίματος. Έτσι, για να χρησιμοποιηθούν ως φορητά/φορέσιμα από τον απλό και καθημερινό χρήστη, θα πρέπει να είναι υπερβολικά λεπτά, πολύ ελαφριά στο βάρος, ευλύγιστα, εύκαμπτα και ελαστικά.

(An et al., 2017)

Οι «έξυπνες» φορητές συσκευές μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις λειτουργίες, την εξωτερική εμφάνιση, την περιοχή τοποθέτησης επάνω στο ανθρώπινο σώμα, αλλά και με άλλες παραμέτρους (Πίνακας 2.5, Εικόνα 2.5).

«Έξυπνο ρολόι» ή Smartwatch

Τα «έξυπνα» ρολόγια είναι αυτοματοποιημένες συσκευές ή μικροί υπολογιστές που σχεδιάστηκαν για να φορεθούν στους καρπούς των χεριών των καταναλωτών. Συνήθως, έχουν εκτεταμένες δυνατότητες και λειτουργίες που αξιοποιούνται κυρίως για τις τηλεπικοινωνίες. Τα περισσότερα σύγχρονα μοντέλα των smartwatch έχουν ως βάση ένα φορητό λειτουργικό σύστημα. Μερικά από αυτά, λειτουργούν με τη σύζευξη με κάποιο smartphone και παρέχουν στο χρήστη μία επιπλέον οθόνη, έτσι ώστε να τον ενημερώνουν μέσω των ειδοποιήσεων για τα εισερχόμενα μηνύματα, τις κλήσεις και τις υπομνήσεις για το ημερολόγιο πρόγραμμα. Οι κατασκευαστές συνεχίζουν να αναπτύσσουν τα προϊόντα τους και να προσθέτουν χαρακτηριστικά, όπως αδιαβροχοποίηση, παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS), συστήματα πλοήγησης, καθώς και λειτουργίες παρακολούθησης της υγείας και φυσικής δραστηριότητας. Με την προσθήκη αισθητήρων τόσο αξιόπιστων και ευαίσθητων, όπως είναι οι αισθητήρες αδρανειακής μέτρησης (IMUs), τα smartwatch είναι ικανά να αντιληφθούν και να αναλύσουν σχεδόν όλες τις χειρονομίες, όπως το κάπνισμα, το πλύσιμο των χεριών και διαφόρων άλλων δραστηριοτήτων.

(Ometon et al., 2021; Καρβουνίδου, 2018)

«Έξυπνα γυαλιά» ή Smart eyewear

Μία άλλη κατηγορία «έξυπνων» φορητών συσκευών είναι τα «έξυπνα» γυαλιά και οι «έξυπνες» μάσκες οράσεως (goggles). Διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία, όπως είναι οι οπτικές οθόνες κεφαλής (OHMD), τα Head-up displays (HUD), η Εικονική Πραγματικότητα (VR), η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), η Μεικτή Πραγματικότητα (MR) και οι «έξυπνοι» φακοί επαφής. Παρά τις διαφορές στη λειτουργικότητα και στη σχεδίαση, όλα τα «έξυπνα» γυαλιά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες. Είναι αυτά που χρειάζονται σύζευξη με κάποιο smartphone, ώστε να εμφανίσουν τα γραφικά της οθόνης και τις εικόνες από το smartphone, ενώ τα άλλα είναι αυτόνομα και χρειάζονται ενσύρματη ή ασύρματη σύνδεση με μία πηγή-συσκευή εισόδου. Οι οθόνες των «έξυπνων» γυαλιών μπορεί να είναι μονοφθαλμικές όταν πρόκειται για την εμφάνιση στοιχείων στο ένα μάτι, ή διοφθαλμικές.

Συσκευή παρακολούθησης φυσικής κατάστασης ή Fitness Tracker

Οι συσκευές παρακολούθησης φυσικής κατάστασης που είναι γνωστές και ως ιχνηλάτες σωματικής δραστηριότητας, συνήθως τοποθετούνται στον καρπό, στο στήθος ή στα αυτιά. Είναι σχεδιασμένα να εποπτεύουν και να καταγράφουν τις αθλητικές δραστηριότητες και να καταμετρούν τα δεδομένα, όπως είναι ο συνολικός αριθμός βημάτων, η ταχύτητα και η απόσταση στο τρέξιμο, η θερμοκρασία του σώματος, οι εκπνοές, ο καρδιακός ρυθμός, ακόμη και οι συνήθειες που έχει κανείς στον ύπνο. Είναι απλές και γενικά οικονομικές συσκευές που επικεντρώνονται, κυρίως στην καθημερινή παρακολούθηση δραστηριοτήτων. Ο βασικός σκοπός, μέσα από τη χρήση αυτών των συσκευών, είναι να αυξηθεί η συνολική συμμετοχή του χρήστη σε διάφορες σωματικές δραστηριότητες. Επίσης, συνίσταται ότι τα fitness trackers παρέχουν κάποιου είδους ενίσχυση (ή προαγωγή) της υγείας των χρηστών και η υιοθέτηση αυτών των συσκευών στην καθημερινότητα υπέρβαρων παιδιών θα μπορούσε να τα ωθήσει να ασκούνται περισσότερο.

«Έξυπνα» ρούχα ή Smart Clothing

Η «έξυπνη» ενδυμασία μοιάζει πολύ με τα υπόλοιπα wearables και καταγράφει τη φυσική κατάσταση του ατόμου που τα φοράει. Στην «έξυπνη» ενδυμασία συμπεριλαμβάνονται πολλά wearables, σε μία λίστα με ρούχα επαγγελματικού αθλητισμού και ενδύματα προπόνησης («έξυπνες» μπλούζες) για τους ερασιτέχνες ή το απλό αγοραστικό κοινό. Επίσης, "smart" λειτουργίες βρίσκονται στους ιμάντες στήριξης στήθους, στον ιατρικό ρουχισμό, στα ρούχα εργασίας για επαγγελματική χρήση, στις στρατιωτικές στολές, ακόμη και

στα «έξυπνα» ψηφιακά υφάσματα (e-textiles). Αυτές οι συσκευές αφορούν ιδιαιτέρως τους επαγγελματίες αθλητές, ενώ οι αθλητικές ομάδες επωφελούνται από τις εφαρμογές τους. Για την αύξηση της απόδοσης μίας ομάδας, οι συσκευές παρακολουθούν την εξέλιξη της σωματικής ικανότητας των αθλητών κατά την πορεία των προπονήσεων και προειδοποιούν για πιθανούς τραυματισμούς. Επίσης, στον επαγγελματικό τομέα, αυτές οι συσκευές είναι πολύ χρήσιμες για τους πυροσβέστες και τους ανθρώπους στα εργοτάξια.

Τα «έξυπνα» ρούχα αποτελούνται από ένα μεγάλο εύρος αντικειμένων, όπως είναι μπλούζες, κάλτσες, παντελόνια, παπούτσια, γραβάτα, κολιέ, δαχτυλίδια, κράνη και καπέλα που έχουν διάφορους αισθητήρες έως και κρυφές κάμερες.

«Έξυπνη» φορητή κάμερα ή Wearable Camera

Σε αντίθεση με τις συμβατικές κάμερες, οι wearable κάμερες είναι πιο φιλικές προς τον χρήστη και έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών. Η γοητεία αυτών των καμερών είναι ότι προσαρμόζονται εύκολα για την καταγραφή βίντεο πρώτου προσώπου (first-person) και τη φωτογράφιση σε πραγματικό χρόνο (real-time). Δύο είναι οι βασικοί τύποι των wearable καμερών. Οι μικρές που προσαρτώνται εύκολα είτε στο σώμα, είτε στα ρούχα (ή ακόμη και στο αυτί) και οι λίγο μεγαλύτερες που συνοδεύονται με εξαρτήματα στήριξης για να στερεώνονται σε καπέλα ή κράνη.

«Έξυπνη» συσκευή ιατρικής περίθαλψης ή Wearable Medical Device

Μία «έξυπνη» συσκευή ιατρικής χρήσης αποτελείται από έναν ή περισσότερους βιοαισθητήρες που καταμετρούν πολλά και διάφορα βιομετρικά-φυσιολογικά δεδομένα. Έτσι, προλαμβάνονται διάφορες παθήσεις, διευκολύνεται η θεραπεία και η αποκατάσταση γίνεται κατ' οίκον. Αυτές οι συσκευές υγειονομικής περίθαλψης ομαδοποιούνται μαζί με άλλα wearables, όπως τα καταγραφικά δραστηριότητας, τα «έξυπνα» ρολόγια, τα «έξυπνα» ρούχα, τα «έξυπνα» αυτοκόλλητα-έμπλαστρα και τελικά, όλα αυτά μαζί συγκεντρώνουν σημαντικά δεδομένα με μη επεμβατικές μεθόδους (αισθητήρες εγκατεστημένοι στη συσκευή και όχι στον άνθρωπο), για τα θέματα που αφορούν την υγεία των ασθενών.

(Ometov et al., 2021; Καρβουνίδου, 2018)

«Έξυπνα» αυτοκόλλητα-έμπλαστρα ή Smart Patches (Πίνακας 2.51)

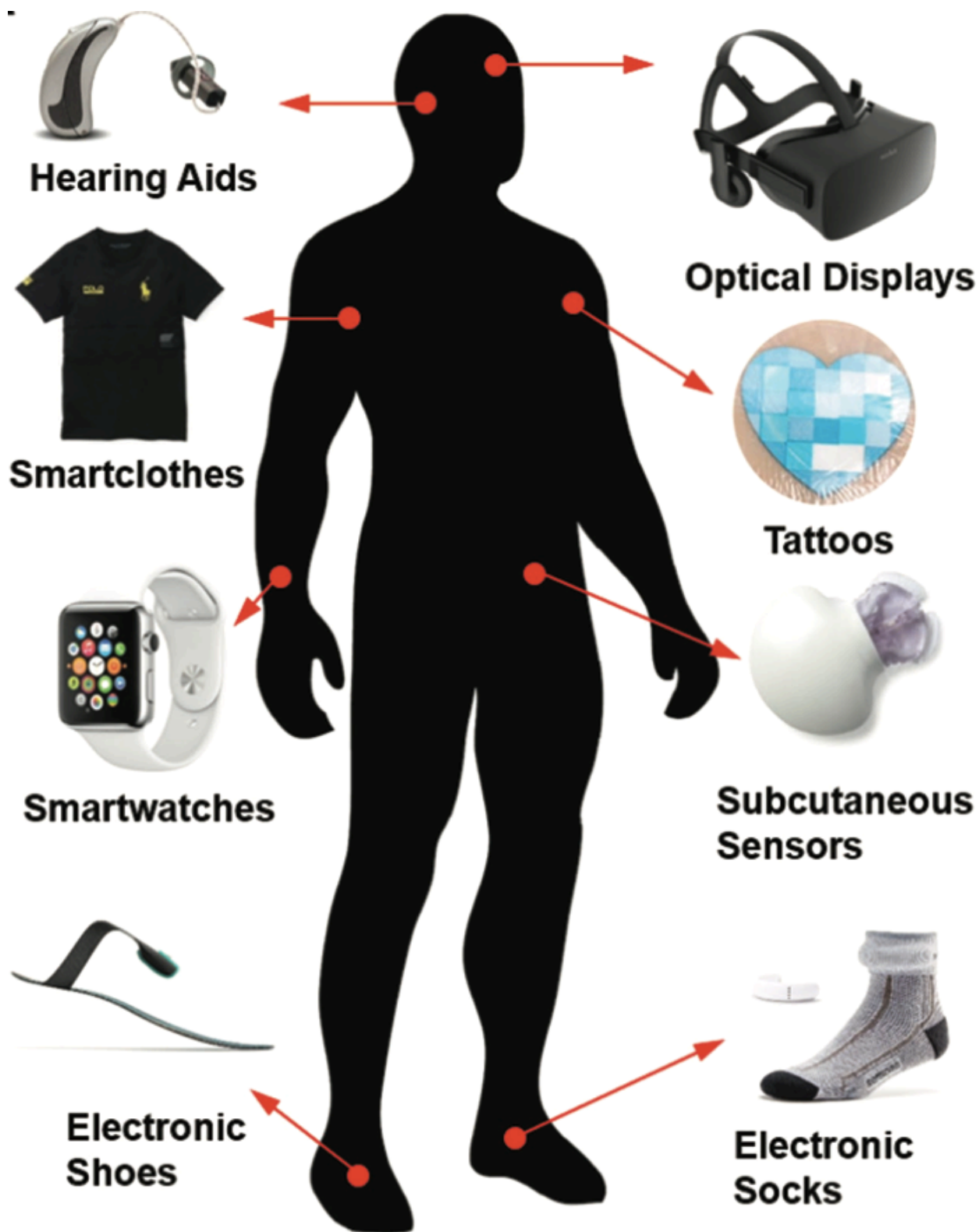
Υπάρχουν ακόμη και τα ψηφιακά έμπλαστρα (e-Skin, nano patches) και τα «έξυπνα» τατουάζ (smart tattoo) που αποτελούνται από μικροσκοπικούς βιοαισθητήρες. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υγείας συγκεκριμένων παθήσεων που είναι απαραίτητη η συνεχής αυτο-παρακολούθηση, όπως ο Σακχαρώδης Διαβήτης, ώστε να γίνεται η διαδικασία λιγότερο επίπονη. (Ometov et al., 2021)

Πίνακας 2.51

Attachable Devices		
	Monitoring	Physiological Parameters
Patch	Cardiovascular signal	Blood pressure and heart rate by measuring of ECG, BCG and pulse transit time with a thin, flexible patch
	Chemicals	Sweat volume and sweat components like hydration, glucose, lactate, pH and electrolytes
	Body temperature	Body temperature on skin
Contact lens	Chemicals	Glucose and lactate in tear fluid
Implantable and Ingestible Devices		
	Monitoring	Physiological parameters
Pace-maker	Cardiovascular signal	Heartbeat for treating arrhythmias
Tattoo	Salivary Sweat	Monitoring respiration and pathogenic bacteria detection with tooth enamel
		Lactate, glucose, alcohol and electrolytes (such as ammonium) with skin worn tattoo
Bioink	Interstitial fluid	Glucose, pH and electrolytes (such as sodium)
Smart pill	Medicine	Medicine when drug reaches stomach with patch

Πίνακας 2.51. Wearable συσκευές που προσκολλούνται ή εμφυτεύονται. Από το "Evolution of Wearable Devices with Real-Time Disease Monitoring for Personalized Healthcare", των K. Guk et al., 2019, *Nanomaterials*, 9(6). © 2019 Kyeonghye Guk et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 2.5



Εικόνα 2.5. Οι wearable συσκευές και η τοποθεσία τους επάνω στο σώμα. Από το "Wearables in Medicine", των A. K. Yetisen et al., 2018, *Advanced Materials*, 30(33). © 2018 Ali K. Yetisen et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

2.6: Οι Αισθητήρες που Χρησιμοποιούνται στις «Έξυπνες» Φορητές Συσκευές

Διάφοροι τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται στα «έξυπνα» ηλεκτρονικά συστήματα, αναλόγως με τις επιθυμητές απαιτήσεις (Πίνακας 2.6). Πολλοί κατασκευαστές σε όλο τον κόσμο, παράγουν αυτούς τους αισθητήρες για αρχάριους και επαγγελματίες. Επειδή οι αισθητήρες είναι τα βασικά συστατικά των «έξυπνων» φορητών συσκευών, παρακάτω επεξηγούνται οι λεπτομέρειες των τεσσάρων βασικών κατηγοριών τους.

Περιβαλλοντικοί αισθητήρες

Οι περιβαλλοντικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση, την παρακολούθηση και την καταγραφή των περιβαλλοντικών συνθηκών και ιδιοτήτων που επικρατούν. Οι φωτοαισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φωτός και είναι διαδεδομένοι στην επιστημονική πράξη και στα προϊόντα καθημερινής χρήσης. Όπως για παράδειγμα, οι φωτοαισθητήρες κίνησης και οι φωτοαισθητήρες περιβάλλοντος φωτισμού για την αυξομείωση του φωτός, σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Οι αισθητήρες ήχου ή τα μικρόφωνα είναι ικανά να προσδιορίζουν την ένταση του ήχου που προέρχεται από ένα περιβάλλον. Τα πιο συχνά είναι τα δυναμικά μικρόφωνα που μετρών τα επίπεδα του θορύβου στην κλίμακα decibel, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε βλάβη στο τύμπανο του ανθρώπινου αυτιού. Υπάρχουν και οι αισθητήρες υγρασίας που μετρών τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα.

Βιοαισθητήρες

Το εύρος των εφαρμογών των βιοαισθητήρων έχει επεκταθεί, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης στον τομέα της παρακολούθησης της υγείας. Αυτοί οι αισθητήρες δίνουν τη δυνατότητα στους ανθρώπους να έχουν επίγνωση της κατάστασης της υγείας τους, ανά πάσα ώρα και στιγμή. Επίσης, χρησιμοποιούνται από τους επαγγελματίες υγείας για την έγκαιρη διάγνωση και πρόληψη διαφόρων παθήσεων. Παραδείγματα είναι για τη θερμοκρασία του σώματος, την παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού, το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG), τον κορεσμό σε οξυγόνο στο αίμα (οξυμετρία), την πίεση του αίματος (αρτηριακή πίεση), ακόμη και για τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (γλυκαιμικός έλεγχος).

(Mardonova & Choi, 2018)

Αισθητήρες εντοπισμού τοποθεσίας

Οι αισθητήρες εντοπισμού τοποθεσίας (π.χ. GPS, αλτίμετρο, μαγνητόμετρο, πυξίδα, επιταχυνσιόμετρο) είναι οι πιο γνωστοί τύποι αισθητήρων στις «έξυπνες» φορητές συσκευές. Ένα GPS είναι ένας τριαξονικός αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την πλοήγηση στο χώρο. Μπορεί να προσδιορίζει την τοποθεσία (συντεταγμένες), το υψόμετρο και την ταχύτητα κάθε στιγμή, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Τα GPS είναι ακατάλληλα για εσωτερική χρήση, καθώς τα σήματα που λαμβάνουν δεν φτάνουν εντός των κτιρίων. Μία πυξίδα είναι ένα απλό μαγνητόμετρο που προσδιορίζει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της Γης. Τα επιταχυνσιόμετρα είναι διαθέσιμα σε μονό-, δι-, τρι-, ή και έξι-αξονικά. Η εφαρμογή τους βρίσκεται σε θέματα ασφάλειας, όπως η ανίχνευση πτώσης και σε θέματα ευεξίας, όπως η καταμέτρηση βημάτων και της ταχύτητας βάδισης.

Υπόλοιποι αισθητήρες

Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν διάφοροι ανιχνευτές και αισθητήρες που κυκλοφορούν στην αγορά και υπάρχουν εγκατεστημένοι στις περισσότερες από τις σύγχρονες «έξυπνες» φορητές συσκευές. Στις wearable κάμερες και στα «έξυπνα» γυαλιά υπάρχουν ενσωματωμένοι οι αισθητήρες της κάμερας ή των καμερών (αν έχουν περισσότερες από μία κάμερες). Οι αισθητήρες των μονάδων επικοινωνίας (π.χ. Bluetooth, RFID (Radio-Frequency Identification), NFC (Near-Field Communication), Wi-Fi, κλπ.) χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων και παρέχουν πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των «έξυπνων» φορητών συσκευών. Άλλοι αισθητήρες είναι αυτοί της κίνησης, της ταχύτητας και της αδρανειακής μέτρησης.

Μια μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU) (Εικόνα 2.6) είναι μία σύνθετη ηλεκτρονική συσκευή που μετράει την ειδική δύναμη του σώματος, το ρυθμό μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας, ακόμη και τον προσανατολισμό του σώματος, συνδυάζοντας επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια και μαγνητόμετρα. Τα πιο γνωστά επιταχυνσιόμετρα είναι κάποιοι αισθητήρες (Accelerometer Sensors), οι οποίοι μετρούν την επιτάχυνση σωμάτων ή αντικειμένων, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Παρέχουν βασικές μετρήσεις βημάτων και κινήσεων για την ποσοτική εκτίμηση της σωματικής δραστηριότητας. Αυτά τα δεδομένα συσχετίζονται με τον ανάλογο χρόνο που διανύεται. Έτσι, υπολογίζεται η ταχύτητα και μετατόπιση. Επίσης, τα τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα ανιχνεύουν κινήσεις και στάσεις που εκτελούνται γύρω από τους άξονες αναφοράς, καθώς και το μέγεθος του σήματος επιτάχυνσης. Τα γυροσκόπια (Gyroscopes) είναι ένας άλλος τύπος αισθητήρα που μετρά τον προσανατολισμό με βάση τις αρχές της περιστροφικής κίνησης. Ένας περιστρεφόμενος μηχανισμός τείνει να διατηρεί τον προσανατολισμό του και να υπολογίζει τις μεταβολές του προσανατολισμού, λαμβάνοντας

υπόψη την γωνιακή ταχύτητα. Τέλος, αισθητήρες υπέρηχων και υπέρυθρων χρησιμοποιούνται ως εξαρτήματα των ηλεκτρονικών τμημάτων που απαρτίζουν τις wearable συσκευές.

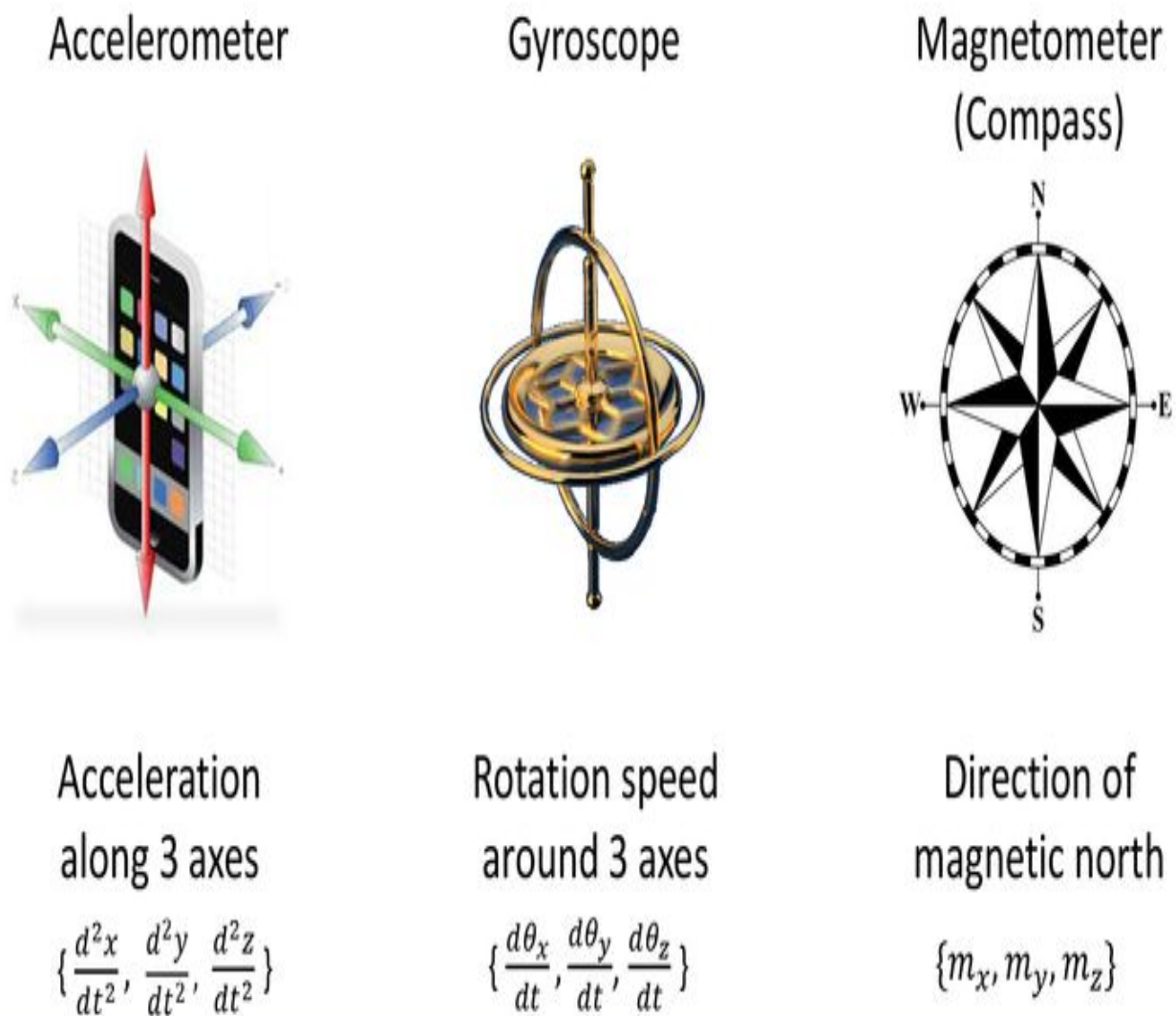
(Mardonova & Choi, 2018)

Πίνακας 2.6

Τύπος Βιολογικού Σήματος	Περιγραφή των μετρήσεων
Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG)	Η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς
Πίεση αίματος (συστολική και διαστολική)	Η δύναμη που ασκείται από το αίμα (της κυκλοφορίας) στα τοιχώματα των αγγείων αίματος
Θερμοκρασία σώματος ή/και δέρματος	Η ικανότητα του σώματος να παράγει και να απελευθερώνει θερμότητα
Αναπνευστικός ρυθμός	Ο αριθμός εισπνοών και εκπνοών στη μονάδα του χρόνου
Κορεσμός οξυγόνου	Η ποσότητα οξυγόνου στα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος
Καρδιακός ρυθμός	Η συχνότητα του καρδιακού κύκλου
Εφίδρωση ή αγωγιμότητα δέρματος	Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος που σχετίζεται με τους αδένες εφίδρωσης
Ηλεκτρομυογράφημα (EMG)	Η ηλεκτρική δραστηριότητα των σκελετικών μυών
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)	Η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου
Κίνηση σώματος	Η μέτρηση της δύναμης επιτάχυνσης

Πίνακας 2.6. Τα είδη των βιολογικών σημάτων και οι μετρήσεις που κάνουν οι αισθητήρες. Από το "A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis", των A. Pantelopoulou και N. G. Bourbakis, 2010, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 40(1). © 2010 IEEE. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

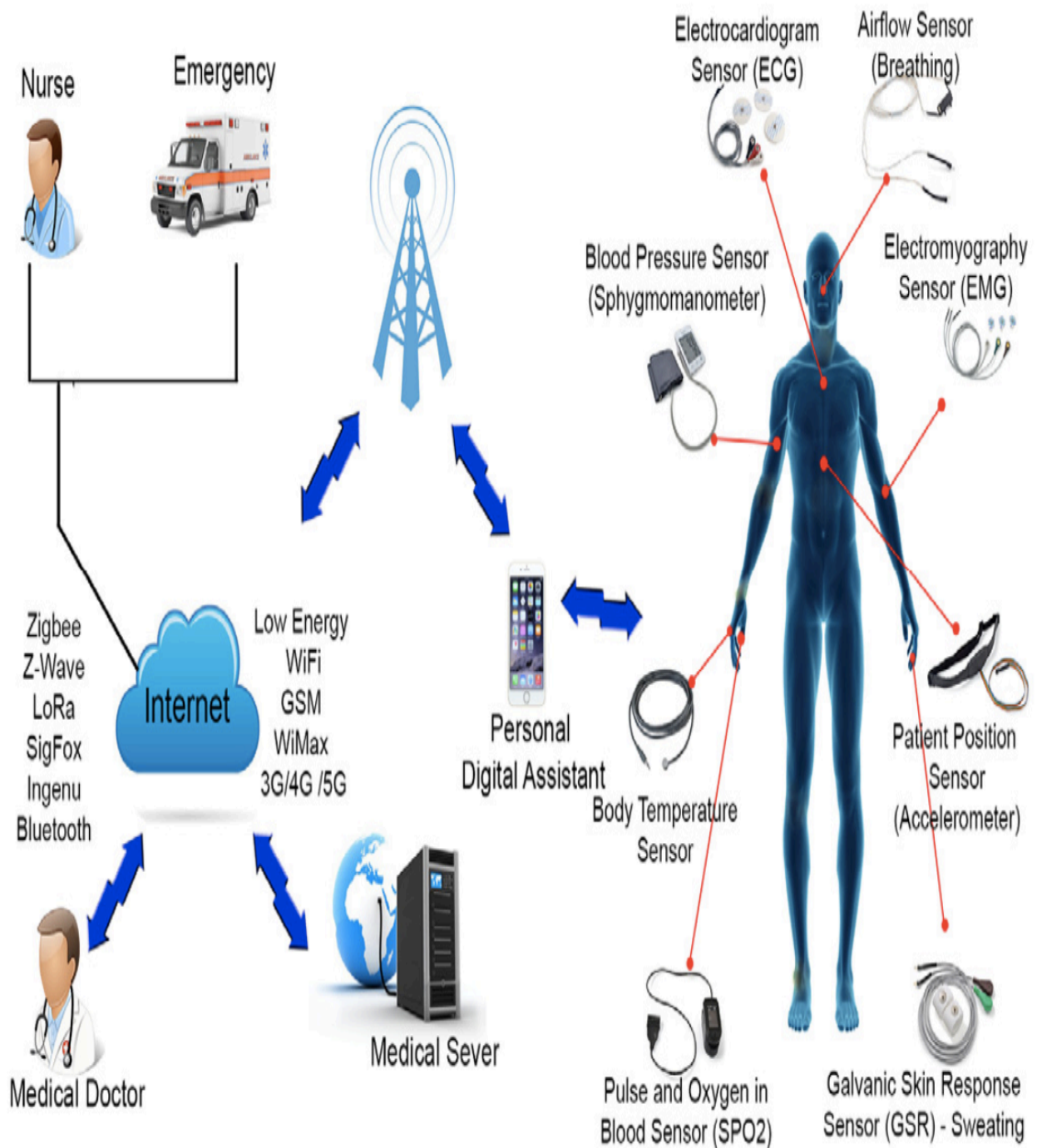
IMU (Inertial Measurement Unit)



Εικόνα 2.6. Οι εννέα άξονες των επιμέρους συστατικών ενός σύνθετου συστήματος αδρανειακής μέτρησης. Από το "Inertial Measurement Unit (IMU) Basics" στο *SlidePlayer*, του P. Sims, 2019. Ανακτήθηκε 18 Ιανουαρίου, 2022, από <https://slideplayer.com/slide/14589795/90/images/2/IMU+%28Inertial+Measurement+Unit%29.jpg>. © 2019 Percival Sims. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

2.7: Προαγωγή της Υγείας με τις «Έξυπνες» Φορητές Συσκευές

Εικόνα 2.7



Εικόνα 2.7. Ένα οργανωμένο σύστημα για την απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας μέσω της χρήσης αισθητήρων «έξυπνης» φορητής τεχνολογίας. Από το "Enabling Technologies for the Internet of Health Things", των J.J.P.C. Rodrigues et al., 2018, *IEEE Access*, 6. © 2021 IEEE. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Οι «έξυπνες» φορητές τεχνολογίες είναι καινοτόμες λύσεις για τα προβλήματα υγείας. Ορισμένες εφαρμογές της wearable τεχνολογίας αποσκοπούν στην πρόληψη ασθενειών και τη διαχείριση της υγείας, όπως είναι ο έλεγχος του σωματικού βάρους στην κατάσταση της Παχυσαρκίας και η παρακολούθηση της σωματικής δραστηριότητας στην περίπτωση της καθιστικής ζωής. Ακόμη, θα μπορούσαν να επηρεάζουν άμεσα τη λήψη κλινικών αποφάσεων (Εικόνα 2.7). Υπάρχει η πεποίθηση ότι οι «έξυπνες» φορητές συσκευές τεχνολογίας, θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ποιότητα της περίθαλψης των ασθενών, μειώνοντας παράλληλα το κόστος της περίθαλψης, όπως και την αποκατάσταση των ασθενών στη φροντίδα μετά του νοσοκομείου. Τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) που δημιουργούνται από τις φορητές συσκευές, αποτελούν πρόκληση και ευκαιρία για τους επιστήμονες, οι οποίοι μπορούν να εφαρμόσουν σύγχρονες τεχνικές και αλγορίθμους Τεχνητής Νοημοσύνης. Τεχνητή Νοημοσύνη (Α.Ι.) είναι μια συλλογή τεχνολογιών και συστημάτων, ικανών να «αισθανθούν το περιβάλλον τους, να σκεφτούν, να μάθουν και να αναλάβουν δράση ως απάντηση σε αυτό που αισθάνονται». Το Internet of Things (IoT) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων, ενώ το Α.Ι. είναι υπεύθυνο για την ανάλυση της αυξανόμενης ποσότητας δεδομένων και τη λήψη μέτρων με βάση αυτά που μαθαίνει από τα δεδομένα. (Καρβούνης, 2020)

Εφαρμογές στην προώθηση της υγείας του ατόμου

Οι «έξυπνοι» φορητοί αισθητήρες και οι συσκευές βρίσκουν εφαρμογή σε όλα τα στάδια της υγειονομικής περίθαλψης, συμπεριλαμβανομένων της πρόληψης, της άμεσης φροντίδας, της αποκατάστασης και της μακροπρόθεσμης υποστήριξης. Εάν είναι δυνατό να ανακαλυφθεί ένας σύνδεσμος μεταξύ μίας μη επεμβατικής μεθόδου βιοχημικής ανάλυσης και μίας αντίστοιχης επεμβατικής και συνάμα εγκεκριμένης μεθόδου, τότε θα προχωρούσε πολύ η βιομηχανία στην υγειονομική περίθαλψη, με νέες κατασκευές επαγγελματικών συσκευών.

Στο Σακχαρώδη Διαβήτη που είναι μία χρόνια πάθηση και είναι απαραίτητη προϋπόθεση η καλή ρύθμιση με τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα, έχουν ανακαλυφθεί συσκευές που κάνουν τη συνεχή καταγραφή επιπέδων σακχάρου.

Οι «έξυπνοι» φορητοί αισθητήρες είναι ικανοί να βελτιώσουν την ποιότητα της ζωής και τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Οι μεγαλύτεροι τομείς ανάπτυξης της wearable τεχνολογίας στον κλάδο της υγείας συνοψίζονται στον Πίνακα 2.7 και είναι στις Διαταραχές Ύπνου, στην Παχυσαρκία, στις Καρδιαγγειακές Παθήσεις, στην Ενδο-νοσοκομειακή παρακολούθηση, στη Γηριατρική (αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης), στο Άσθμα, στο Αλτσχάιμερ, στην Επιληψία και στη Διακοπή Καπνίσματος. (Coyle et al., 2014)

Στη δημοσίευση των Hickey & Freedson (2016) παρουσιάζονται μερικά εμπορικά Fitness Trackers, των οποίων τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες χρησιμοποιούνται ως εργαλεία παρέμβασης για την πρόληψη και θεραπεία των Καρδιαγγειακών Παθήσεων. Η μελέτη αυτή πρόκειται για μία ανασκόπηση των Hickey & Freedson (2016), επάνω σε άλλες μελέτες στον τομέα της προαγωγής της υγείας και των καρδιαγγειακών παθήσεων, με την ενσωμάτωση εμπορικών wearable συσκευών.

Εφαρμογές στη βελτιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης

Η τεχνολογία παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης. Είναι σημαντική ακόμη και η παραμικρή λεπτομέρεια, όπως για παράδειγμα τα αθλητικά ρούχα που φοράει ένας αθλητής, να είναι από εξειδικευμένα υφάσματα με μικροΐνες που θα μπορούσαν να ενσωματώνουν και «έξυπνους» φορητούς αισθητήρες.

Η παρακολούθηση διάφορων φυσιολογικών λειτουργιών βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση του ανθρώπινου σώματος και στην απόκριση κατά την εκτέλεση διαφόρων αθλημάτων. Πολύ σημαντικός παράγοντας στις παρατεταμένες προπονήσεις είναι το γαλακτικό οξύ. Υπάρχουν «έξυπνες» φορητές συσκευές που είναι ικανές να το μετρήσουν, αλλά είναι μία επεμβατική μέθοδος (με δείγματα από τη λήψη αίματος). Θα ήταν πολύ πιο χρήσιμο εάν η μέτρηση του γαλακτικού οξέως γινόταν με μία μη επεμβατική μέθοδο. Αυτό είναι ακόμη υπό διερεύνηση καθώς είναι πολύ δύσκολη η καθιέρωση μίας έγκυρης μεθόδου.

Η ανάλυση του ιδρώτα σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση αθλητικών ασκήσεων, δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τα επίπεδα αφυδάτωσης του σώματος και τις αλλαγές σε διάφορα ιόντα και ηλεκτρολύτες.

(Coyle et al., 2014)

Εφαρμογές στην προστασία και ασφάλεια του ατόμου

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στις οποίες η ασφάλεια του ατόμου διακυβεύεται και θα μπορούσε να υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη μέσω της χρήσης κάποιας «έξυπνης» φορητής συσκευής. Αυτή η συσκευή θα παρακολουθούσε τους εξωτερικούς κινδύνους που υπάρχουν σε κάποια επαγγέλματα υψηλού κινδύνου, όπως στους εργάτες εργοταξίων, πυροσβέστες και στρατιωτικούς. Έτσι, είναι βασικό να είναι εργονομική και ελαφριά στη χρήση της, καθώς οι δουλειές αυτές είναι πολύ απαιτητικές από τη φύση τους και θα πρέπει να πλήρως λειτουργικές.

(Coyle et al., 2014)

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την περιληπτική συστηματική ανασκόπηση των Lu et al. (2020), αναφέρονται αναλυτικά όλοι οι τομείς της υγείας στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή και χρησιμοποιούνται οι «έξυπνες» φορητές συσκευές (clinical/medical grade wearables). Συμπερασματικά, τα wearables ιατρικού/κλινικού επιπέδου αξιοποιούνται σε επιδημιολογικές μελέτες και στην εφαρμογή στρατηγικών για την υγεία σε εθνικό επίπεδο, στην προληπτική ιατρική, στη διαρκή παρακολούθηση της υγείας και ασφάλειας των ατόμων (νεογέννητα, εγκυμονούσες, ασθενείς και ηλικιωμένοι). Αξιοποιούνται στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων, όπως οι Καρδιαγγειακές Παθήσεις, οι Πνευμονοπάθειες (π.χ. Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια), ο Σακχαρώδης Διαβήτης, η Υπέρταση. Η χρήση τους εκτείνεται στη διάγνωση και θεραπεία παθήσεων, όπως οι Νευρολογικές Διαταραχές, Αναπνευστικές Διαταραχές (π.χ. Υπνική Άπνοια), οι Νεφρικές Ουρολογικές Παθήσεις με κάποιου είδους τεχνητό wearable νεφρό. Υψηλής σημασίας αποτελεί ο ρόλος των wearables στην αθλητική αποκατάσταση (π.χ. μυοσκελετικοί τραυματισμοί), στη γνωσιακή αποκατάσταση (π.χ. επαναφορά μνήμης με τη χρήση τεχνικών Εικονικής Πραγματικότητας) και στην αποκατάσταση ανθρώπων με ανικανότητα όρασης, ακοής, κίνησης.

Πίνακας 2.7

Disease	Monitoring	Product Category	Commercial Product
Metabolic disorder	Glucose Hydration	Wrist band/watch Ear appliance Patch Wrist band/watch	GlucoWatch G2 Biographer [24] Gluco Track Symphony Freestyle Libre Dexcom Patches LVL
Mosquito-borne diseases	Temperature Sweat patterns	Smart jewelry	TermoTell bracelet
Skin disease & UV related disease	Level of UV	Smart patch Smart jewelry	MyUV Patch Netatmo JUNE
Respiratory diseases	Audio signal, heart rate, accelerations Cardiac electrical activity (ECG)	Wrist band/watch Smart patch	LG Watch Urbane W150 Moto 360 2nd Generation Savvy patch ECG sensor [116] XYZlife Patch BC1
Skeletal system diseases	Movement postural variation gait	Smart shoes	CUR Smart Pain Relief Valedo Lumo Lift
Sleep or stress related disease	Heart rate variability, Heart rate	Wrist watch/band Smart jewelry Patch	Airo Health;s anxiety tracker Oura ring [46] Motiv ring [47] Go2Sleep Kenzen Patch [117] Vital Scout
Cognitive disorder	GPS	Wrist band/watch	VegaGPSbracelet
Cardiovascular disease	Heart rate Pulse rate	Wrist watch/band	HEM serieses of OMRON
Fitness tracking	Heart rate, Calories burned, activity level Heart rate, Heart rate variability, Body temperature	Smart jewelry Ear appliance	Ear-o-smart [48] Cosinuss' One

Πίνακας 2.7. «Έξυπνες» φορητές συσκευές και οι ασθένειες στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή. Από το "Evolution of Wearable Devices with Real-Time Disease Monitoring for Personalized Healthcare", των K. Guk et al., 2019, *Nanomaterials*, 9(6). © 2019 Kyeonghye Guk et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΟΥ ΔΙΑΘΕΤΟΥΝ ΟΙ «ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

3.1: Βασικές Μέθοδοι Ανίχνευσης Κινήσεων

1. Βηματομετρία

Η βηματομετρία είναι μία διαδεδομένη μέθοδος που ανιχνεύει κινήσεις και είναι εύχρηστη. Στη βηματομετρία καταγράφονται τα βήματα που γίνονται κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων, όπως το περπάτημα ή το τρέξιμο, και έχει επικρατήσει σε διάφορες «έξυπνες» φορητές συσκευές που προτιμάει το αγοραστικό κοινό. Το 1965 η Ιαπωνική εταιρεία "Y. Hatano" που παρασκεύαζε βηματόμετρα, επινόησε την ιδέα ότι ο αριθμός των δέκα χιλιάδων (10,000) βημάτων είναι ένας επιθυμητός στόχος καθημερινά για να περπατούν οι άνθρωποι. Είναι άγνωστο πως προέκυψε αυτός ο αριθμός, αλλά έχει αποκτήσει μεγάλη αποδοχή από το ευρύτερο κοινό και συνεχίζει να χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, για την παρακίνηση διαφόρων ασθενών. (Stackpool, 2013)

Πίνακας 3.1

Physical activity level	Steps per day
Sedentary or inactive lifestyle	<5000
Low active	5000–7499
Somewhat active	7500–9999
Active	10,000–12,500
Highly active	>12,500

Πίνακας 3.1. Τα επίπεδα φυσικής σωματικής δραστηριότητας σύμφωνα με τα συνολικά ημερήσια βήματα. Από το "Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure: An Overview of Objective Measures", των A.P. Hills et al., 2014, *Frontiers in Nutrition*, 1(5).
© 2022 Frontiers Media S.A. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η διαβάθμιση των επιπέδων φυσικής δραστηριότητας (Πίνακας 3.1), σύμφωνα με τα συνολικά ημερήσια βήματα, προήλθε από τους Tudor-Locke και Bassett. Αυτοί οι ερευνητές κατανόησαν ότι τα βηματόμετρα δεν έχουν τη δυνατότητα να μετρούν την ένταση των ασκήσεων. Επομένως, κατέταξαν την κατηγορία που είναι στο σύνολο λιγότερα από 5,000 βήματα ανά ημέρα, ως έναν καθιστικό ή καθόλου δραστήριο τρόπο ζωής. Εάν τα συνολικά ημερήσια βήματα είναι 5,000 έως 7,499 (χωρίς την εκτέλεση κάποιου είδους άσκησης ή αθλήματος), τότε θεωρείται χαμηλού επιπέδου η δραστηριότητα της καθημερινότητας ενός ατόμου. Αντίστοιχα, ο αριθμός βημάτων 7,500 έως 9,999 θεωρείται σχεδόν δραστήριου επιπέδου, ο αριθμός 10,000 έως 12,500 είναι ικανοποιητικά δραστήριου επιπέδου και ο αριθμός που ξεπερνάει τα 12,500 βήματα ημερησίως θεωρείται πολύ υψηλής δραστηριότητας.

(Stackpool, 2013)

Ένας μεγάλος αριθμός βηματομετρητών υπάρχει διαθέσιμος και αυξάνεται συνεχώς. Οι συσκευές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ως προς τη λειτουργία και την αξιοπιστία. Κάποιες αντικειμενικές αξιολογήσεις στους βηματομετρητές, επαλήθευσαν τα μειονεκτήματα στην ακρίβεια των μετρήσεων. Για παράδειγμα, οι βηματομετρητές μετράνε συνήθως λανθασμένα τα βήματα σε χαμηλές ταχύτητες (π.χ. < 60 m /min), έκτοτε ίσως να είναι ακατάλληλα εργαλεία για την καταγραφή βημάτων σε ανθρώπους μεγαλύτερης ηλικίας. Οι ενδείξεις των βηματομετρητών μπορεί να διαφέρουν, σύμφωνα με το μέρος του σώματος στο οποίο φοριούνται.

Σημαντικό ρόλο παίζει και το χτύπημα του ποδιού κατά την προσγείωση στο έδαφος, καθώς εξαρτάται από το μέρος του σώματος στο οποίο φοριέται και θα μπορούσε να καταγραφεί λανθασμένα ο αριθμός των βημάτων από τον πραγματικό. Ίσως να οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στο χτύπημα του αριστερού και δεξιού ποδιού. Διαφορές εντοπίζονται και ενδιάμεσα σε άτομα με διαφορετικό ύψος και μήκος ποδιών, επειδή αλλάζει ο διασκελισμός και η ταχύτητα βάδισης.

Εάν ένα άτομο περπατάει πιο γρήγορα από το συνηθισμένο ρυθμό βάδισης, ένας βηματομετρητής ίσως να μετρήσει λανθασμένα τη συνολική απόσταση που διανύθηκε. Επίσης, ίσως να υπολογίζεται λανθασμένα η απόσταση όταν το περπάτημα γίνεται με αργότερο ρυθμό από τον συνηθισμένο. Ακόμη και με κάποια απλή δόνηση του βηματομετρητή θα γίνει καταγραφή ως αριθμός βημάτων που εκτελέστηκαν.

(Hills et al., 2014)

2. Επιταχυνσιομετρία

Η επιταχυνσιομετρία βασίζεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα προκαλεί την αλλαγή της θέσης του σώματος, σε σχέση με το χρόνο. Η επιτάχυνση είναι η μεταβολή στο μέτρο ή την κατεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας ενός σώματος, σε σχέση με το χρόνο.

Η επιτάχυνση συνήθως μετράται με την επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία είναι 1 g ή 9.8 m/s^2) και είναι σταθερά. Όταν η επιτάχυνση είναι μηδέν, τότε δεν αλλάζει η ταχύτητα. Ωστόσο, η κίνηση μπορεί να συνεχίζει και να είναι στην ίδια σταθερή ταχύτητα. Επειδή η επιτάχυνση είναι ανάλογη με την καθαρή εξωτερική δύναμη που εφαρμόζεται, τότε αυτή αντανakλά την ενεργειακή δαπάνη της κίνησης που εκτελείται.

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι αισθητήρες κίνησης που ανιχνεύουν την επιτάχυνση του σώματος. Η επιτάχυνση ορίζεται ως η αλλαγή στην ταχύτητα ενός δεδομένου χρόνου και αυτό σημαίνει ότι με αυτόν τον τρόπο γίνεται να αξιολογηθεί η συχνότητα, η ένταση και η διάρκεια της σωματικής δραστηριότητας ως λειτουργίες της σωματικής κίνησης.

Τα επιταχυνσιόμετρα αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικούς μεταδότες που ενεργοποιούνται από δυνάμεις επιτάχυνσης. Αυτό οδηγεί στην παραγωγή ενός ηλεκτρικού σήματος και μεταγενέστερα, μετατρέπεται από κάποιες μονάδες επεξεργασίας στη σηματοδότηση εκτέλεσης της κίνησης. Επομένως, η επιταχυνσιομετρία επιτρέπει την εκτίμηση της έντασης και της διάρκειας της κίνησης, καθώς επίσης και τη σχέση μεταξύ των μετρήσεων των επιταχυνσιόμετρων και της ενεργειακής δαπάνης που υπολογίζεται από τη φυσική δραστηριότητα και την έντασή της. Ο ρυθμός και η ένταση των κινήσεων γίνονται αντιληπτά από τους πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες που ανιχνεύουν της επιτάχυνση σε ένα επίπεδο (μονοαξονικοί), σε δύο επίπεδα (διαξονικοί) ή σε τρία επίπεδα (τριαξονικοί) και αντιπροσωπεύουν τις διευθύνσεις κάθετα, εμπρός-πίσω και μεσοπλευρικά. Είναι, λοιπόν, περισσότερο εξελιγμένα μηχανήματα από τους απλούς βηματομετρητές.

Η μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας επάνω στην επιταχυνσιομετρία, σημαίνει ότι αυτή η μέθοδος έχει γίνει δημοφιλής και προσβάσιμη και ίσως, να είναι η πλέον προτιμότερη τεχνολογική προσέγγιση για την εκτίμηση της φυσικής δραστηριότητας και της ενεργειακής δαπάνης.

Τα επιταχυνσιόμετρα έχουν χαμηλή ευαισθησία στις καθιστικές δραστηριότητες και είναι ανέφικτο να καταχωρίσουν τις στατικές ασκήσεις. Αυτό σημαίνει ότι γίνονται λάθη στις μετρήσεις της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Δαπάνης, επειδή η επιταχυνσιομετρία δεν έχει ευαισθησία προς τις κινήσεις που δεν συμβαίνει μεταφορά του κέντρου βάρους ενός σώματος, με κάποιο ρυθμό που δεν συμπίπτει με την ενέργεια που δαπανήθηκε.

(Hills et al., 2014)

3. Παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού

Η εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης και η ποσοτικοποίηση της Φυσικής Δραστηριότητας μέσω της καταγραφής του καρδιακού ρυθμού, είναι μία μέθοδος πλέον γνωστή, πρακτικότερη, σχετικά χαμηλού κόστους, μη παρεμβατική και με τη δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων. Είναι μία από τις μεθόδους αναφοράς, όπως η βηματομετρία και η επιταχυνσιομετρία. Η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού «λεπτό προς λεπτό», επιτρέπει την εξαγωγή πληροφοριών όπως η ένταση, η διάρκεια και η ένταση της φυσικής δραστηριότητας κατά την ελεύθερη διαβίωση (free-living).

(Hills et al., 2014)

4. Συνδυασμένη προσέγγιση

Επειδή όλες οι τεχνικές έχουν προτερήματα και μειονεκτήματα στην αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση της φυσικής δραστηριότητας κατά τις συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης, συνίσταται η χρήση πολλαπλών συμπληρωματικών μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, μία πιθανή προσέγγιση που είναι δυνατό να υπολογίζει την ποσότητα της ενεργειακής δαπάνης, είναι με την ταυτόχρονη εφαρμογή της επιταχυνσιομετρίας και της παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού. Η λογική για το συνδυασμό αυτών των τεχνικών, βασίζεται στο ότι οι μετρήσεις που γίνονται από την επιταχυνσιομετρία, μπορούν να επαληθευτούν από την αύξηση του καρδιακού ρυθμού που προκαλεί κάποια πράξη ή φυσική δραστηριότητα. Η ακρίβεια στις μετρήσεις αυτές επηρεάζεται από την ηλικία, το φύλο, το επίπεδο προπόνησης, τη θερμοκρασία κλπ. Επίσης, υπάρχουν περιορισμοί και σε αυτή τη μέθοδο, όπως η αδυναμία της συσκευής να υπολογίζει το επιπλέον φορτίο (πρόσθετα κιλά) που κουβαλάει ο χρήστης, και τις αλλαγές στην επιφάνεια του επιπέδου, όταν αυτό είναι επικλινές. Το γεγονός ότι αυτές οι δύο μέθοδοι είναι τελείως διαφορετικές και οι περιορισμοί διαφέρουν, αυτό θα μπορούσε να είναι η χρυσή τομή για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης.

(Hills et al., 2014)

3.2.1: Οπτικοί Αισθητήρες Καρδιακής Συχνότητας

Οι οπτικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση της καρδιακής λειτουργίας, βασίζονται σε μία τεχνολογία που ονομάζεται Φωτοπληθυσμογραφία και δίνει στον τομέα της Υγείας τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης της υγείας του ατόμου, σε καθημερινό ολόημερο επίπεδο. Βρίσκονται ενσωματωμένοι μέσα στις «έξυπνες» φορητές συσκευές που φοριούνται στον καρπό, ή στον βραχίονα, ή σε κάποια ζώνη στήθους καρδιακών παλμών. Είναι ικανοί να μετράν με ακρίβεια την καρδιακή συχνότητα, κάνοντας εκτίμηση της αρτηριακής παλμικότητας (arterial pulsatility) των τριχοειδών αγγείων του δέρματος.

Η καρδιά είναι ο μυς που ευθύνεται για την προώθηση του αίματος σε όλα τα αγγεία του κυκλοφορικού συστήματος, δηλαδή στις αρτηρίες και τις φλέβες. Ο ρυθμός με τον οποίο χτυπάει η καρδιά, ρυθμίζεται κυρίως από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Αυτό το σύστημα αποτελείται από τις λειτουργίες του συμπαθητικού και του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος. Το συμπαθητικό είναι υπεύθυνο για την αύξηση της καρδιακής συχνότητας, ενώ το παρασυμπαθητικό φροντίζει για τη συντήρηση του σώματος, κατά την ξεκούραση που μειώνεται ο καρδιακός ρυθμός.

Αυτή η αυτόνομη διαμόρφωση του καρδιακού ρυθμού μπορεί να αλλάξει από την κατάσταση της υγείας ενός ατόμου, τις συνθήκες προπόνησης και καταπόνησης, τις στρεσογόνες καταστάσεις, τις καρδιακές δυσλειτουργίες και πολλά άλλα. Επομένως, η ανάλυση της καρδιακής συχνότητας και της μεταβλητότητας (Heart Rate Variability), παρέχουν ποσοτικές πληροφορίες για την εκτίμηση της κατάστασης της υγείας και των διαφόρων παθήσεων ενός ατόμου, για την βελτίωση της απόδοσης στις προπονήσεις ενός αθλητή, ή για τη διάγνωση άλλων σημαντικών ασθενειών.

Η Ηλεκτροκαρδιογραφία (ΗΚΓ) είναι μία τεχνική που στοχεύει στην καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς και αποτελεί την gold-standard τεχνική που εφαρμόζεται για τη μέτρηση και παρακολούθηση της καρδιακής συχνότητας. Εν συντομία, ο κύκλος συστολής και διαστολής της καρδιάς, σχετίζεται με διαστήματα ηλεκτρικής αποπόλωσης και επαναπόλωσης. Έτσι, προκαλούνται τοπικά ηλεκτρικά δίπολα, τα οποία παράγουν ηλεκτρικό δυναμικό επιφάνειας. Οι ηλεκτροκαρδιογράφοι μετράν αυτό το δυναμικό που παρατηρείται σε συγκεκριμένες περιοχές του θώρακα. Τα κενά μεταξύ κάθε αποπόλωσης και επαναπόλωσης δημιουργούν τα τυπικά PQRST κύματα που χαρακτηρίζουν το ηλεκτροκαρδιογράφημα (Εικόνα 3.2).

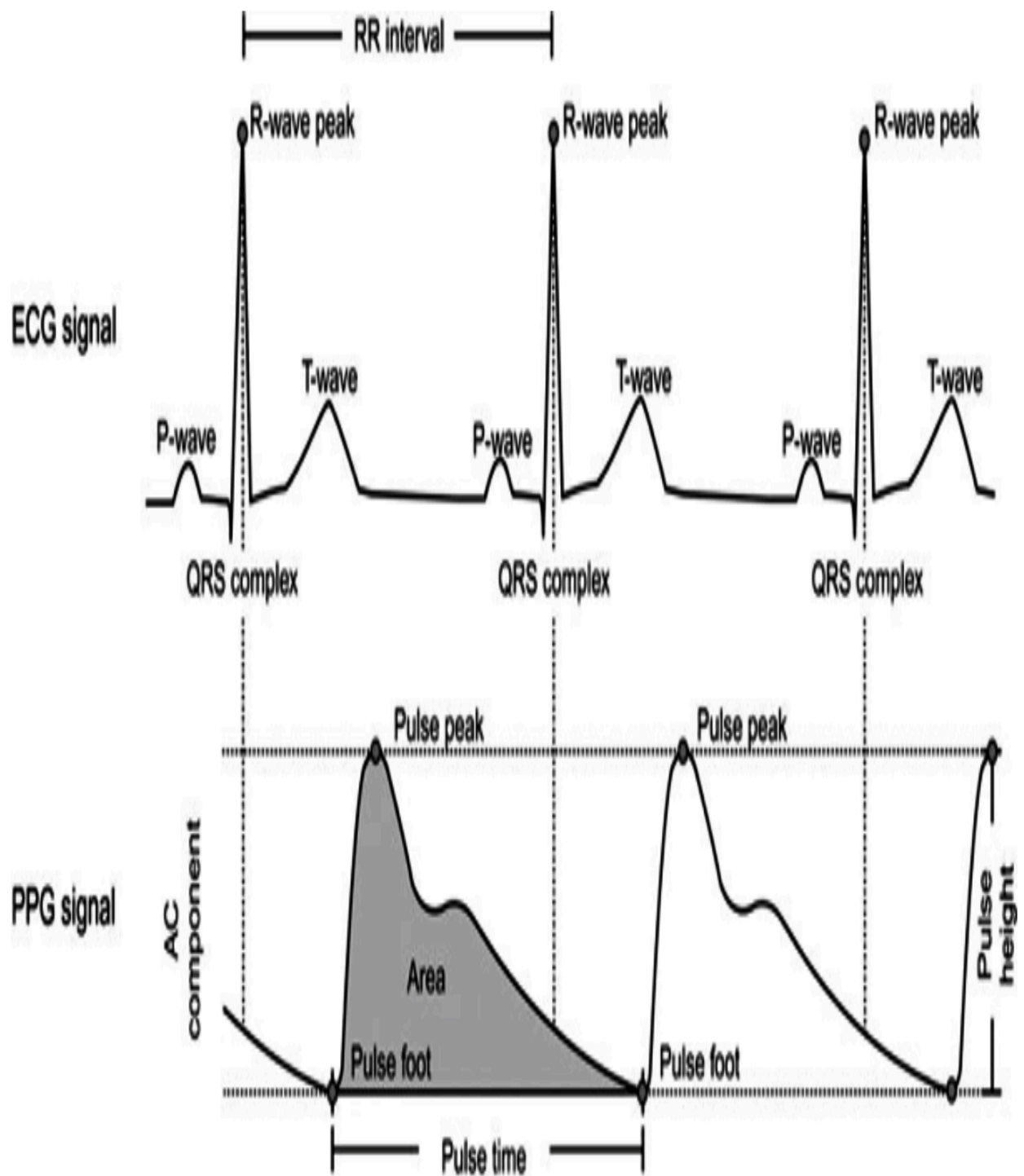
(Lemay et al., 2014)

Οι καρδιακοί παλμοί συνήθως εκφράζονται σε χτύπους ανά λεπτό (BPM). Οι μετρήσεις προέρχονται από τα μεσοδιαστήματα των αλληπάλληλων καρδιακών χτύπων που εκφράζονται ως मिलिदेउतेरुलेपुता (millisecond) για τη μέτρηση των ΗΚΓ. Στα ΗΚΓ, τα μεσοδιαστήματα των καρδιακών χτύπων, ορίζονται ως η χρονική καθυστέρηση ενδιάμεσα σε δύο συνεχείς καρδιακούς χτύπους. Μετράται ως η χρονική καθυστέρηση δύο κορυφών των R-κυμάτων και αναφέρονται κοινώς ως RR μεσοδιαστήματα (Εικόνα 3.2). Αυτές οι κορυφές των R-κυμάτων υποδεικνύουν την καρδιακή συστολή. Συμβατικά, αυτά τα μεσοδιαστήματα των καρδιακών χτύπων μετατρέπονται σε BPM ως εξής: $(1/RR \text{ interval values} \times 60)$

Είναι επίσης εφικτό, να αναλυθούν τα μεσοδιαστήματα των καρδιακών χτύπων για την εξαγωγή της μεταβλητότητας της καρδιακής συχνότητας (HRV) και τις λειτουργίες που συσχετίζονται με το συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα, δηλαδή τις φυσιολογικές ενδείξεις από τα επίπεδα στρες, της σωματικής ανάκαμψης, της ποιότητας ύπνου κλπ.

(Lemay et al., 2014)

Εικόνα 3.2



Εικόνα 3.2. Τα τυπικά σήματα από την ΗΚΓ (ECG) και τη ΦΠΓ (PPG) και η ανάλυση των κυματομορφών τους. Από το "Application of Optical Heart Rate Monitoring", των M. Lemay et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η Φωτοπληθυσμογραφία (PPG) είναι μία οπτική τεχνολογία που βασίζεται στην μέτρηση της διάδοσης του φωτός στους βιολογικούς ιστούς, κατά τη διάρκεια ενός καρδιακού κύκλου (Εικόνα 3.2). Η πιο γνωστή εφαρμογή της είναι η μέτρηση του κορεσμού οξυγόνου ενός ατόμου (παλμική οξυμετρία). Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος από το φάσμα του φωτός και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του ποσοστού οξυγόνου που μεταφέρουν τα ερυθρά αιμοσφαίρια από τους πνεύμονες, στο υπόλοιπο σώμα.

Η τεχνική της Φωτοπληθυσμογραφίας βασίζεται στο φωτισμό ενός βιολογικού ιστού με μία δέσμη φωτός (Εικόνα 3.21). Έτσι, πιάνει μία ποσότητα φωτός που έχει εξαπλωθεί στο τμήμα του ιστού και αναλύεται αυτό το φως που επιστρέφεται, ώστε να γίνει απεικόνιση των λειτουργικών (και δομικών) πληροφοριών. Η εξασθένηση του φωτός από την πηγή της δέσμης φωτός έως τον φωτοανιχνευτή, είναι υπολογίσιμη μέσω του νόμου των Beer-Lambert.

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \quad I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (1)$$

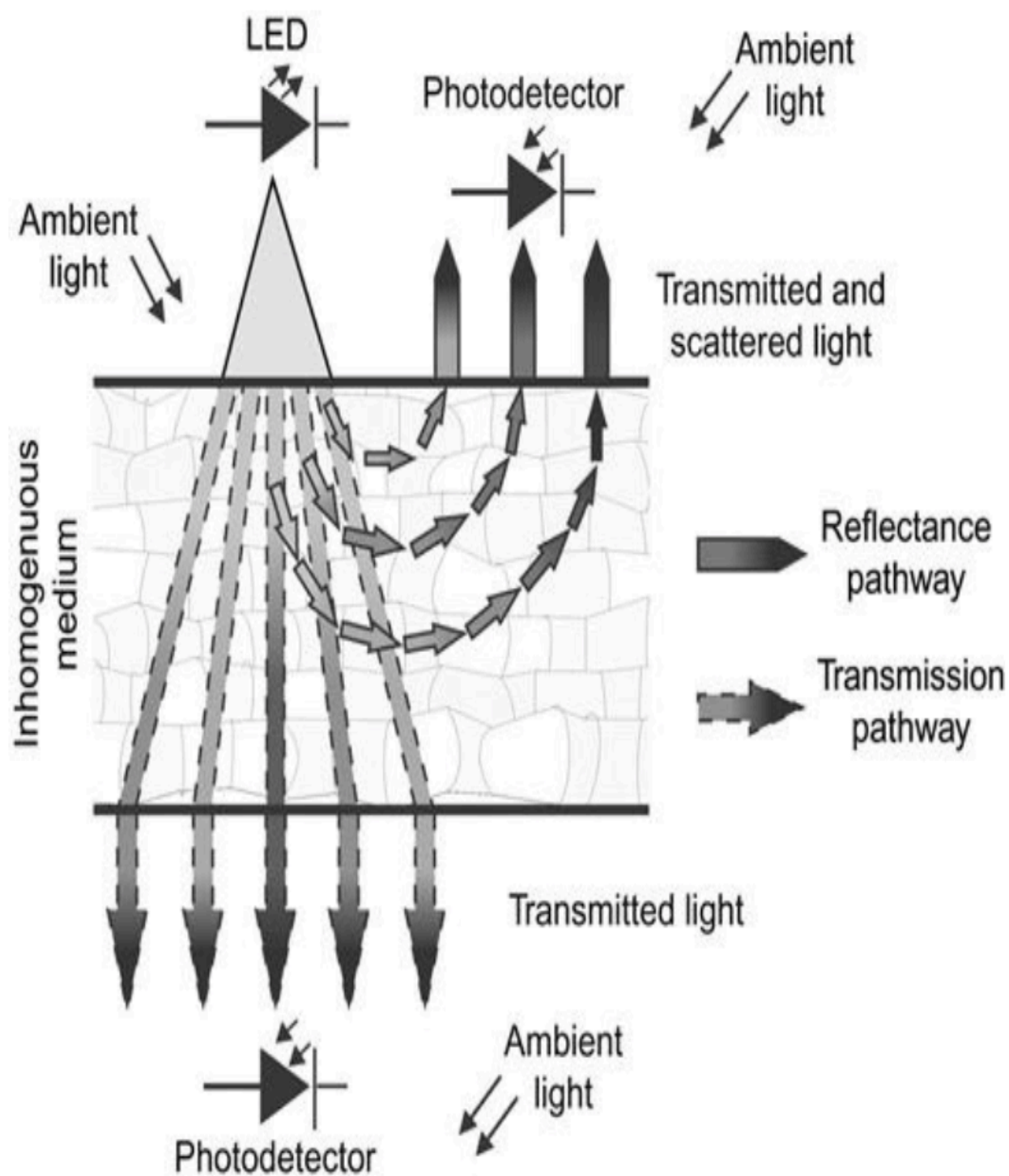
Αυτός ο νόμος υποδεικνύει ότι σε ένα ομοιογενές υπόστρωμα βιολογικού ιστού, η ένταση του φωτός πέφτει εκθετικά, ως συνάρτηση του μήκους της διαδρομής (l) που διανύεται. Ο συντελεστής (α) απορρόφησης φωτός, αντιστοιχεί στις ιδιότητες του υποστρώματος (ιστού) σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Οι ιδιότητες του νόμου των Beer-Lambert ισχύουν όταν περισσότερα από ένα υλικά του υποστρώματος απορροφούν το φως. Ο νόμος προτείνει ότι το σύνολο του φωτός που διαδίδεται και απορροφάται είναι ίσο με το φως πρόσπτωσης. Η αντανάκλαση που συμβαίνει στα μεσαία υποστρώματα, δεν προβλέπεται από αυτήν την εξίσωση. Ο νόμος αυτός βοηθάει στην κατανόηση της απορρόφησης του φωτός στα ομοιογενή βιολογικά υποστρώματα (ιστούς).

Αντιθέτως, το αίμα και οι άλλοι βιολογικοί ιστοί είναι ανομοιογενείς. Επιπλέον, η απορρόφηση του φωτός επηρεάζεται από την επιφάνεια του δέρματος και τη διάθλαση που συμβαίνει κατά την επαφή της δέσμης φωτός, με το δέρμα και τα υπόλοιπα βιολογικά υποστρώματα.

(Lemay et al., 2014)

Εικόνα 3.21



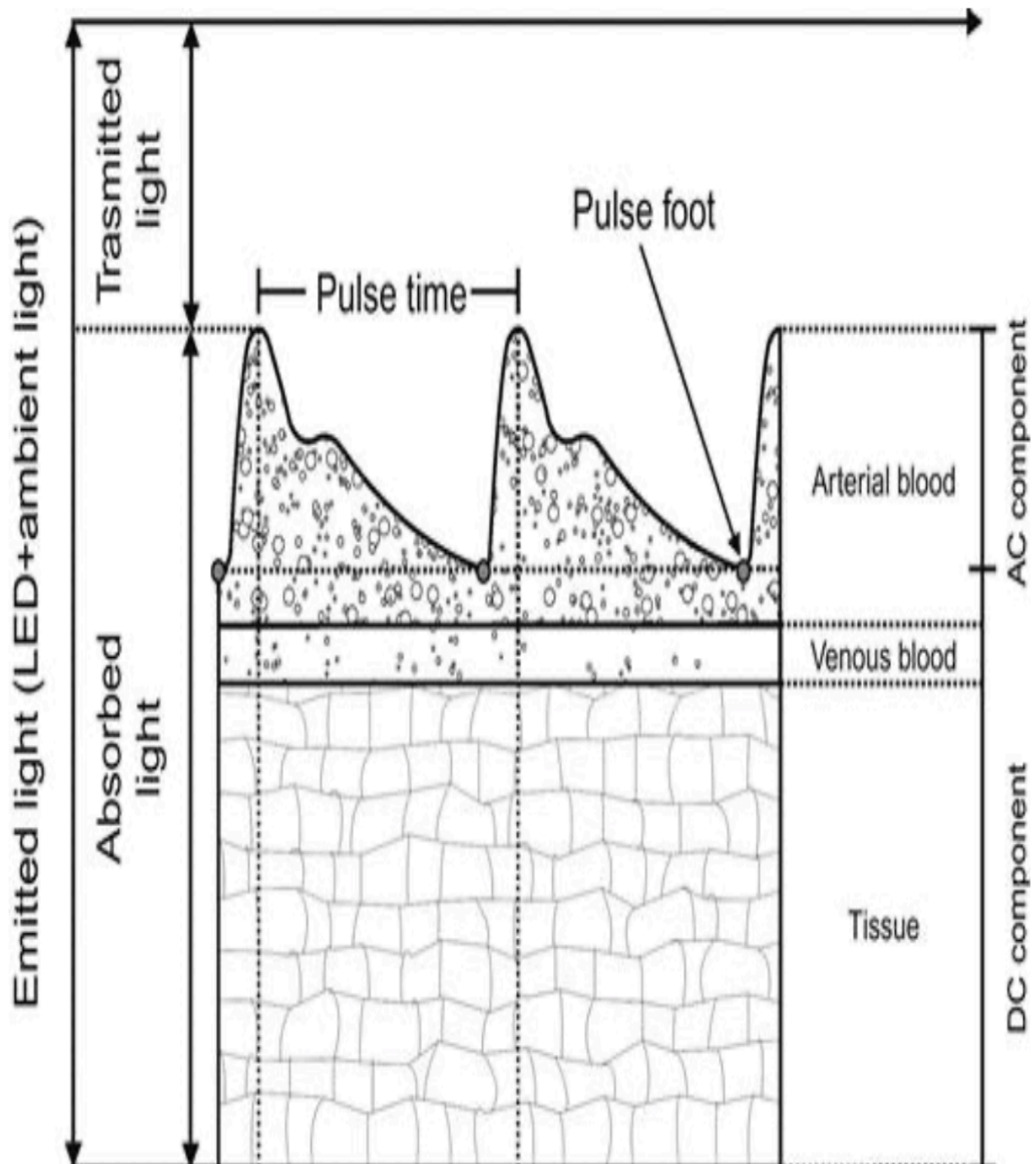
Εικόνα 3.21. Η πρόσπτωση και διάθλαση της δέσμης φωτός στο βιολογικό ιστό κατά τη Φωτοπληθυσμογραφία. Από το "Application of Optical Heart Rate Monitoring", των M. Lemay et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εάν στο βιολογικό ιστό, αυτό που φωτίζεται είναι μία αρτηρία ή φλέβα, τότε κάθε φορά που χτυπάει η καρδιά, δημιουργείται ένας σφυγμός της πίεσης του αίματος και διαχέεται στο αγγείο αυτό. Όταν αυξάνεται η πίεση του αίματος τοπικά, τροποποιείται η γεωμετρία (λόγω του όγκου του αίματος) και οι ιδιότητες (λόγω αλλαγών στη σύνθεση και συγκέντρωση του αίματος) του τυπικού αγγείου αίματος. Αυτό έχει ως συνέπεια, την αύξηση της απορρόφησης του φωτός και την εξασθένηση της έντασης του φωτός που διαδίδεται.

Αυτές οι αλλαγές στο φλεβικό και αρτηριακό αίμα προκαλούν τις αλλαγές στο σήμα της Φωτοπληθυσμογραφίας. Οι παραλλαγές που συμβαίνουν, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις AC (Alternating Current) και τις DC (Direct Current). Αυτές οι ονομασίες προέρχονται από τον τομέα της ηλεκτρολογίας, καθώς το AC συμβολίζει την περιοδική διακύμανση της ποσότητας της τάσης και το DC την σταθερή ποσότητα της τάσης. Όμοια και στα σήματα Φωτοπληθυσμογραφίας, το AC αναφέρεται στην παλμικότητα του αρτηριακού αίματος, ενώ το DC αναφέρεται στη συνεχή απορρόφηση φωτός λόγω του ιστού, του φλεβικού αίματος και του διαστολικού όγκου αρτηριακού αίματος (Εικόνα 3.22). Στην πραγματικότητα όμως, το DC κομμάτι διαφοροποιείται ελάχιστα ανάμεσα σε μερικούς χτύπους της καρδιάς. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις DC διακυμάνσεις είναι η αναπνευστική και αγγειακή κινητικότητα και η θερμορύθμιση.

(Lemay et al., 2014)

Εικόνα 3.22



Εικόνα 3.22. Απλή αναπαράσταση των συστατικών του σήματος στην Φωτοπληθυσμογραφία. Από το "Application of Optical Heart Rate Monitoring", των M. Lemay et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

3.2.2: Εφαρμογές Οπτικών Αισθητήρων Καρδιακής Συχνότητας

1. Αθλητισμός και φυσική κατάσταση

Η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού κατά την διάρκεια μίας άσκησης είναι πολύ χρήσιμη στις προπονήσεις αντοχής, στο σχεδιασμό επαγγελματικών προπονήσεων ή στις απλές ασκήσεις φυσικής δραστηριότητας. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και η ενεργειακή δαπάνη μπορούν να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια μέσω των μετρήσεων καρδιακής συχνότητας. Η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού σε συνεχές πραγματικό χρόνο, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει την ένταση της προπόνησης, να βελτιστοποιεί την προπόνηση και να αποφεύγονται υπερβολικά ή μη αποδοτικά φορτία στις προπονήσεις. Ακόμη, οι επιδράσεις της άσκησης στα διαστήματα μετά την προπόνηση, καταγράφονται με αυτό τον τρόπο. Επιπλέον, η χρήση των συσκευών που εμπερικλείουν τη δυνατότητα καρδιοσυχνόμετρησης, προσδίδουν στον χρήστη όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και λειτουργίες, για την παρακίνηση να εξασκηθεί περισσότερο.

Οι οπτικοί αισθητήρες καρδιακής συχνότητας έγιναν πρόσφατα διαθέσιμοι στο καταναλωτικό κοινό, ως μία εναλλακτική λύση των προβλημάτων που δημιουργούσαν τα καρδιοσυχνόμετρα με τη μορφή ιμάντων στήθους (chest strap HR monitors). Η μέτρηση καρδιακού ρυθμού με οπτικούς αισθητήρες μπορεί να γίνει από διάφορα σημεία του σώματος, όπως το αυτί, τον πήχη στο χέρι και τον καρπό. Οι περισσότερες συσκευές που προορίζονται για εμπορική χρήση, χρησιμοποιούν μία πηγή φωτός (ένα ή περισσότερα LED) που εκπέμπει πράσινο χρώμα φωτός, και έναν φωτοανιχνευτή. Το πράσινο χρώμα έχει αποδειχτεί ότι έχει καλύτερη απόκριση (signal-to-noise ratio) στην εναλλασσόμενη (AC) συνιστώσα (που είναι μεταβαλλόμενη) κατά την εκτέλεση διαφόρων κινήσεων.

(Lemay et al., 2014)

2. Καθημερινή ζωή

Το ενδιαφέρον του καταναλωτικού κοινού αυξάνεται για τις «έξυπνες» φορητές συσκευές με καρδιοσυχνόμετρο (Εικόνα 3.23). Η παρακολούθηση των διαφόρων κινήσεων μέσα σε μία τυπική ημέρα, επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των συνηθειών ενός ανθρώπου και μάλιστα τη φυσική δραστηριότητα, τον αριθμό βημάτων, την ενεργειακή δαπάνη, τη διάρκεια ύπνου, καθώς και την ποιότητα ύπνου. Η πιο απλή συσκευή που μπορεί να τα κάνει όλα αυτά, βασίζεται στη μέθοδο της επιταχυνσιομετρίας και τοποθετείται στον καρπό και ονομάζεται fitness tracker.

Αυτοί οι οπτικοί αισθητήρες είναι περισσότερο αποδεκτοί στους χρήστες, λόγω της ευκολίας στην τοποθέτηση επάνω στο σώμα και τη διακριτικότητα. Ωστόσο, η εγκυρότητα είναι αμφιβόλου ποιότητας και δύσκολο να επαληθευτεί. Παρόλο που στον αθλητικό τομέα αυτές οι συσκευές αποτελούν την καλύτερη λύση, στην καθημερινότητα ίσως και να μην εφαρμόζονται τόσο εύκολα. Είναι απαραίτητη προϋπόθεση να είναι βολικές, άνετες και να εφάπτονται καλά στο δέρμα, για τη βέλτιστη καταγραφή και την αποφυγή σφαλμάτων μέτρησης κινήσεων. Επομένως, είναι καλό αυτές οι συσκευές να αποτελούνται από υλικά που επιτρέπουν τον καλό αερισμό του δέρματος και δεν καταπιέζουν το στρώμα των αγγείων που έρχονται σε επαφή. (Lemay et al., 2014)

3. Εφαρμογές της Μεταβλητότητας Καρδιακής Συχνότητας (HRV)

Η ανάλυση του καρδιακού ρυθμού και της μεταβλητότητας αυτού, έχει αποτελέσει ένα μέρος των πολυάριθμων ερευνών που αφορούν τις καρδιολογικές παθήσεις, την υπνική άπνοια, τα σωματικά και ψυχολογικά φαινόμενα, καθώς και τη φαρμακολογική απόκριση. Ωστόσο, δύο είναι οι περιπτώσεις που βρίσκει εφαρμογή η ανάλυση της HRV. Η πρόβλεψη του κινδύνου μετά από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου και η έγκαιρη διάγνωση της Διαβητικής Νευροπάθειας. Σε ασθενείς που αναρρώνουν μετά από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, τα πεσμένα επίπεδα της HRV, αποδεδειγμένα είναι ένας προβλεπτικός παράγοντας για τη θνητότητα και άλλες επιπλοκές αρρυθμίας. Για την περίπτωση της αξιολόγησης της Αυτόνομης Διαβητικής Νευροπάθειας, οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αναλύσεις της HRV έχουν αποδειχθεί έγκυρες για την πρόωρη διάγνωση.

Παρόλο που η Φωτοπληθυσμογραφία (PPG) είναι ιατρικά αποδεκτή ως ένας τρόπος αξιολόγησης των μέσων τιμών του καρδιακού ρυθμού, ελάχιστα είναι τα δεδομένα για την αξιοπιστία αυτής της μεθόδου και για την ανάλυση της HRV για την εξαγωγή συμπερασμάτων. (Lemay et al., 2014)

Εικόνα 3.23



Εικόνα 3.23. Κάποιες πρωτότυπες «έξυπνες» φορητές συσκευές που έχουν ενσωματωμένο αισθητήρα Φωτοπληθυσμογραφίας για την παρακολούθηση της καρδιακής λειτουργίας. Από το "Wearing Sensors Inside and Outside of the Human Body for the Early Detection of Disease", των C. C. Y. Poon et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

3.3: Ανάλυση Βάδισης με Παραμέτρους από τους Αδρανειακούς Αισθητήρες (IMUs)

Τα σήματα από τους αδρανειακούς αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό κάποιων μετρήσεων, συμπεριλαμβανομένων της ταχύτητας βάδισης, των διαφόρων μέσων τιμών από τετραγωνικές ρίζες (RMS), του ρυθμού των βημάτων και το μήκος διασκελισμού.

Για τη μέτρηση της ταχύτητας βαδίσματος, το οποίο είναι καλό μέτρο για τη σύγκριση της απόδοσης στο περπάτημα, χρησιμοποιήθηκε μία δοκιμασία που περιελάμβανε περπάτημα σε διάδρομο γυμναστικής και περπάτημα επάνω σε δάπεδο σηματοδοτημένο, με προκαθορισμένη ταχύτητα. Οι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της ταχύτητας βαδίσματος μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως άμεση ολοκλήρωση του μοντέλου του ανθρώπινου βαδίσματος, ή ως το αφηρημένο μοντέλο. Με το αφηρημένο μοντέλο εννοείται ένα μοντέλο «Μαύρο Κουτί» που επιστρατεύει το νευρικό σύστημα για την περιγραφή της συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων των αισθητήρων και της ταχύτητας βάδισης.

Οι τιμές των RMS προσδίδουν πληροφορίες για το μέσο μέγεθος των επιταχύνσεων, τις γωνιακές ταχύτητες και τη μαγνητική ροή προς κάθε διεύθυνση. Επίσης, με το σήμα της επιτάχυνσης εντοπίζεται και η ισορροπία κατά τη βάδιση.

Στην εξίσωση (11) ορίζεται το RMS, όπου N είναι ο αριθμός των σημάτων X_i . X_i είναι η μέτρηση του ύψους της επιτάχυνσης, η γωνιακή ταχύτητα και το μαγνητικό πεδίο.

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} (X_i^2)} \quad (11)$$

(Tamura, T. 2014)

Η βάδιση είναι μια περιοδική επαναληπτική κίνηση. Και τα δύο πόδια κατά την διάρκεια της βάδισης, επαναλαμβάνουν τις ίδιες κινήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Κύκλος βάδισης, ή μία δρασκελιά, ορίζεται ως η χρονική περίοδος από την επαφή της φτέρνας του ενός ποδιού στο έδαφος, έως την επόμενη επαφή της φτέρνας του ίδιου ποδιού στο έδαφος.

Η συχνότητα δρασκελισμού, ή ο ρυθμός βάδισης, είναι ο αριθμός των πλήρων κύκλων βάδισης για κάθε λεπτό. Ο ρυθμός συσχετίζεται θετικά με τη βάδιση και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της απόδοσης βαδίσματος.

Ο μέσος χρόνος βήματος, ο μέσος χρόνος δρασκελιάς και ο ρυθμός βάδισης υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Average step} = \frac{\text{Walk time [s]}}{\text{Number of gait step}} \quad (12)$$

$$\text{Average stride} = \frac{\text{Walk time [s]}}{\text{Number of gait stride}} \quad (13)$$

$$\text{Cadence} = \frac{\text{Number of steps}}{\text{Walk time [min]}} \quad (14)$$

(Tamura, T. 2014)

Μία συνάρτηση αυτοσυσχέτισης για την κάθετη επιτάχυνση έχει αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τη συμμετρία των ποδιών, ως εξής:

$$Ad(m) = \frac{1}{N - |m|} \sum_{j=1}^{N-|m|} x(i) \cdot x(i+m) \quad (15)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων και m είναι η χρονική καθυστέρηση εκφρασμένη ως αριθμός των δειγμάτων. Όταν η αυτοσυσχέτιση του σήματος επιτάχυνσης υπολογίζεται κατά το βήδισμα, η πρώτη κορυφή του $Ad(m)$, $Ad1$, αντικατοπτρίζει την ομαλότητα της επιτάχυνσης ενδιάμεσα σε διαδοχικά βήματα, το οποίο μπορεί να ερμηνευτεί ως ένα μέτρο της συμμετρίας του αριστερού και δεξιού ποδιού. Η δεύτερη κορυφή του $Ad(m)$, $Ad2$, αντικατοπτρίζει την ομαλότητα των διαδοχικών δρασκελισμών. Υψηλότερες τιμές $Ad1$ και $Ad2$ αφορούν μεγαλύτερα βήματα και περισσότερο ομαλό κύκλο βάρδισης. Ο ρυθμός βάρδισης μπορεί να βρεθεί από τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ του $Ad1$ και $Ad2$.

Οι κινήσεις στους εννέα άξονες των ενιαίων αδρανειακών αισθητήρων, επηρεάζονται από κάποιες παραμέτρους κατά τη βάρδιση. Οι παράμετροι αυτοί είναι η ταχύτητα, ο αριθμός των βημάτων, ο αριθμός των δρασκελιών, ο χρόνος, ο μέσος χρόνος ενός κύκλου βάρδισης, ο ρυθμός βάρδισης, το RMS, η ομαλότητα των βημάτων, η ομαλότητα του κύκλου βάρδισης και η γωνία.

(Tamura, T. 2014)

3.4: Αλγόριθμοι «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών

Οι υποκείμενοι αλγόριθμοι που υπολογίζουν την Ενεργειακή Δαπάνη, επηρεάζουν την απόδοση των «έξυπνων» φορητών συσκευών. Οι πρώτοι αλγόριθμοι που εφευρεθήκαν για αυτό τον σκοπό, είναι πιθανώς και οι απλούστεροι. Απλά μετρούν τις κινήσεις που συμβαίνουν σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Οι πιο πολύπλοκες προσεγγίσεις συμπεριλαμβάνουν τον υπολογισμό διαφόρων χαρακτηριστικών της κίνησης, όπως ο ρυθμός (λεπτά ανά χιλιόμετρο), η υψομετρική διαφορά (ανάβαση-κατάβαση), το μήκος βήματος, ο ρυθμός βημάτων (βήματα ανά λεπτό), ο καρδιακός ρυθμός (BPM), ο δείκτης καρδιο-αναπνευστικής ευρωστίας ($VO_2\max$) και η ταχύτητα βάδισης, ώστε να ταξινομηθεί σωστά η κάθε δραστηριότητα. Έπειτα, υπολογίζεται η Ενεργειακή Δαπάνη λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις που σχετίζονται με το κάθε είδος άσκησης ή φυσικής δραστηριότητας.

Οι ακόμη περισσότερο εξελιγμένες προσεγγίσεις, όπως οι υπολογισμοί με τα Κρυφά Μαρκοβιανά Μοντέλα (Hidden Markov Models) και τα Νευρονικά δίκτυα, χρησιμοποιούνται επίσης για την αναγνώριση της κάθε κίνησης από τα πρωτογενή δεδομένα (raw acceleration data). Γενικά, όσο πιο βελτιωμένη είναι η ταξινόμηση της κάθε δραστηριότητας, τόσο καλύτερος είναι και ο υπολογισμός της Ενεργειακής Δαπάνης.

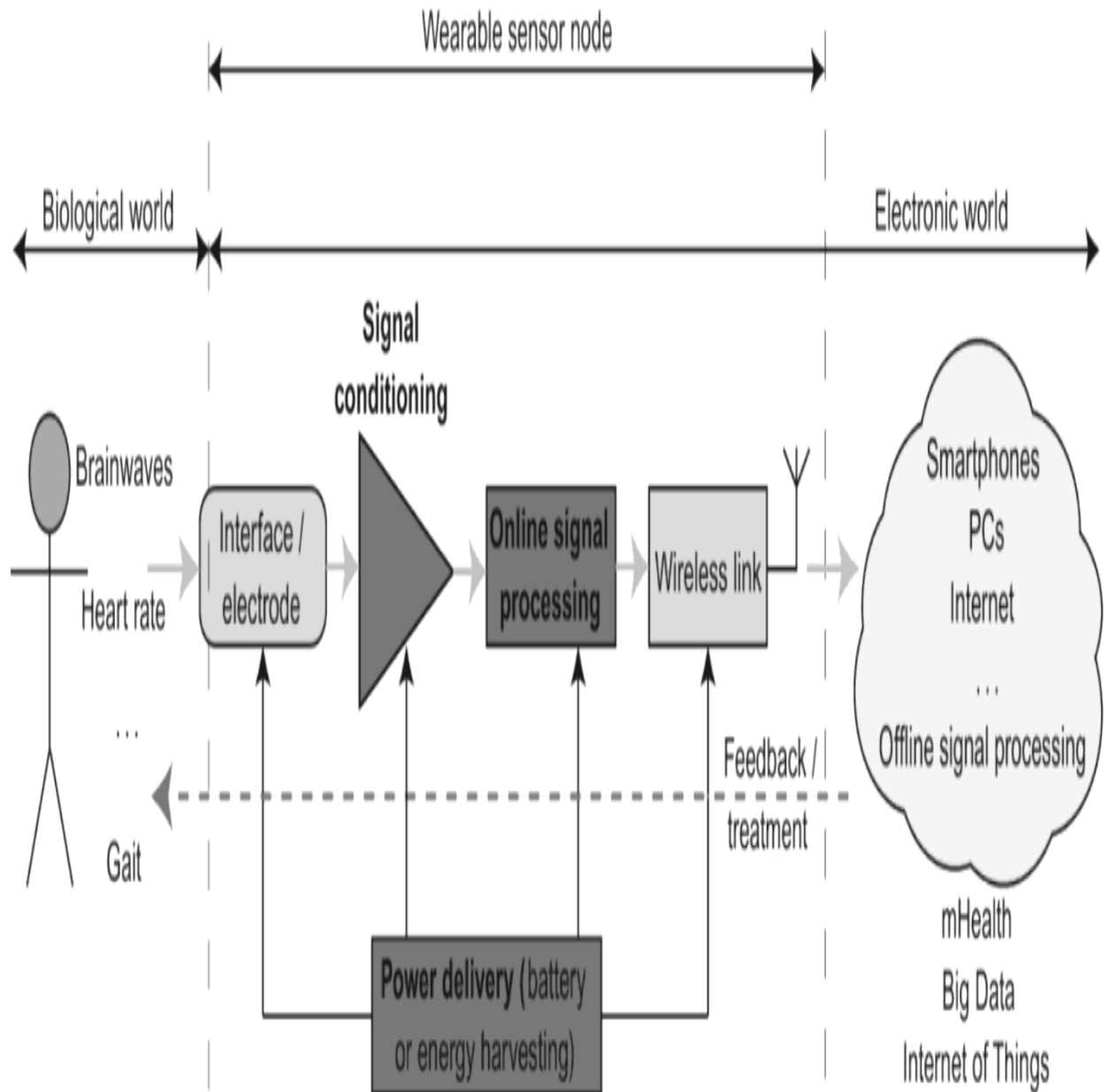
Σε αυτό το σημείο, θα γίνει μία προσπάθεια ανάδειξης των αλγορίθμων που ενσωματώνονται στις «έξυπνες» φορητές συσκευές. Υπάρχουν πολλές υποθέσεις που ορίζουν τους αλγορίθμους αυτούς. Επίσης, γίνεται μελέτη των κεντρικών σημείων λειτουργίας του αλγόριθμου πριν να ενσωματωθεί σε κάποια συσκευή, όπως οι επιδόσεις του, η διάρκεια ζωής της λειτουργίας του κ.α.

Για τους τελικούς χρήστες είναι υψίστης σημασίας ο αριθμός των λειτουργιών που περιλαμβάνονται στις «έξυπνες» συσκευές και αυτές περιλαμβάνουν την ευκολία στη χρήση, την κοινωνική αποδοχή και τη μακρά διάρκεια. Η κατανάλωση ενέργειας είναι επίσης κρίσιμος παράγοντας.

(Chen et al., 2014)

Ένας αλγόριθμος που καταγράφει μία ή περισσότερες φυσιολογικές παραμέτρους και ασύρματα τις μεταδίδει ως σήματα σε κάποια βάση δεδομένων ή ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, απεικονίζεται στην Εικόνα 3.4.

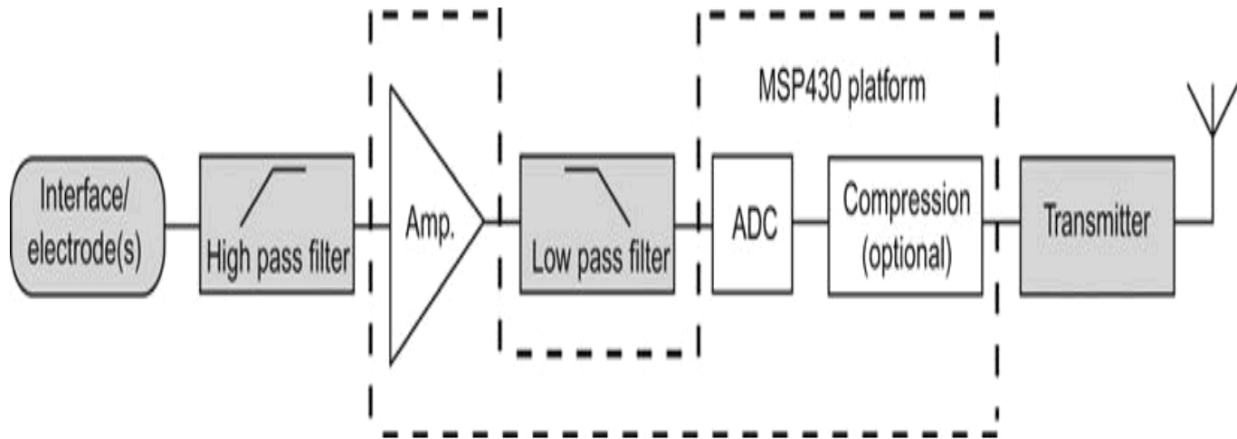
Εικόνα 3.4



Εικόνα 3.4. Ένας «έξυπνος» αλγόριθμος που συνδέει τις συνθήκες φυσιολογικής λειτουργίας με την ηλεκτρονική πραγματικότητα. Από το "Edge Algorithms for Wearables: An Overview of a Truly Multi-Disciplinary Problem", των C. Beach et al., 2021, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2021 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Στην Εικόνα 3.41 είναι ένα πρακτικό παράδειγμα για την παρουσίαση της εφαρμογής του αλγορίθμου σε μία πραγματική πλατφόρμα ενός αισθητήρα και έχει ληφθεί για το συγκεκριμένο παράδειγμα, το μικροτσίπ επεξεργασίας MSP430 που αντιπροσωπεύει πολλές από τις διαθέσιμες «έξυπνες» φορητές συσκευές.

Εικόνα 3.41



Εικόνα 3.41. Το παράδειγμα της εφαρμογής ενός αλγόριθμου στο μικροτσίπ MSP430. Από το "Wearable Algorithms: An Overview of a Truly Multi-Disciplinary Problem", των G. Chen et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εάν θέλαμε να υπολογίσουμε την ενεργειακή κατανάλωση ενός ολοκληρωμένου «έξυπνου» συστήματος, όπως είναι αυτό που παρουσιάστηκε πιο πάνω, τότε θα αυτό θα γινόταν με τον παρακάτω τύπο:

$$P_{system} = NP_{sc} + P_{alg} + CP_t \quad (6)$$

όπου το P_{sc} είναι η ενεργειακή κατανάλωση του πρώτου ενισχυτή και οποιουδήποτε άλλου παράγοντα που μεταδίδει σήμα, όπως το Analog-to-Digital converter (ADC). Το N είναι ο αριθμός των διαδοχικών καναλιών καταγραφής. P_{alg} είναι η ενεργειακή οικονομία που είναι διαθέσιμη για την εκτέλεση του αλγορίθμου. Το P_t είναι η ενεργειακή κατανάλωση του μεταδότη. Το C είναι η αναλογία μεταξύ του μεγέθους των πρωτογενών βιολογικών δεδομένων

και του μεγέθους των δεδομένων που αποστέλλονται από τον μεταδότη. $C=1$ όταν το σήμα επεξεργάζεται και προωθεί όλα τα δεδομένα στον μεταδότη.

Η διαδικασία παραγωγής του σήματος που επεξεργάζεται ο αλγόριθμος

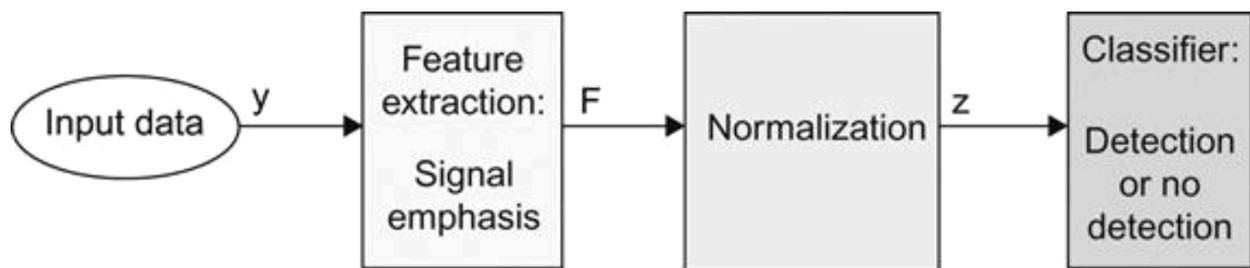
Δύο είναι οι τρόποι που επεξεργάζεται ο «έξυπνος» αισθητήρας το απευθείας σήμα. Ο πρώτος είναι η ισόβαθμη εφαρμογή αγνωστικής συμπίεσης (agnostic compression) προς όλα τα βιολογικά δεδομένα που εισέρχονται στο σύστημα. Ο δεύτερος είναι η «έξυπνη» επεξεργασία του σήματος, όπου αναλύονται τα δεδομένα και λειτουργεί ο αλγόριθμος.

Τα βασικά στάδια που προαπαιτούνται για να ακολουθήσει ο αλγόριθμος και να λειτουργήσει, φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 3.42). Τα αδρά δεδομένα εισαγωγής (y) περνάν πρώτα από το στάδιο εξαγωγής χαρακτηριστικών που δίνει έμφαση στα σημεία ενδιαφέροντος από το σήμα. Στη συνέχεια επεξεργάζεται το σήμα, έτσι ώστε να ενισχυθούν τα περισσότερα ενδιαφέροντα σημεία από τα μη σχετικά. Για παράδειγμα, στο ΗΚΓ των καρδιακών παλμών, ο στόχος θα ήταν να εντοπιστεί η ώρα όπου συμβαίνει κάτι ακανόνιστο στο συνδυασμό των κυμάτων QRS.

Έπειτα, αυτά τα χαρακτηριστικά που αναγνωρίστηκαν, περνάν στο στάδιο εξομάλυνσης (ή ομαλοποίηση), επειδή τα πραγματικά φυσιολογικά σήματα διαφέρουν από άτομο σε άτομο, ακόμη και στο ίδιο το άτομο κάποιες φορές. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στις διάφορες υποκείμενες δυσλειτουργίες, στις αλλαγές στο σήμα λόγω αλλαγών της ηλικίας, ή κάποιες αλλαγές στην επαφή των ηλεκτροδίων με την επιφάνεια επαφής. Η ομαλοποίηση σκοπεύει στη διόρθωση αυτών των επικείμενων αλλαγών, για την περισσότερο αξιόπιστη και καλύτερη λειτουργία του αλγορίθμου, ακόμη και αν επεμβαίνει κάποιες φορές το υποκείμενο (άτομο). Το τελευταίο στάδιο αφορά την παραγωγή ενός προϊόντος, κάνοντας χρήση του εισαγόμενου σήματος για την πραγματική λήψη απόφασης. Γενικά, αυτό είναι στη μορφή μίας μηχανής ταξινόμησης που παρέχει μία δυαδική απάντηση. Για παράδειγμα, είναι το υποκείμενο (άτομο) ξυπνητό ή κοιμάται; Η απάντηση θα μπορούσε να είναι επίσης πολλαπλών τάξεων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για τον ύπνο, θα μπορούσε η απάντηση να είναι είτε ότι το άτομο είναι ξυπνητό, είτε σε ελαφρύ ύπνο (light sleep, stages 1 & 2), βαθύ ύπνο (deep sleep, stages 3 & 4) ή στον REM ύπνο.

(Chen et al., 2014)

Εικόνα 3.42



Εικόνα 3.42. Τα τρία βασικά στάδια της χαμηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας στη λειτουργία του αλγορίθμου. Από το "Wearable Algorithms: An Overview of a Truly Multi-Disciplinary Problem", των G. Cheng et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Για τη βελτίωση ενός fitness tracker στην ακρίβεια των μετρήσεων των βημάτων και του υπολογισμού της ενεργειακής δαπάνης, σχεδιάστηκε μία μέθοδος (Εικόνα 3.43) από τους Andalibi et al. (2015).

Εικόνα 3.43

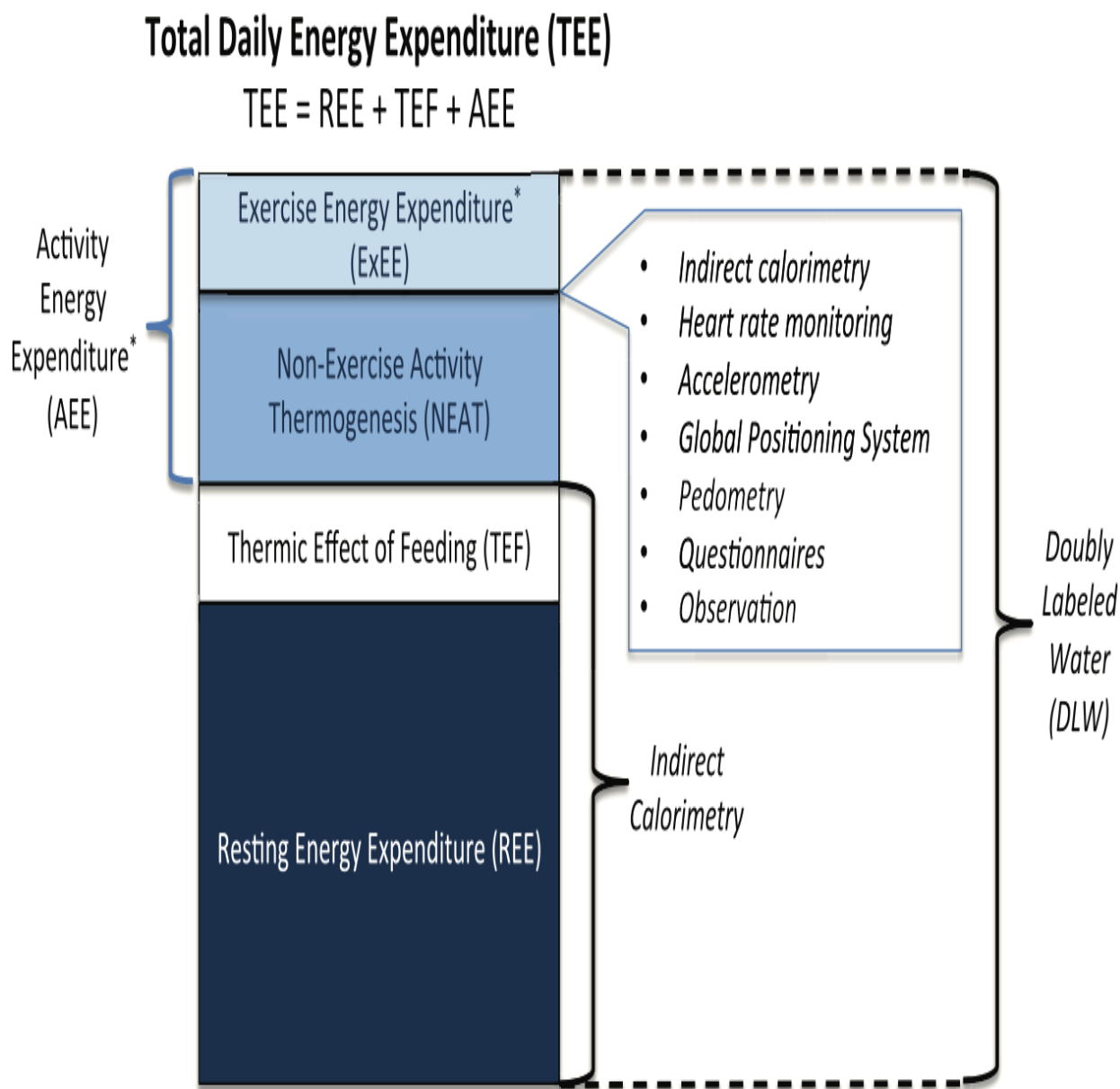


Εικόνα 3.43. Διάγραμμα ροής για τη μέθοδο που εφαρμόζεται σε ένα fitness tracker, ώστε να βελτιώσει τη μέτρηση βημάτων και τον υπολογισμό ενεργειακής δαπάνης. Από το "Data Correction for Seven Activity Trackers Based on Regression Models", των V. Andalibi et al., 2015, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. © 2015 IEEE. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ - Η ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΑΠΑΝΗΣ /
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ «ΕΞΥΠΝΩΝ» ΦΟΡΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ**

4.1: Ο Υπολογισμός της Ενεργειακής Δαπάνης

Εικόνα 4.1



** ExEE and thus AEE are the most variable components of TEE. Therefore, the proportions of TEE and of REE, TEF and AEE differ between individuals.*

Εικόνα 4.1. Τα επιμέρους στοιχεία της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης και οι τρόποι μέτρησης. Από το "Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure: An Overview of Objective Measures", των A.P. Hills et al., 2014, *Frontiers in Nutrition*, 1(5). © 2022 Frontiers Media S.A. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Δαπάνη (TEE ή TDEE)

Αποτελείται από την Ενεργειακή Δαπάνη Ηρεμίας (REE), την Τροφογενή Θερμογένεση (TEF) και την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (AEE) (Εικόνα 4.1).

Ενεργειακή Δαπάνη Ηρεμίας ή Μεταβολικός Ρυθμός Ηρεμίας (REE ή RMR)

Αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης. Η Ενεργειακή Δαπάνη Ηρεμίας είναι η ενέργεια που δαπανάται σε μία κατάσταση ηρεμίας, από ένα άτομο σε κατάσταση νηστείας, σε ένα περιβάλλον θερμοουδέτερο. Το RMR είναι συνήθως ελάχιστα υψηλότερο στις τιμές των μετρήσεων, σε αντίθεση με το BMR (Basal Metabolic Rate).

Οι παράγοντες που καθορίζουν το REE είναι η ηλικία, το φύλο, το μέγεθος του σώματος, η σύνθεση του σώματος (αναλογία λιπώδους και μυϊκού ιστού), τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, η ορμονολογική κατάσταση, οι γενετικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες.

Βασικός Μεταβολικός Ρυθμός (BMR)

Είναι η ποσότητα της ενέργειας σε μία μονάδα του χρόνου που χρειάζεται ένας άνθρωπος για να διατηρήσει σε λειτουργία τις βασικές ζωτικές διαδικασίες του σώματος, ενόσω βρίσκεται σε κατάσταση ανάπαυσης ή πλήρους αδράνειας. Αυτές οι διαδικασίες είναι η αναπνοή, η κυκλοφορία του αίματος, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος (ομοιόσταση), η ανάπτυξη των κυττάρων, η λειτουργία του εγκεφάλου, του νευρικού και του μυϊκού συστήματος (Εικόνα 4.1.1).

Τροφογενής Θερμογένεση (TEF) ή Diet-Induced Thermogenesis DIT

Αντιπροσωπεύει την αύξηση της θερμότητας και αντίστοιχα, τη δαπάνη ενέργειας κατά την πρόσληψη τροφής για τις απαιτήσεις της πέψης και απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών. Η τροφογενής θερμογένεση καλύπτει περίπου το 10-15% του TDEE.

Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (AEE)

Πρόκειται για όλη την ενέργεια που καταναλίσκεται από το σημείο κι έπειτα όπου σταματάει η κατάσταση ηρεμίας ή αδράνειας. Περιλαμβάνει και τις ενεργειακές δαπάνες που αφορούν την πρόσληψη της τροφής (μάσηση, κατάπωση κλπ.) και την αφομοίωση της τροφής (πέψη, απορρόφηση, αφόδευση κλπ.). Χρησιμοποιείται ως ένας άμεσος τρόπος υπολογισμού του ενεργειακού κόστους μίας σωματικής άσκησης ή μίας συγκεκριμένης κινητικής εργασίας.

Αυτή η ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο και στην απώλεια βάρους, καθώς ο μόνος τρόπος δαπάνης περισσότερων θερμίδων, από τις θερμίδες που προσλαμβάνονται στο συνολικό ημερήσιο διαιτολόγιο, είναι το αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με μία υγιεινή και θερμιδικά ισορροπημένη δίαιτα, παράλληλα με μία αύξηση στη δαπάνη των θερμίδων από την εκτέλεση κάποιας σωματικής δραστηριότητας. Με την έννοια αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας, εννοείται ότι η Ενεργειακή Δαπάνη είναι μεγαλύτερη από την Ενεργειακή Πρόσληψη (ιδανικά, θα λέγαμε, από τη Συνιστώμενη Ημερήσια Πρόσληψη θερμίδων), για τη μείωση του σωματικού βάρους.

Για την εκτίμηση, κατά προσέγγιση, της Ενεργειακής Κατανάλωσης χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$AEE \text{ (kcal/day)} = \text{Total EE (kcal/day)} - \text{Resting EE (kcal/day)}$$

Αν θεωρήσουμε ότι η Τροφογενής Θερμογένεση αποτελεί το 10% του TDEE, τότε:

$$AEE \text{ (kcal/day)} = 0.9 \times TEE \text{ (kcal/day)} - REE \text{ (kcal/day)}$$

Οι εξισώσεις αυτές υπολογίζουν την Ενεργειακή Δαπάνη κατά προσέγγιση, συγκριτικά με την έμμεση θερμιδομετρία.

Ο υπολογισμός της Ενεργειακής Δαπάνης Δραστηριότητας επηρεάζεται σημαντικά από το σωματικό βάρος, καθώς οι υπέρβαροι άνθρωποι δαπανούν περισσότερη ενέργεια για μία συγκεκριμένη ταχύτητα, σε μία συγκεκριμένη άσκηση/δραστηριότητα. Η «Ενεργειακή Οικονομία» της άσκησης επηρεάζει την Ενεργειακή Κατανάλωση, επίσης.

Στην Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (AEE) περιλαμβάνεται και η Θερμογένεση (NEAT) από τις καθημερινές δραστηριότητες ενός ανθρώπου, οι οποίες δεν ανήκουν στην κατηγορία των αθλητικών δραστηριοτήτων. N.E.A.T. - Non-Exercise Activity Thermogenesis (Εικόνα 4.1.1).

Το υπόβαθρο της Ενεργειακής Δαπάνης

Η ενεργειακή δαπάνη είναι με απλή λογική, η ποσότητα του έργου που παράγεται κάνοντας μία συγκεκριμένη άσκηση. Με έναν απλό τύπο, εκφράζεται ως:

$$E = mgh$$

όπου m =μάζα, g =βαρύτητα και h =τα μέτρα της απόστασης από την αρχική θέση που μετατοπίστηκε το σώμα.

(Hills et al., 2014)

Ωστόσο, μέσα στο ανθρώπινο σώμα γίνονται πολλές εσωτερικές διαδικασίες που επιτρέπουν να γίνει η παραγωγή του έργου, εκτελώντας κάποια κίνηση εξωτερικά. Όλες οι διαδικασίες εσωτερικά στο σώμα, από τη διαδικασία της σκέψης που χρειάζεται για να γίνει μία απλή κίνηση ή ένα βήμα, έως και την κυκλοφορία του αίματος που φτάνει στους μύες και τους τροφοδοτεί με αίμα, μέχρι και την εκτέλεση μίας άσκησης συνδυασμένων κινήσεων, όλες αυτές απαιτούν την κατανάλωση ενέργειας.

Εικόνα 4.1.1

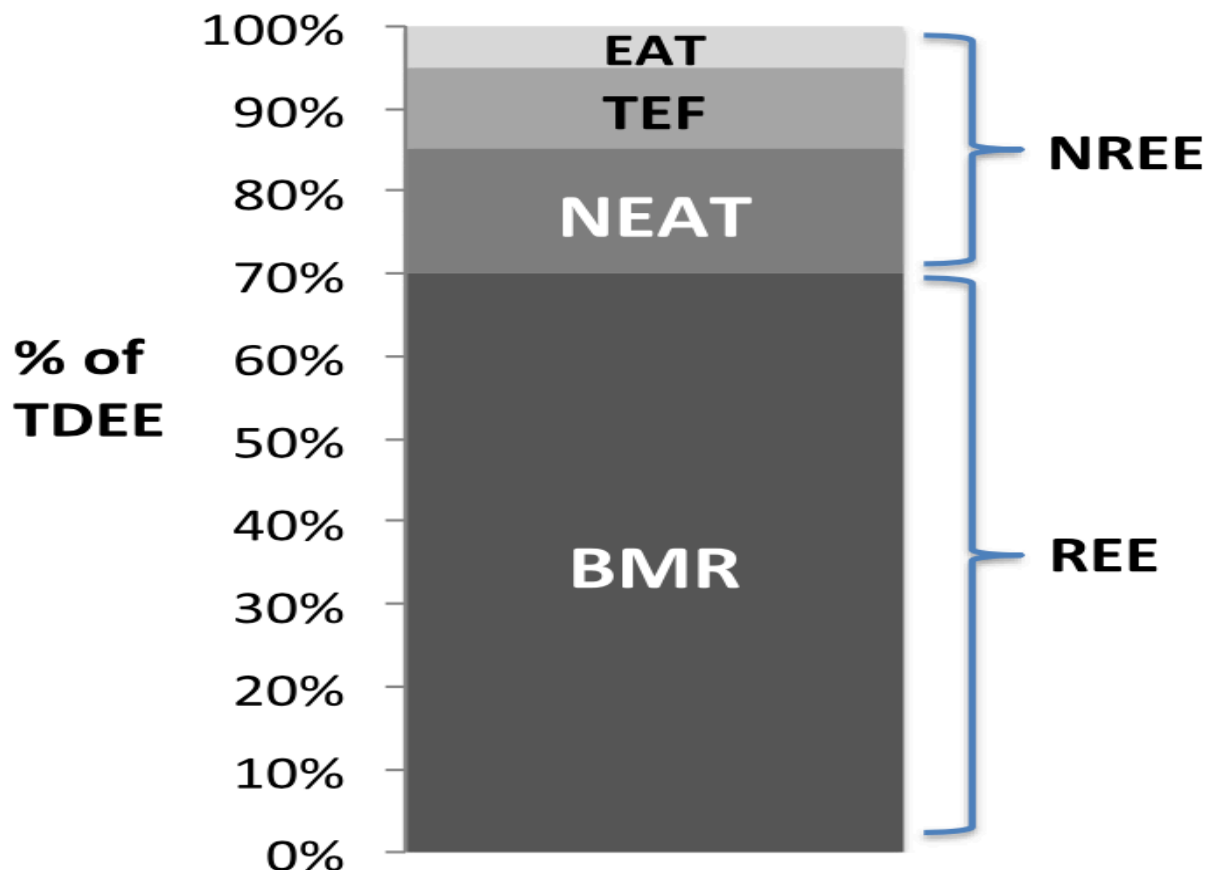


Figure 1 Components of total daily energy expenditure (TDEE). BMR = basal metabolic rate; NEAT = non-exercise activity thermogenesis; TEF = thermic effect of food; EAT = exercise activity thermogenesis; REE = resting energy expenditure; NREE = non-resting energy expenditure. Adapted from Maclean et al., 2011.

Εικόνα 4.1.1. Τα ποσοστά που καλύπτουν τα επιμέρους στοιχεία της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Δαπάνης. Από το "Metabolic Adaptation to Weight Loss: Implications for the Athlete", των E.T. Trexler et al., 2014, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(7). © 2014 Trexler et al. Licensee BioMed Central Ltd. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.2: Μέθοδοι Εκτίμησης της Ενεργειακής Δαπάνης

Οι «έξυπνες» φορητές συσκευές περιέχουν αισθητήρες αδρανειακής μέτρησης τριαξονικούς και έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για τα επιταχυνσιόμετρα, τους γυροσκοπικούς αισθητήρες και τους μαγνητικούς αισθητήρες, οι οποίοι εφαρμόζονται άρτια στο ανθρώπινο σώμα, όπως για παράδειγμα στον κορμό, στο πόδι, στο χέρι κλπ. Χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των κινήσεων που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτοί οι αισθητήρες είναι οι πιο κοινοί που χρησιμοποιούνται στις «έξυπνες» φορητές συσκευές, για τη μέτρηση των σωματικών ασκήσεων και της καθημερινής φυσικής δραστηριότητας. Ο συνδυασμός τριών ειδών αισθητήρων σε μία συσκευή είναι αντικειμενικά πολύ αποτελεσματικός για την εκτίμηση αυτών των κινήσεων.

Η χρήση των σημάτων επιτάχυνσης προϋπήρχε σε διάφορες ιδέες από τα μέσα του 1980. Τοποθετούσαν συσκευές για τη μετάδοση σήματος επιτάχυνσης στο κάτω μέρος της πλάτης του σώματος, κοντά στη μέση, επειδή είναι κοντά στο κέντρο βάρους ενός ανθρώπου. Με την ανάπτυξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων τεχνολογίας (chip), τα κόστη των επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και μαγνητικών αισθητήρων μειώθηκαν αρκετά κι έτσι έγινε εφικτή η εισαγωγή τους, στις έρευνες και δοκιμές διαφόρων επιστημονικών πεδίων.

(Tamura, T. 2014)

Εκτίμηση Ενεργειακής Δαπάνης

Τα σύγχρονα επιταχυνσιόμετρα είναι ικανά να υπολογίζουν την ενεργειακή δαπάνη που σχετίζεται με τη φυσική δραστηριότητα. Παλαιότερα, αυτή η εκτίμηση γινόταν μέσω της μέτρησης της κατανάλωσης οξυγόνου, αναλογικά με την επιτάχυνση σε μία μονάδα του χρόνου. Η εκτίμηση πλέον γίνεται αναλογικά με τον τύπο της άσκησης, την ένταση, τη διάρκεια και τη συχνότητα. Οι διάφορες μετρήσεις από τα επιταχυνσιόμετρα πρέπει να βαθμονομηθούν (calibration) κατάλληλα, σύμφωνα με τις σωστές τιμές Ενεργειακής Δαπάνης Δραστηριότητας (EEact) και σύμφωνα με τις διάφορες εκτελούμενες ασκήσεις. Επιπρόσθετα, το σήμα επιτάχυνσης μπορεί να μετατραπεί για τον υπολογισμό των Μεταβολικών Ισοδύναμων (METs) στους ενήλικες και στα παιδιά.

Σε κάποιες μελέτες έχει γίνει εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης, ανάμεσα στις μετρήσεις ενεργειακής δαπάνης των ασκήσεων κάποιων fitness trackers και στις μετρήσεις ενεργειακής δαπάνης από την έμμεση θερμιδομετρία. Για παράδειγμα, το περπάτημα σε ισόπεδο δάπεδο είχε υψηλό συντελεστή συσχέτισης, αλλά στις οικιακές εργασίες ήταν χαμηλός. Μία συσκευή παρακολούθησης της φυσικής δραστηριότητας, ίσως να υποεκτιμάει ή

υπερεκτιμάει ορισμένες τιμές ενεργειακής δαπάνης φυσικής δραστηριότητας. Έτσι, το συνολικό άθροισμα της εκτιμώμενης Ενεργειακής Δαπάνης Δραστηριότητας (EEact) πολύ συχνά συμπίπτει με το υπολογιζόμενο συνολικό EEact.

Ένα δυναμικό μοντέλο δύο συνιστωσών (οριζόντια και κάθετα) για τη μετατροπή των μετρήσεων από τις ασκήσεις είναι το παρακάτω:

$$EE_{act} = a(\sqrt{A_a^2 + A_l^2})^{p1} + bA_v^{p2} \quad (16)$$

όπου A_v είναι η τιμή για την κάθετη επιτάχυνση και οι τιμές για τα A_a και A_l είναι συνδυασμένες για τις διευθύνσεις εμπρός-πίσω και πλάγιες, όπως για παράδειγμα είναι στο οριζόντιο επίπεδο. Οι σταθερές a , b , $p1$ και $p2$ προσδιορίζονται από έναν αλγόριθμο που βελτιστοποιεί τους υπολογισμούς για κάθε άτομο ξεχωριστά.

(Tamura, T. 2014)

Η ακριβής μέτρηση της Ενεργειακής Δαπάνης υπό συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης είναι κάτι που έχει αναζητηθεί από πολλούς ερευνητές και επαγγελματίες υγείας που αντιλήφθηκαν την ανάγκη για την ακρίβεια στους υπολογισμούς, ειδικά στις κλινικές παρεμβάσεις που χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα, όπως είναι τα προγράμματα απώλειας βάρους. Ωστόσο, είναι δύσκολη η ακριβής εκτίμηση του αριθμού των συνολικών θερμίδων που καταναλώνονται από την ελεύθερη διαβίωση (free-living conditions) των ανθρώπων (π.χ. η Συνολική Ενεργειακή Δαπάνη). Ενώ υπάρχουν πολλές φορητές συσκευές που υπολογίζουν τις θερμίδες, σχεδόν όλες αυτές οι συσκευές προσδιορίζουν την ενεργειακή δαπάνη μετρώντας μία ή περισσότερες παραμέτρους που σχετίζονται με κάποιου είδους κίνηση. Αυτά τα συστήματα που απλά υπολογίζουν την κίνηση, εκτιμούν λανθασμένα την ενεργειακή δαπάνη σε διάφορες καταστάσεις, όπου είτε δεν υπάρχει κίνηση ή ανιχνεύθηκε μία κίνηση που προκλήθηκε από διαφορετικό παράγοντα, αντί του πραγματικού. Τελικά, αναφέρεται στο αποτέλεσμα λανθασμένη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης.

Οι αισθητήρες ανίχνευσης κινήσεων είναι γνωστό ότι δεν έχουν ευαισθησία, ως προς τις δραστηριότητες που είναι μη κινητικές, ειδικά αυτές τις ασκήσεις του κορμού του σώματος, ή τις ασκήσεις με στατικό ποδήλατο. Η ακρίβεια στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης γίνεται να βελτιωθεί από τα «έξυπνα» φορητά συστήματα, μέσω της βελτιστοποίησης στον υπολογισμό του επιπέδου της σωματικής δραστηριότητας. Αυτό είναι εφικτό με την χρήση επιταχυνσιόμετρων τριών αξόνων, αλλά γίνεται και με την εφαρμογή επιπρόσθετων παραμέτρων στους υπολογισμούς. Αυτές οι παράμετροι επιτρέπουν τον υπολογισμό πιο περίπλοκων αλγοριθμικών σχημάτων, αλλά συνεχίζουν να βασίζονται στη συσχέτιση μεταξύ της κίνησης και της ενεργειακής δαπάνης.

Οι κλινικά αποδεδειγμένες τεχνικές για τη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης, απαιτούν τη μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου (έμμεση θερμιδομετρία) ή την παραγωγή θερμότητας (άμεση θερμιδομετρία) (Πίνακας 4.2). Τα θερμιδόμετρα «έμμεσης» θερμιδομετρίας είναι τα πιο συνηθισμένα. Αναφέρονται ως «έμμεσα» θερμιδόμετρα, επειδή στην πραγματικότητα δε μετρών απευθείας τις θερμίδες, αλλά μετρούν την κατανάλωση οξυγόνου και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (αυτό που συμβαίνει στη διαδικασία του μεταβολισμού). Ένα «άμεσο» θερμιδόμετρο είναι σχεδιασμένο να μετράει την παραγωγή θερμότητας, κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού. Δεδομένου ότι μία θερμίδα είναι μία μονάδα μέτρησης της θερμότητας, αυτά τα συστήματα όντως υπολογίζουν απευθείας τις καταναλισκόμενες θερμίδες. Τα περισσότερα θερμιδόμετρα «άμεσης» θερμιδομετρίας, ήταν μία κατασκευή στο μέγεθος σχεδόν ενός δωματίου, με περίπλοκα συστήματα που μετρούσαν την ανταλλαγή θερμότητας που συνέβαινε στον άνθρωπο που βρισκόταν υπό εξέταση, μέσα σε αυτόν τον μεταβολικό θάλαμο. Πλέον, έχουν αντικατασταθεί από τα «έμμεσα» θερμιδόμετρα, ακόμη και στις κλινικές και εργαστηριακές δοκιμές, για λόγους πρακτικότητας.

(Szuminsky et al., 2014)

Πίνακας 4.2

	Method	Advantage	Disadvantage
Direct calorimeters (Kenny <i>et al</i> 2017)	Heat production	Accurate	Extremely expensive
	Water immersion or closed-chamber heat convection		Cumbersome Laboratory-based
Indirect calorimeters (Hills <i>et al</i> 2014)	Doubly labelled water	Accurate	Expensive Nonradioactive isotopes
	Laboratory-based	Accurate	Expensive
	Oxygen uptake (douglas bag, metabolic carts)		
	Portable oxygen uptake monitor	Simple	Relatively inaccurate
	Accelerometry (heat flow)	Relatively inexpensive	

Πίνακας 4.2. Οι μέθοδοι θερμιδομετρίας και οι τεχνικές που εφαρμόζονται, με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καθεμίας. Από το "Wearable Oxygen Uptake and Energy Expenditure Monitors", των T. Tamura *et al.*, 2019, *Physiological Measurement*, 40(8). © 2019 Institute of Physics and Engineering in Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.3: Ενεργειακή Κατανάλωση με Παράγοντα τον Καρδιακό Ρυθμό

Σε μία προσπάθεια των Fotouhi-Ghazvini και Abbaspour (2020) να κατασκευάσουν μία «έξυπνη» φορητή συσκευή (Εικόνα 4.3), αποκαλύπτονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης, μέσα από μία πρωτότυπη εφαρμογή για smartphone (Caloroid App), την οποία έφτιαξαν αποκλειστικά για τους σκοπούς της έρευνας. Οι εξισώσεις είναι οι παρακάτω:

$$\left(\begin{aligned} &(-20.4022 + (0.4472 \times H) - (0.1263 \times W)) \\ &+ (0.074 \times A) / 4.184 \end{aligned} \right) \times 60 \times T \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\left(\begin{aligned} &(-55.0969 + (0.6309 \times H) + (0.1988 \times W)) \\ &+ (0.2017 \times A) \end{aligned} \right) / 4.184 \times 60 \times T \quad \text{Eq. (5)}$$

Η εξίσωση (4) αφορά τον γυναικείο πληθυσμό. Η εξίσωση (5) αφορά τον ανδρικό πληθυσμό.

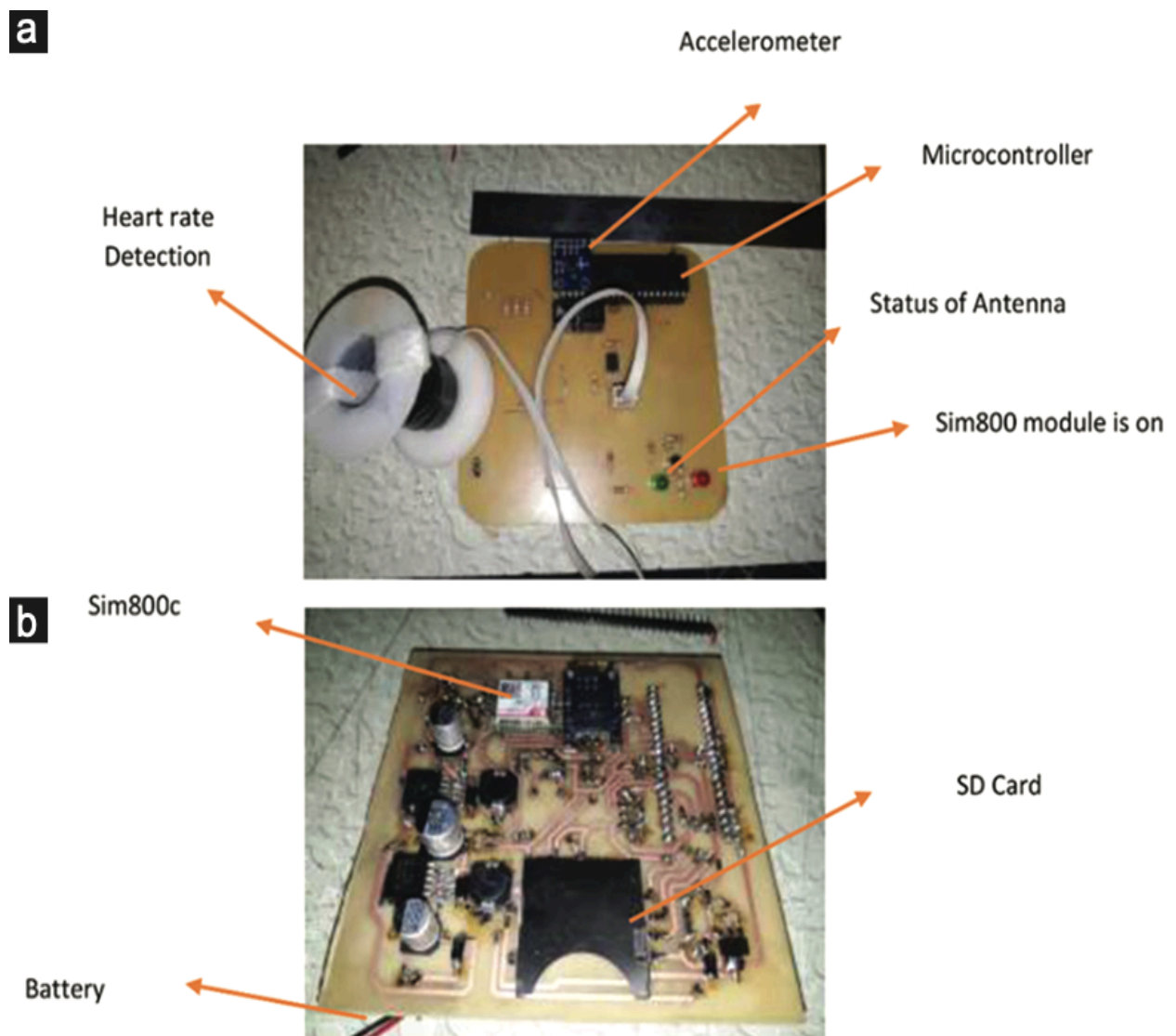
Όπου H είναι ο καρδιακός ρυθμός (heart rate), T είναι ο χρόνος (time), A είναι η ηλικία (age) και W είναι το βάρος (weight).

Επίσης, στην εφαρμογή Caloroid γίνεται υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης, λαμβάνοντας υπόψη και τα δεδομένα επιταχυνσιομετρίας. Ακολουθεί η εξίσωση (6):

$$\vec{E} = \int F \cdot \vec{dr} = \int m \vec{a} \cdot \vec{dr} = m \int \vec{a} \cdot \vec{dr} = m \cdot \sum \vec{a}_i \cdot \vec{dr}_i = m \cdot \vec{dr}_i \cdot \sum \vec{a}_i \quad \text{Eq. (6)}$$

Όπου dr είναι η απόσταση που περιλαμβάνει τον αριθμό βημάτων και το μήκος βήματος. Για το dr γίνεται πολλαπλασιασμός του αριθμού των βημάτων (n) και του μήκους βήματος (l). Ουσιαστικά, γίνεται χρήση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα $F=ma$, για τον υπολογισμό της δύναμης ενός ανθρώπου. Έτσι, υπολογίζονται οι θερμίδες από αυτή την ενέργεια που ξοδεύει ένας άνθρωπος. Λαμβάνονται υπόψη το βάρος, η επιτάχυνση, το μήκος βήματος και ο αριθμός των βημάτων. (Fotouhi-Ghazvini & Abbaspour, 2020)

Εικόνα 4.3



Εικόνα 4.3. Το «έξυπνο» φορητό σύστημα που κατασκευάστηκε για τους σκοπούς της έρευνας. Από το "Wearable Wireless Sensors for Measuring Calorie Consumption", των F. Fotouhi-Ghazvini και S. Abbaspour, 2020, Journal of Medical Signals and Sensors. © 2020 Journal of Medical Signals and Sensors. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.4: Η Μέτρηση της Ενεργειακής Δαπάνης με τη Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών

Εικόνα 4.4

	BodyMedia Sensewear Armband	Accelerations, Galvanic Skin, Response (GSR), Skin temperature, Heat Flux Steps	Arm
	MetaLogics Personal Calorie Monitor	Heat Flux	Arm
	Actical physical activity monitor	Accelerations	Waist, wrist, ankle
	Actiwatch – recording of physical activity and sleep	Accelerations	Wrist
	Actigraph GT3X	Accelerations, steps	Wrist, waist, arm, ankle
	Kenz Lifecorder EX Activity Monitor	Accelerations, steps	Waist
	RT3X triaxial accelerometer	Accelerations, steps	Waist
	Dynaport Minimod Move Monitor	Accelerations, steps	Lower back at the height of the second lumbar vertebra
	Monitor of physical activity - Tanita	Triaxial instruments , steps	Waist

Εικόνα 4.4. «Έξυπνες» φορητές συσκευές ερευνητικού επιπέδου (research grade) για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης. Από το "Objective Methods, Techniques and Tools in Physical Activity Testing", των W. Mynarski et al., 2013, *Journal of Tourism, Recreation and Sport Management*, 1. © 2013 Władysław Mynarski. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Οι «έξυπνες» φορητές συσκευές που υπολογίζουν την Ενεργειακή Δαπάνη, κατατάσσονται με τρόπο που γίνονται κατανοητές οι λειτουργίες τους και μπορεί κανείς να επιλέξει την ανάλογη συσκευή για την ανάλογη χρήση (Εικόνα 4.41).

1. Πεδόμετρα ή Βηματόμετρα

Απλά παραδείγματα βηματόμετρων αποτελούν το Digi-Walker (Yamax Corporation), το Omron και το Fitbit που ανήκουν στην κατηγορία των 10 έως 60 ευρώ και τοποθετούνται στη μέση ή στο ισχύο ή στον καρπό. Η μπαταρία τους είναι πολύ μεγάλης διάρκειας και είναι πολύ εύκολα και απλά στη χρήση. Ο βασικός σκοπός αυτών των συσκευών είναι να μετρούν τα βήματα του χρήστη, την απόσταση που διένυσε και τις θερμίδες που δαπάνησε. Οι δυνατότητες αυτών των συσκευών είναι πολύ περιορισμένες. Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι χαμηλή, σε σύγκριση με τα επιταχυνσιόμετρα και τα «έξυπνα» συστήματα πολλαπλών αισθητήρων (multi-sensor systems). Συνίσταται η χρήση των απλών βηματομέτρων στις κλινικές δοκιμές, για τις οποίες ο προϋπολογισμός στα έξοδα είναι χαμηλός και βασικός σκοπός τους αποτελεί η καταγραφή των βημάτων. Επίσης, ανήκουν στην κατηγορία των Consumer-based wearables που αποτελούν μία απλή καλή επιλογή για κάποιον που επιθυμεί να περπατάει και να καταγράφει τα βήματα που έκανε.

2. Επιταχυνσιόμετρα

Μονοαξονικά (uniaxial) : Τα πιο συνηθισμένα επιταχυνσιόμετρα μονού άξονα είναι τα activPal, Actical (Respironics), Actiheart, αλλά και το ActiGraph στις πρώτες εκδόσεις του.

Διαξονικά (biaxial) : Το γνωστό StepWatch Activity Monitor (Modus Health) είναι ένα κλασσικό επιταχυνσιόμετρο δύο αξόνων. Ένα άλλο είναι το ActiTrac (IM Systems).

Τριαξονικά (triaxial) : Αυτά είναι και τα πιο αξιόπιστα, όσον αφορά την ακρίβεια και την εγκυρότητα των μετρήσεων. Μερικά παραδείγματα από τις αναρίθμητες συσκευές που κυκλοφορούν είναι το ActiGraph GT3X, το DynaPort Activity Monitor (McRoberts), τα σύγχρονα Fitbit, το GENEActiv (Activinsights) και το RT3X (Triaxial Research Tracker 3; StayHealthy Inc.).

3. Συστήματα πολλαπλών αισθητήρων (multi-sensor systems)

Αυτές οι συσκευές αποτελούνται από μία σειρά διαφόρων αισθητήρων με πολλές λειτουργίες. Οι αισθητήρες που διαθέτουν συνήθως είναι θερμικής ροής (heat flux sensor), θερμοκρασίας του δέρματος (skin temperature sensor), γαλβανικής απόκρισης του δέρματος (galvanic skin response sensor) και φωτοπληθυσμογραφίας (PPG sensor). Μερικά κλασσικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι τα SenseWear Armband (BodyMedia), Personal Calorie Monitor (Metalogics), Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity (IDEEA, Minisun) και Vitaport Activity Monitor (TEMEC Instruments). Αυτές οι συσκευές είναι ικανότες στον ερευνητικό τομέα και αποτελούν μία περισσότερο ακριβή επιλογή. Είναι άβολες ως προς τη χρήση στην καθημερινότητα ενός ανθρώπου. Τα δεδομένα που καταγράφονται από αυτές τις συσκευές είναι υψηλής εγκυρότητας και αξιοπιστίας.

4. «Έξυπνες» φορητές συσκευές για το καταναλωτικό κοινό ("Smart" Consumer-based Wearables)

Χρησιμοποιούνται ως gadget ή ως αξεσουάρ μόδας στην ενδυμασία. Τα τελευταία μοντέλα των εταιρειών Fitbit, Apple, Samsung και Garmin είναι τα πιο εξελιγμένα που κυκλοφορούν και διαθέτουν μία πληθώρα δυνατοτήτων. Παρέχουν πολύ σημαντικά δεδομένα στον τομέα της εξατομικευμένης υγείας. Είναι προσιτά ως προς την τιμή τους και τοποθετούνται στον καρπό του καταναλωτή, κάτι που τα καθιστά πολύ εύχρηστα και προτιμητέα. Συγχρονίζονται με κάθε είδος λειτουργικού συστήματος που υπάρχει στα smartphone της αγοράς (iOS, Android κλπ). Έτσι, προβάλλονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της ημερήσιας δραστηριότητας (βήματα, θερμίδες, είδος άσκησης, επιδόσεις αθλημάτων), όλα πολύ εύκολα στη μικρή οθόνη του κινητού τηλεφώνου. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες σε αυτές τις συσκευές, για τον υπολογισμό των κινήσεων και της ενεργειακής δαπάνης, είναι πολύπλοκοι και ανήκουν κατ' αποκλειστικότητα στην εκάστοτε εταιρεία. Η αξιοπιστία και εγκυρότητα των δεδομένων που προέρχονται από τις μετρήσεις αυτών των συσκευών βρίσκονται ακόμη υπό διερεύνηση. Έχουν γίνει μερικές προσπάθειες για την επικαιροποίηση των απλών εμπορικών wearables, ως προς την εγκυρότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης. Ωστόσο, αυτό είναι δύσκολο επειδή δεν δίνεται εύκολα η πρόσβαση στα πρωτογενή δεδομένα που καταγράφουν οι συσκευές από την εκτέλεση κάθε δραστηριότητας.

(Giggins et al., 2017; Gresham et al., 2018; Schrack et al., 2016)

5. «Έξυπνες» φορητές συσκευές ερευνητικής-κλινικής χρήσης (Research-Clinical Based Wearables)

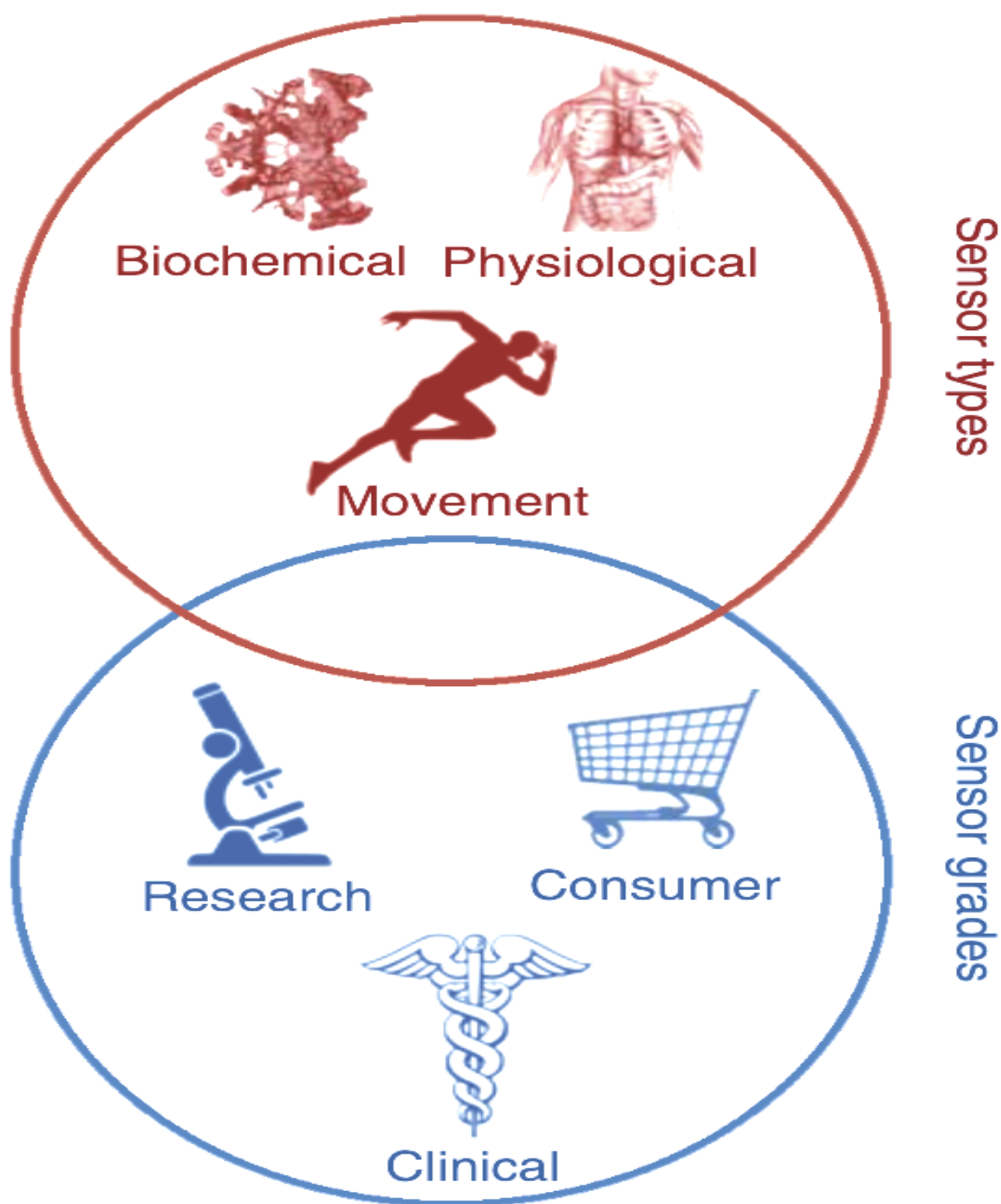
Οι συσκευές του ερευνητικού και κλινικού τομέα είναι μεγαλύτερες ως προς το μέγεθος και την τιμή τους, αλλά και πολύπλοκες (με ειδικά προγράμματα ανάλυσης δεδομένων), σε σχέση με τις οικονομικότερες και πιο απλές εμπορικές συσκευές. Η τιμή τους κυμαίνεται από 200 έως 1000 ευρώ και τοποθετούνται στη μέση ή στο ισχίο ή στον καρπό του ασθενούς. Είναι αναγκαία η αγορά του λογισμικού που συνοδεύει την κάθε συσκευή, ώστε να γίνει συγχρονισμός των δεδομένων με τον υπολογιστή και να αναλυθούν τα δεδομένα από τους ερευνητές.

Για αυτές τις συσκευές έχουν γίνει μελέτες αξιοπιστίας και εγκυρότητας στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Τα πρωτογενή δεδομένα παρέχονται με ευκολία στους ερευνητές, μέσα από τα εξειδικευμένα λογισμικά που συνοδεύουν την κάθε συσκευή. Παρόλο που ο υπολογισμός της ενεργειακής δαπάνης και των κινήσεων από τις δραστηριότητες γίνεται με τα ειδικά λογισμικά, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι για τον υγιή πληθυσμό. Επομένως, όταν πρόκειται να γίνει μία έρευνα επάνω σε ηλικιωμένους ανθρώπους, ίσως θα έπρεπε να γίνει μία βαθμονόμηση των συσκευών, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μεγαλύτερες ηλικίες, η διαφορετική σωματική σύσταση και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ορθή εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Οι συσκευές αυτές έχουν πολλές δυνατότητες και είναι περισσότερο ευαίσθητες στην ανίχνευση διαφόρων κινήσεων και αδράνειας. Αυτό τις κάνει να ξεχωρίζουν στις προτιμήσεις των ερευνητών που θέλουν να κάνουν μία μελέτη με ακρίβεια και εγκυρότητα. Το μειονέκτημα αυτών των συσκευών είναι ότι είναι δύσχρηστες και άβολες προς τον χρήστη και χρειάζεται ειδικό λογισμικό ώστε να γίνει συγχρονισμός των δεδομένων.

(Giggins et al., 2017; Gresham et al., 2018; Schrack et al., 2016)

Εικόνα 4.41



Εικόνα 4.41. Οι τρεις βασικοί τύποι των «έξυπνων» αισθητήρων (κόκκινο) και οι βαθμίδες χρήσης τους (μπλε). Από το "Wearables and the Medical Revolution", των J. Dunn et al., 2018, *Personalized Medicine*, 15(5). © 2018 Michael Snyder. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Πίνακας 4.4

Συσκευή	Λιανική τιμή	Σημείο τοποθέτησης	Τομέας χρήσης	Αισθητήρες	Μετρήσεις-Ενδείξεις
Actical	320 680 (με λογισμικό)	Ισχίο, αστράγαλος, καρπός	Ερευνητικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα
Actigraph GT3X+	250	Ισχίο, αστράγαλος, καρπός	Ερευνητικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
Apple watch	249	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, απόσταση, καρδιακός ρυθμός
Apple watch 2	315	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο GPS	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, απόσταση, καρδιακός ρυθμός
Basis b1	149	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Basis Peak	170	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Beurer AS80	29.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
BodyMedia CORE	150	Αριστερός άνω βραχίονας	Ερευνητικός Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
Epson Pulsense	79.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
ePulse Personal Fitness Assistant	129.95	Πήχης	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, καρδιακός ρυθμός
Fitbit blaze	134.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Fitbit charge	109.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Fitbit charge 2	109.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Fitbit charge HR	139.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Fitbit Flex	79.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Fitbit Surge	289.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Garmin Forerunner 225	199.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Garmin Forerunner 920XT	450	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Garmin vivoactive	250	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Garmin vivofit	79.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Garmin Vivosmart	139.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Garmin Vivosmart HR	129.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος

Jawbone UP	99.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ύπνος
Jawbone UP24	89.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ύπνος
LifeChek calorie sensor	—	Αριστερός άνω βραχίονας	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals
Microsoft band	169.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο Θερμοκρασία σώματος GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Mio Alpha	119.99	Καρπός	Εμπορικός	Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, καρδιακός ρυθμός
Misfit Shine	99.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Nike Fuel Band	129.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Polar Loop	49.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, ύπνος
Polar AW200	152 (συμπ. λογισμικό)	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας
Polar AW360	149.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Samsung Gear S	—	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο GPS	Kcals, βήματα, απόσταση, ώρα δραστηριότητας, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
SenseWear Armband	800 (συσκευή) + 1.597 (λογισμικό)	Αριστερός άνω βραχίονας	Ερευνητικός	Διαξονικό επιταχυνσιόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
SenseWear Pro 2 Armband	≈	Αριστερός άνω βραχίονας	Ερευνητικός	Διαξονικό επιταχυνσιόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
SenseWear Mini Armband	≈	Αριστερός άνω βραχίονας	Ερευνητικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
SenseWear Pro 3 Armband	≈	Αριστερός άνω βραχίονας	Ερευνητικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Θερμοκρασία σώματος	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, ύπνος
TomTom Touch	129.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, απόσταση, καρδιακός ρυθμός, ύπνος
Withings Pulse	39.99	Καρπός ή τσέπη	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, βήματα, απόσταση, ύπνος
Withings Pulse 02	79.99	Καρπός	Εμπορικός	Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο Καρδιοσυχνόμετρο	Kcals, ένταση άσκησης, βήματα, απόσταση, καρδιακός ρυθμός, ύπνος, οξυγόνο αίματος

Πίνακας 4.4. Αναλυτικός πίνακας με τις «έξυπνες» φορητές συσκευές που έχουν μελετηθεί στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Από το "How Well Do Activity Monitors Estimate Energy Expenditure? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Validity of Current Technologies", των R. O'Driscoll et al., 2020, *British Journal of Sports Medicine*, 54(6), supplementary material 5. © 2022 BMJ Publishing Group Ltd & British Association of Sport and Exercise Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

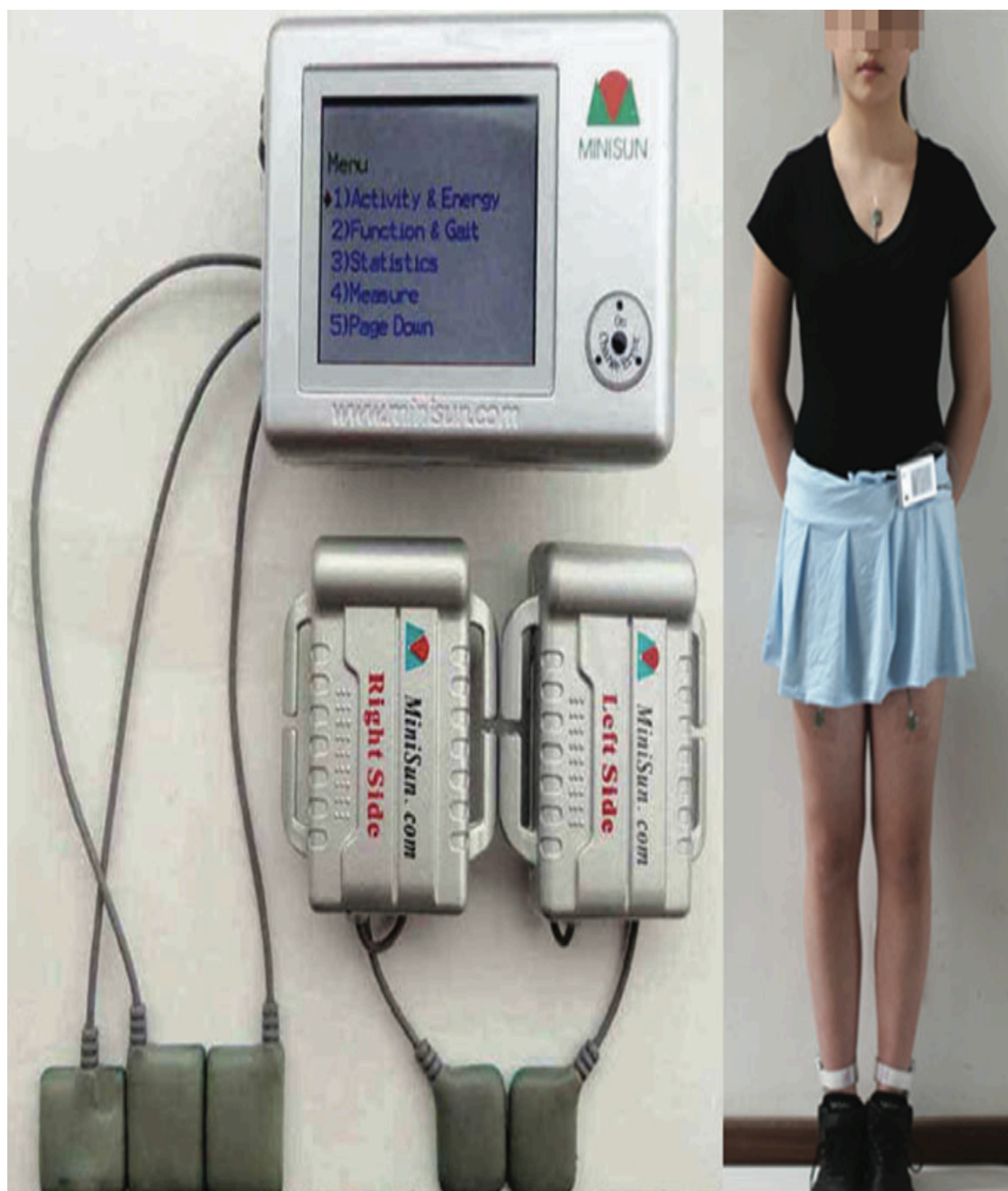
4.5: Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity (I.D.E.E.A.)

Ο φορητός μικρο-υπολογιστής για την ενεργειακή δαπάνη και δραστηριότητα (IDEEA, Minisun), εκτιμάει την ενεργειακή δαπάνη λαμβάνοντας υπόψη 40 διαφορετικές δραστηριότητες και στάσεις του ανθρώπινου σώματος. Ανιχνεύει και καταγράφει τις δραστηριότητες με πέντε αισθητήρες που τοποθετούνται ένας στο στήθος, δύο στους μηρούς και δύο στους αστράγαλους των ποδιών (ή στις πατούσες των ποδιών) (Εικόνα 4.5). Ουσιαστικά, είναι ένας αναλυτής βηματισμού που χρησιμοποιεί επιταχυνσιόμετρα τριών διαστάσεων (3-D). Η τιμή του είναι αρκετά υψηλή, ενώ η αξιοπιστία και εγκυρότητα στις μετρήσεις είναι αδιαμφισβήτητη. Πολλές μελέτες εργαστηριακών μετρήσεων έχουν δημοσιευτεί και επιβεβαιώνουν την ακρίβεια στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από αυτή τη συσκευή. Σε μία έρευνα που έγινε από τους Whybrow et al. (2012), συγκρίνεται η εγκυρότητα των μετρήσεων της ενεργειακής δαπάνης μεταξύ της συσκευής IDEEA και της μεθόδου Διπλά Σημασμένου Νερού (Έμμεση Θερμιδομετρία). Σε σχέση με την Έμμεση Θερμιδομετρία, η συσκευή IDEEA υπερεκτιμάει την ενεργειακή δαπάνη σε συνθήκες εκτός εργαστηρίου.

Διάφοροι περιορισμοί της συσκευής IDEEA είναι η δυσκολία στο να φορεθεί αυτή η συσκευή για όλη τη διάρκεια της διαδικασίας των μετρήσεων, η δυσκολία να τοποθετηθούν οι αισθητήρες στα σωστά σημεία και η μικρή διαθέσιμη χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων. Επιπρόσθετα, αυτή η συσκευή δεν ανιχνεύει την ποδηλασία, τις κινήσεις του βραχίονα (άρα και τις ασκήσεις κορμού-άνω σώματος) και δεν είναι αδιάβροχη (ακατάλληλη για τις μετρήσεις μέσα στο νερό).

(Hills et al., 2014; Whybrow et al., 2012)

Εικόνα 4.5



Εικόνα 4.5. Η συσκευή IDEEA και τα σημεία τοποθέτησης επάνω στο σώμα. Από το "Clinical Evaluation and Gait Characteristics before and after Total Knee Arthroplasty Based on a Portable Gait Analyzer", των H. H. Zhang et al., 2016, *Orthopaedic Surgery*, 8(3). © 2016 Chinese Orthopaedic Association. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 4.51

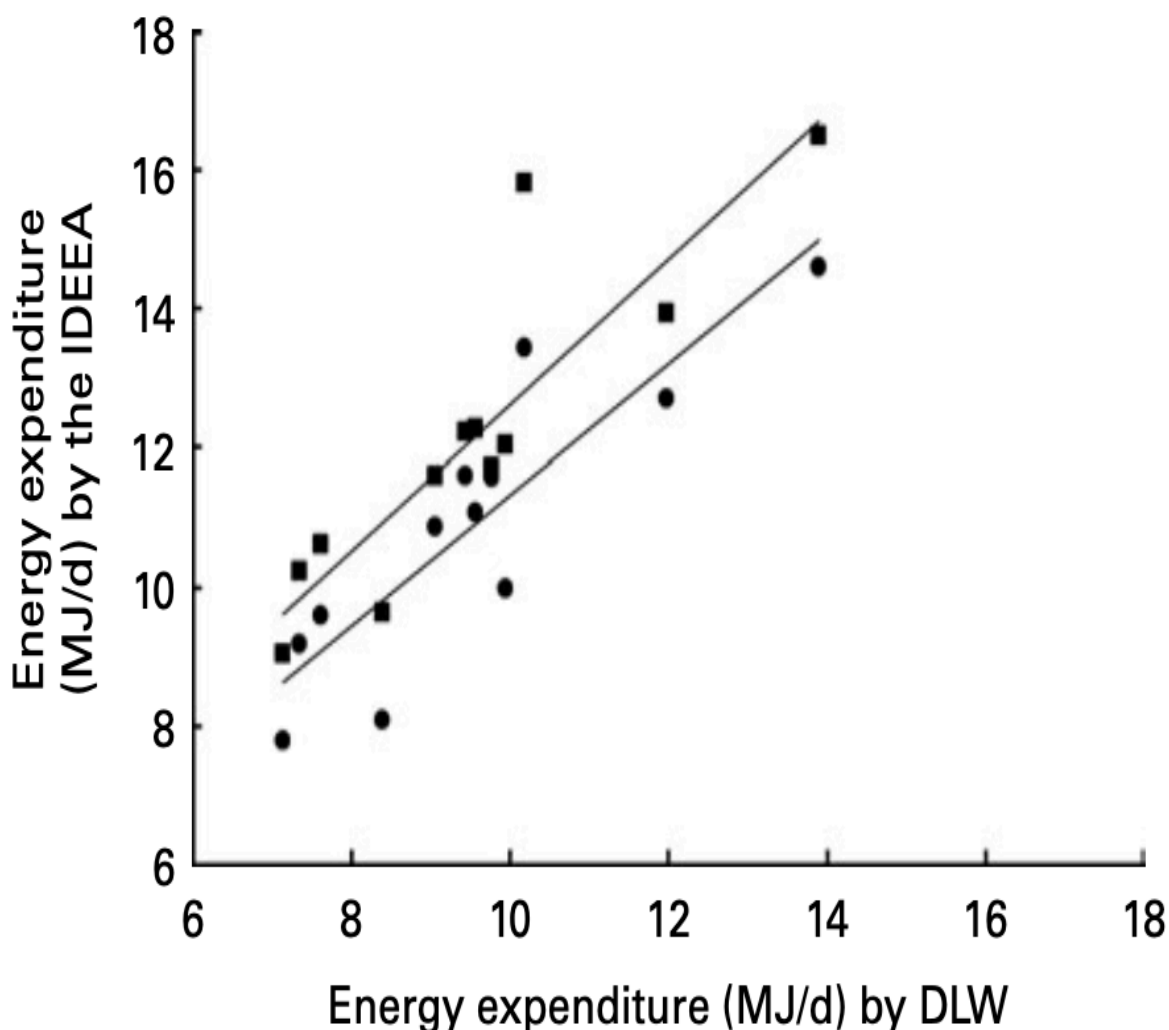


Fig. 3. Mean daily energy expenditure as estimated by doubly-labelled water (DLW), and IDEEA_{est} (■, R^2 0.781) and IDEEA_{meas} (●, R^2 0.768) techniques. IDEEA, Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity; IDEEA_{est}, energy expenditure from the IDEEA system using estimated energy expenditures for sitting and standing, and RMR; IDEEA_{meas}, energy expenditure from the IDEEA system using measured energy expenditures for sitting and standing, and RMR.

Εικόνα 4.51. Η υπερεκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από τη συσκευή IDEEA, σε σύγκριση με τη μέθοδο Διπλά Σημασμένου Νερού. Από το "An Evaluation of the IDEEA™ Activity Monitor for Estimating Energy Expenditure", των S. Whybrow et al., 2012, *British Journal of Nutrition*, 109(1). © 2012 Stephen Whybrow et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.6: MetaLogics Personal Calorie Monitor (P.C.M.)

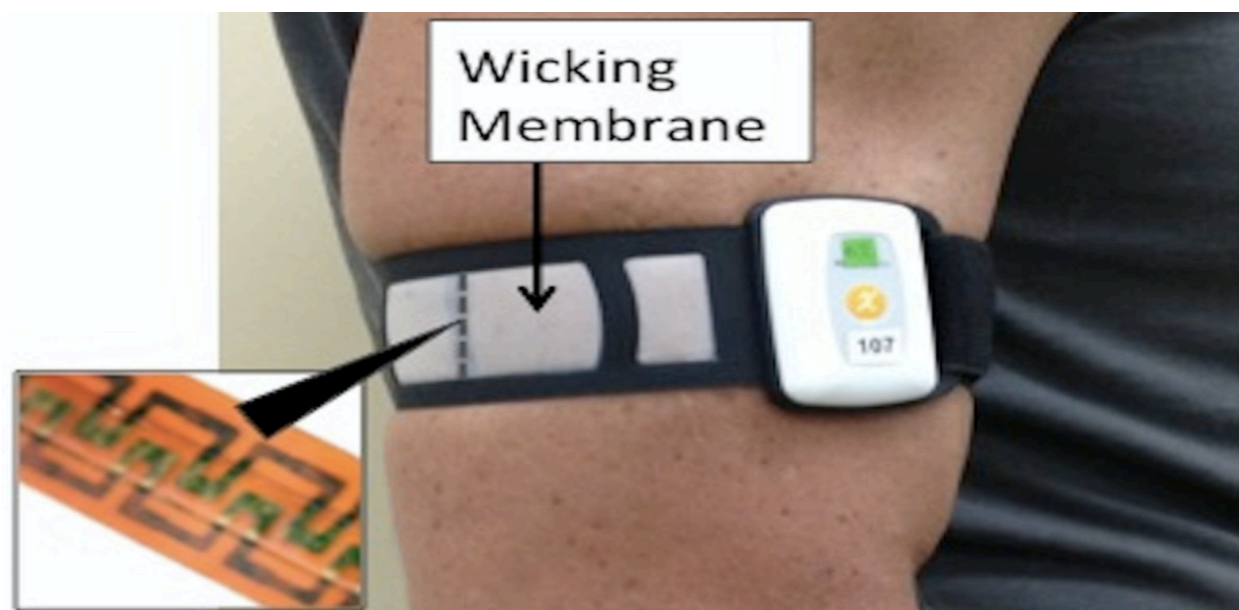
Η «έξυπνη» φορητή συσκευή με το όνομα "Personal Calorie Monitor" (PCM) της εταιρείας MetaLogics (Εικόνα 4.6) είναι ένα φορητό άμεσο θερμιδόμετρο που υπολογίζει την ενεργειακή δαπάνη από τη μέτρηση της ροής της θερμότητας, δηλαδή το σύνολο της μετάδοσης της θερμότητας με αγωγή, με μεταφορά (ή συναγωγή), με ακτινοβολία και εξάτμιση, όπως ακριβώς φαίνεται στην Εικόνα 4.61.

Αυτή η συσκευή άμεσης θερμιδομετρίας έχει σχεδιαστεί να μπορεί να φορεθεί επάνω στο σώμα (body-worn), μετρώντας τη μεταφορά θερμότητας που συμβαίνει στην επιφάνεια του δέρματος. Οι εμπορικές συσκευές που διαθέτουν αισθητήρα μέτρησης της ροής θερμότητας δέρματος, δεν είναι το ίδιο ικανοί και αποτελεσματικοί στις μετρήσεις της θερμότητας, όπως το PCM της MetaLogics. Ο αισθητήρας ροής θερμότητας που διαθέτει είναι ειδικά σχεδιασμένος για την ελάχιστη αλληλεπίδραση (ή επαφή) με την επιφάνεια του δέρματος, καθώς υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις θερμότητας, όπως η θερμική αντοχή. Στον αισθητήρα υπάρχει μία επιπρόσθετη προστατευτική μεμβράνη, η οποία επιτρέπει να μεταφερθεί ο ιδρώτας στον αισθητήρα κι έπειτα να εξατμιστεί. Έτσι, γίνεται η μέτρηση των απωλειών της θερμότητας που συμβαίνει από την εξάτμιση του ιδρώτα.

Ωστόσο, δεδομένης της αξιοπιστίας των μετρήσεων μεταφοράς θερμότητας, η εγκυρότητα και αξιοπιστία αυτής της συσκευής βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα στην εργαστηριακή μέθοδο ανταλλαγής αερίων (έμμεση θερμιδομετρία) και του Διπλά Σημασμένου Νερού. Οι σωματικές δραστηριότητες που γίνονται ανά διαστήματα μπορούν να ανιχνευθούν από αυτή τη συσκευή, αλλά υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις λόγω της χρονικής καθυστέρησης που υπάρχει ενδιάμεσα στην έναρξη της παραγωγής της θερμότητας και στη σηματοδότηση του αισθητήρα, για τη μέτρηση των απωλειών θερμότητας. Επίσης, σημαντικό ρόλο έχει το σημείο τοποθέτησης επάνω στο σώμα, καθώς μερικά σημεία στο σώμα διαφέρουν στην παραγωγή θερμότητας και στην ποσότητα εφίδρωσης. Επιπλέον, λόγω των διαφορετικών καιρικών συνθηκών και της ανάλογης ενδυμασίας, μπορεί να επηρεαστεί ο αισθητήρας από τη θερμότητα που παράγεται στο αντίστοιχο σημείο που προστίθεται ή αφαιρείται ο ρουχισμός.

(Szuminsky et al., 2014)

Εικόνα 4.6



Εικόνα 4.6. Ο ατομικός μετρητής θερμίδων της MetaLogics (Personal Calorie Monitor). Από το "Estimating Energy Expenditure Using Heat Flux Measured at Single Body Site", των K. Lyden et al., 2014, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(11). © 2014 American College of Sports Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

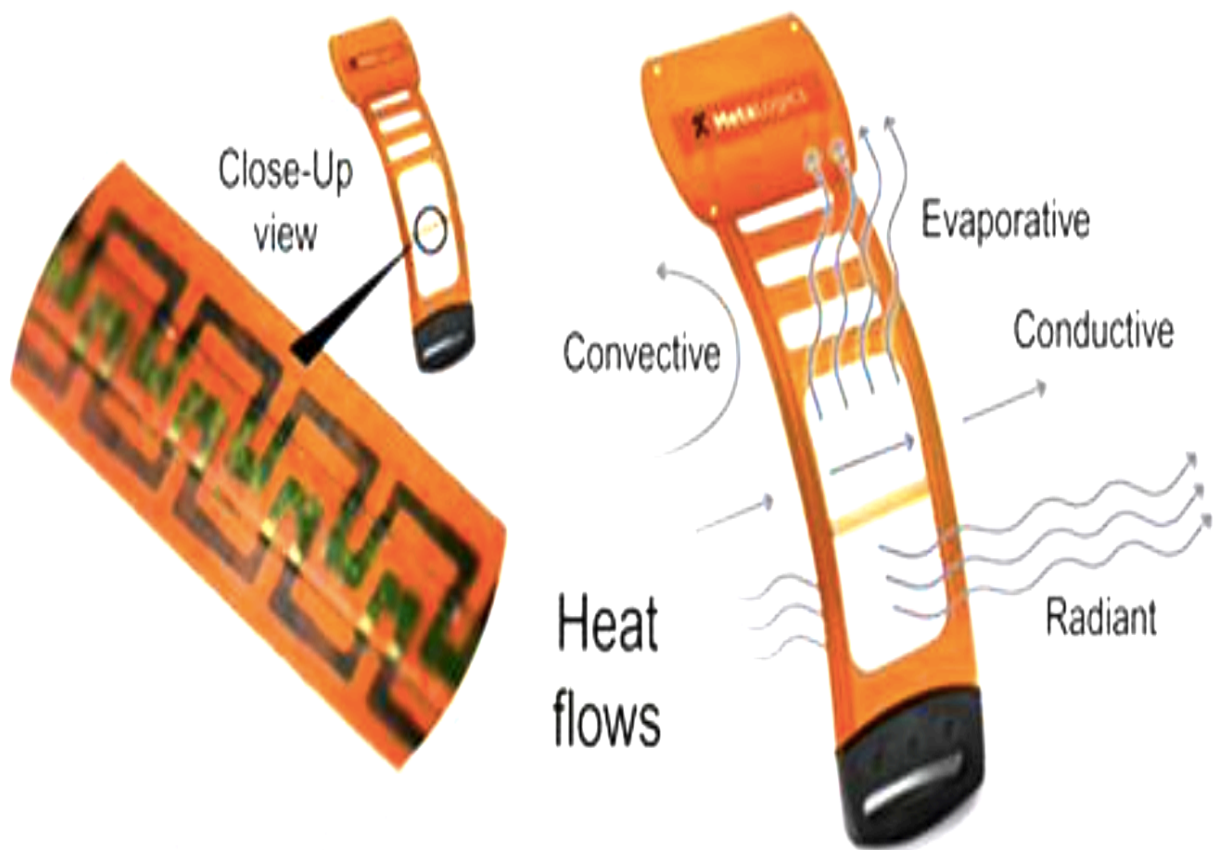
Οι υπολογισμοί της ενεργειακής δαπάνης που κάνει το PCM (kcal/hr/m^2) μετρώντας τη ροή της θερμότητας, είναι αναγκαίο να μετατραπούν σε μία αναλογία θερμίδων προς τον χρόνο (kcal/hr), πολλαπλασιάζοντας τη συνολική ροή θερμότητας (total heat flux) με την επιφάνεια της περιοχής του σώματος (body surface area - BSA). Επίσης, η θερμότητα που προσμετράται είναι η ποσότητα του ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) της παραγόμενης ενέργειας που μεταφέρεται ως θερμότητα. Συνεπώς, αυτή η παραγωγή θερμότητας πρέπει να αλλάξει και να γίνει μετατροπή στην ποσότητα της ενέργειας που παράγεται έργο (π.χ. μεταβολική αποδοτικότητα ή metabolic efficiency ME). Επομένως, η συσκευή PCM υπολογίζει την ενεργειακή δαπάνη με την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = \text{Total Heat Flux} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{hr m}^2} \right) * BSA * \frac{1}{100 \% - ME \%}$$

Εάν για παράδειγμα η μεταβολική αποδοτικότητα ήταν 25%, τότε ο παράγοντας διόρθωσης του ME θα ήταν 1,33.

Η τεχνολογία του αισθητήρα που αξιοποιείται στη συσκευή PCM, είναι με τη μορφή ενός αυτοκόλλητου εμπλάστρου που μετράει τη ροή της θερμότητας (για την άμεση θερμιδομέτρηση) και τοποθετείται επάνω στο δέρμα. Είναι ένας τύπος «έξυπνου» φορητού αισθητήρα, για τον υπολογισμό της ενεργειακής δαπάνης. Υπάρχουν αρκετές δυσκολίες για την εφαρμογή του στην καθημερινότητα ενός ανθρώπου. Δε γίνεται σωστά η μέτρηση των απωλειών της θερμότητας που συμβαίνει από την εξάτμιση του ιδρώτα, ειδικά όταν η φυσική δραστηριότητα βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και δεν υπάρχει εφίδρωση. Έτσι, η χρήση του απευθύνεται περισσότερο στον ερευνητικό και κλινικό τομέα, όπου το περιβάλλον και οι συνθήκες διαβίωσης είναι υπό έλεγχο. (Szuminsky et al., 2014)

Εικόνα 4.61



Εικόνα 4.61. Παράδειγμα ενός αισθητήρα ροής θερμότητας (άμεση θερμιδομετρία) ως έμπλαστρο στο δέρμα και η ανταλλαγή θερμότητας. Από το "Measurement of Energy Expenditure by Body-worn Heat-flow Sensors", των N. Szuminsky et al., 2014, *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications*. © 2014 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.7: Cosmed K4b2

Υπάρχουν φορητά θερμιδόμετρα που εφαρμόζονται στο σώμα (body-worn). Τα φορητά έμμεσα θερμιδόμετρα είναι διαθέσιμα, αλλά είναι αναγκαία η χρήση μίας συγκεκριμένης μάσκας, ενός τύπου σωλήνα και μερικά ογκώδη ηλεκτρονικά συστήματα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η συσκευή Cosmed K4b2 (Εικόνα 4.7), η οποία είναι μία μικρή σε μέγεθος συσκευή, με υψηλές επιδόσεις στην ανάλυση της ανταλλαγής αναπνευστικών αερίων και ουσιαστικά αποτελεί μία μινιατούρα της παραδοσιακής συσκευής έμμεσης θερμιδομετρίας που υπάρχει στα εργομετρικά εργαστήρια. Παρόλο που είναι αρκετά μικρή, ελαφριά και εύκολη στη μεταφορά της, αυτή η συσκευή για να λειτουργήσει χρειάζεται την εφαρμογή μίας μάσκας στο πρόσωπο και ένα σύστημα ανάλυσης αναπνευστικών αερίων που προσαρμόζεται στο σώμα με ειδικά λουριά. Έτσι, δεν είναι αρκετά πρακτική για τη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης σε συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης. Χρησιμοποιείται σε πολλές έρευνες ως η μέθοδος αναφοράς για τη σύγκριση της ενεργειακής δαπάνης με τις υπόλοιπες φορητές συσκευές. (Szuminsky et al., 2014)

Εικόνα 4.7



Εικόνα 4.7. Cosmed K4b2 φορητή συσκευή έμμεσης θερμιδομετρίας που εφαρμόζεται στο σώμα. Από το "Energy expenditures for activities of daily living in korean young adults: A preliminary study", των K. H. Cho et al., 2016, *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(4). © 2016 Korean Academy of Rehabilitation Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.7.1: Cosmed K5

Εικόνα 4.71

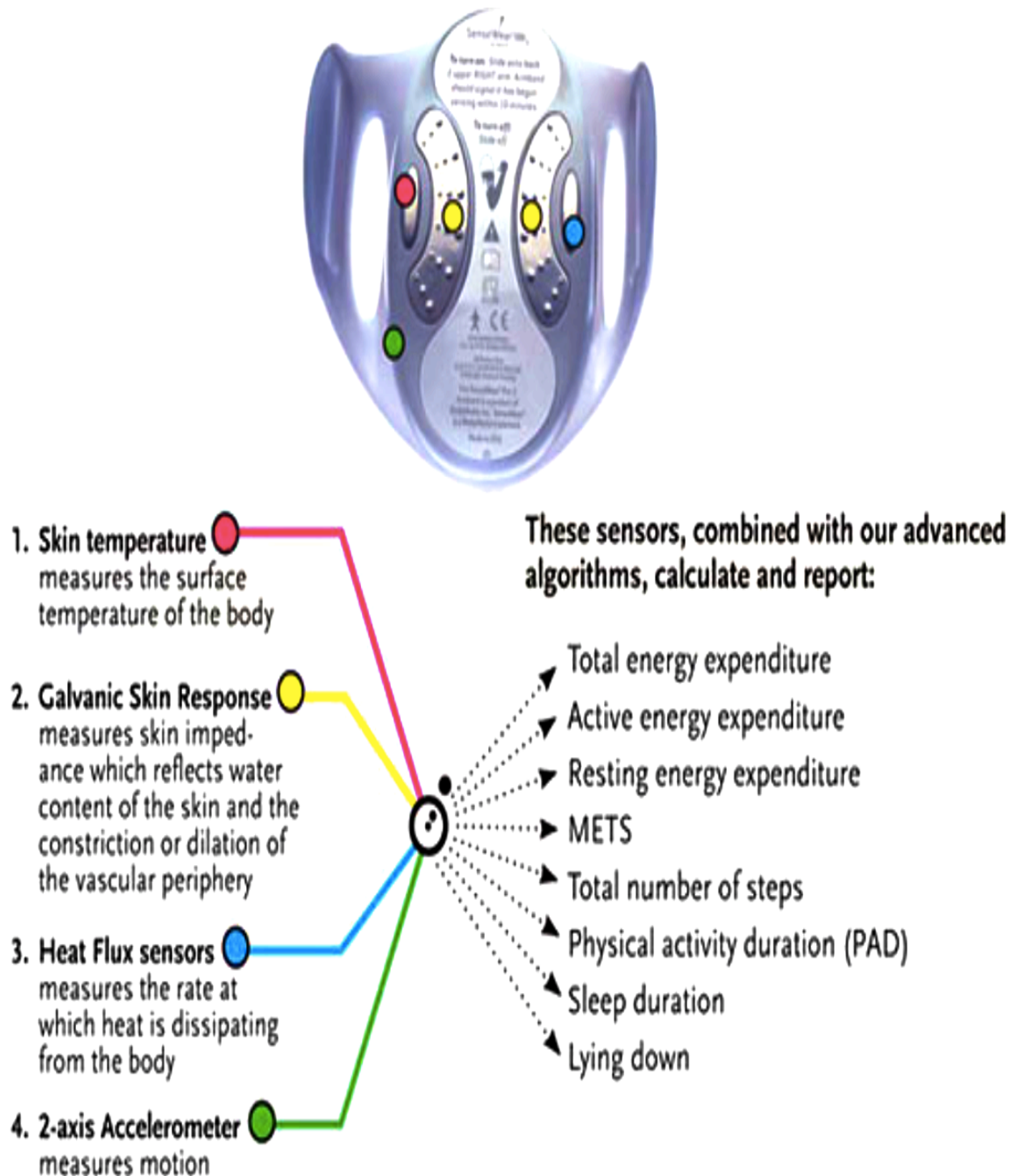


Technical Specifications	
Physical Design	
Design	Single body
IP (Protection Standard)	IP54 standard (Rugged design, weather sealed, waterproof and dust-proof)
Dimensions	174 x 111 x 64 mm (6.8 x 4.4 x 2.5 in)
Weight	750 g (1.7 lb) (900 g including battery)
Keyboard	4 keys waterproof (on/off, Rec, Home/Marker, Check/Back)
Harness	Multi-size ergonomic harness, adjustable
Mounts	Camera mount screw thread standard 1/4" 20 UNC for mounting on several physical supports
Gas & Flow Measurements	
Gas Exchange (standard)	Micro Dynamic Mixing Chamber
Gas Exchange (optional)	IntelliMET™ - Intelligent Dual Metabolic Sampling Technology (Mixing Chamber & Breath by breath) US Patent 9581539
Flowmeter	Digital Turbine, 0.08-20 l/s Flow Range, $\pm 2\%$ or 50 ml/s Accuracy, $<0.6 \text{ cmH}_2\text{O s/l}$ @ 14 l/s Resistance
O ₂ sensor	GFC 0-100% range, lifespan 12 months (user replaceable), $\pm 0.02\%$ Accuracy, $\sim 120 \text{ ms}$ response time
CO ₂ sensor	Digital NDIR, 0-10% range, $\pm 0.02\%$ Accuracy, $\sim 100 \text{ ms}$ response time
Wireless Connectivity	
Telemetry (standard)	Bluetooth 2.1 + EDR Class II (Range 10 m line-of-sight)
Telemetry (optional)	Long range Bluetooth 2.1 + EDR Class I (Up to 1000 m line-of-sight)
ANT+ Module (optional)	ANT+ engine (master/slave) for integrating ANT+ profiles up to 8 channels
Navigation & Motion Sensors	
GPS	10Hz GPS/QZSS receiver - position accuracy 2.5 m, speed accuracy 0.1 m/s
Altimeter	Barometric + GPS offset (altitude and grade)
Display	
LCD	3.5" LCD Transflective (320x240) 65K colors - high visibility with LED-backlit TFT
Touch-screen	Resistive technology, allows gloves and wet fingers
Power	
Mains	100-240 AC/DC Adapter, medical grade (complies with IEC 60601-1, class II) for direct power supply and battery charging
Battery	Rechargeable Li-ion 7.2V DC "Smart battery" w/ LCD charge status - 4 hours life and user replaceable
Battery Chargers	100-240VAC, both integrated and external (2 slots)
Backup battery	Embedded (Li-polymer)
Other	12V DC vehicle charger adapter (optional)
Environmental	
Pressure Sensors	2 sensors, integrated barometer (-600 to +5500m) and continuous monitoring of analysers pressure
Temp. & Humidity sensors	4 sensors Integrated (internal and external)
CPU & data storage	
CPU	456 MHz w/ 128MB RAM
Storage	512 MB Flash (data storage and OS), up to 2,048,000 breaths
Additional Memory	SD-HC Card 32GB/Fat32 - internal slot user accessible (for additional data storage/FW upgrade)
Ports	
USB	USB - Device (2.5 KV galvanic-isolated)
Heart Rate (AUX)	Polar® HR receiver, ECG TTL port
OS & Software	
PC Software	COSMED OMNIA (multi-language), WIN 10 compatible - Touch Screen interface, tablet ready
Device	Linux OS
Safety & Quality Standards	
MDD (93/42 /EEC); EN 60601-1 (safety) / EN 60601-1-2 (EMC)	

Εικόνα 4.71. Η πιο σύγχρονη συσκευή K5 της Cosmed. Από το "Cosmed K5 Wearable Metabolic Technology". © 2022 Cosmed. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.8: SenseWear Armband Pro 3

Εικόνα 4.8

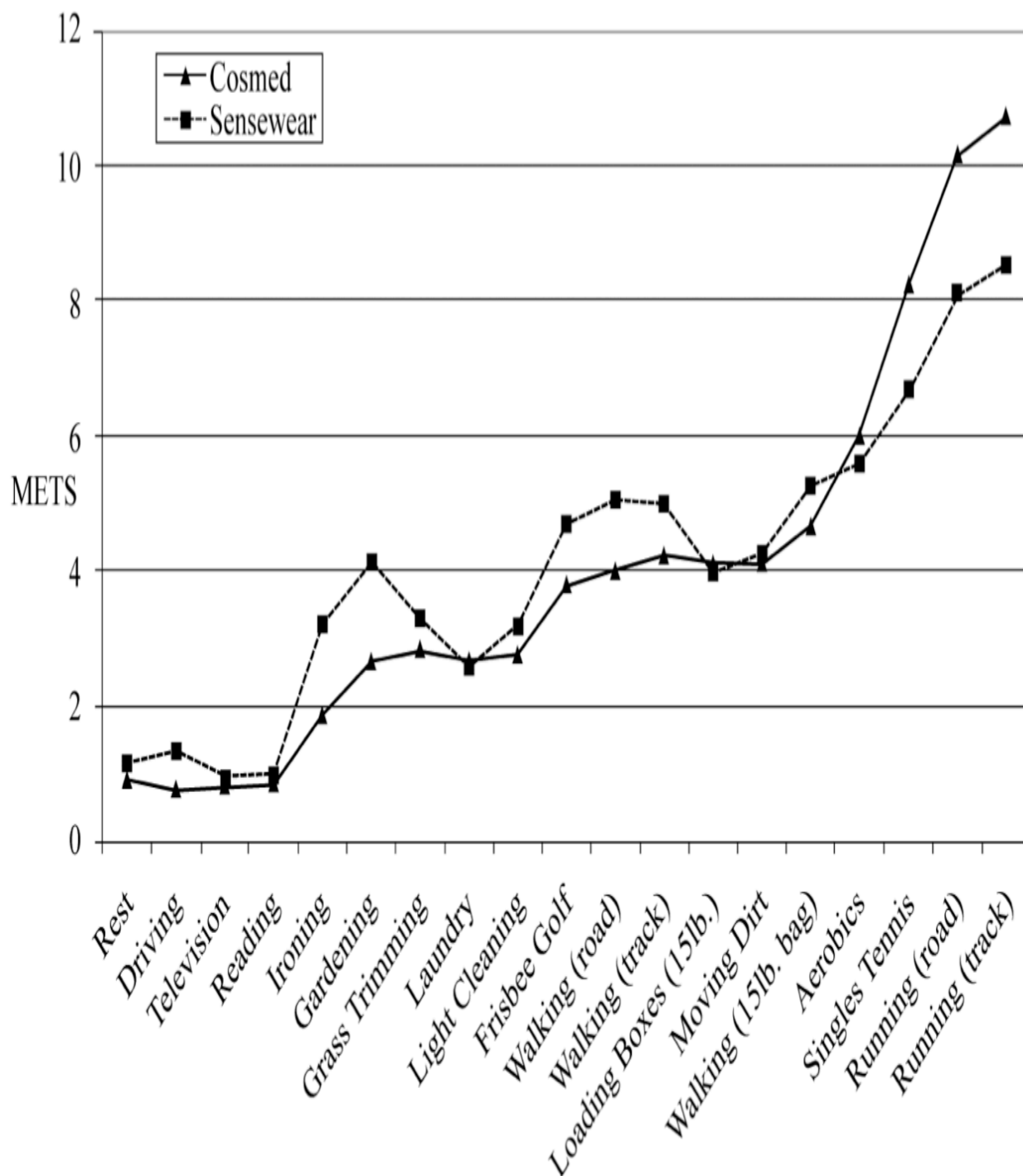


Εικόνα 4.8. Το περιβραχιόνιο SenseWear Pro 3. Από το "SenseWear Pro3 Armband: Multi-sensor innovation" στο Nutrizionistatrieste.it. © Micro Star Instruments Co., Ltd. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Το περιβραχιόνιο SenseWear της εταιρείας BodyMedia (Εικόνα 4.8) είναι μία «έξυπνη» φορητή συσκευή που συνδυάζει την επιταχυνσιομετρία μαζί με άλλους επιπρόσθετους αισθητήρες. Καταμετρώνται μεταβλητές βιολογικής φύσης, όπως είναι η θερμική ροή, η θερμοκρασία του σώματος, η περιβάλλουσα θερμοκρασία κοντά στο σώμα και η γαλβανική απόκριση του δέρματος. Η συλλογή δεδομένων γίνεται μόνο όταν η συσκευή είναι σε άμεση επαφή με το δέρμα. Οι νέες εκδόσεις της συσκευής που υπάρχουν, διαθέτουν έναν πρωτοποριακό αλγόριθμο αναγνώρισης μοτίβων (pattern-recognition algorithm), ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι αποδίδει ακριβείας υπολογισμούς της ενεργειακής δαπάνης. Αυτή η νεότερη έκδοση (SenseWear Pro3) διαθέτει επιταχυνσιόμετρο τριών διαστάσεων (τριαξονικό) και βελτιωμένες δυνατότητες. Η σωστή τοποθέτηση στο σώμα θεωρείται το ανώτερο τμήμα του αριστερού βραχίονα στο χέρι, όπου γίνεται καταμέτρηση των δεδομένων έως και 3 ή 4 εβδομάδες συνεχόμενα. Έπειτα, τα δεδομένα αναλύονται στο εξειδικευμένο λογισμικό της εταιρείας, το InnerView Research Software. Στο λογισμικό γίνεται η μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων σε μετρήσιμα δεδομένα ενεργειακής δαπάνης (kcal/min και METs), μέσω ενός αλγόριθμου που ανήκει αποκλειστικά στην εταιρεία (SenseWear v5.2). Η συσκευή λειτουργεί με μπαταρία, είναι αδιάβροχη και δεν χρειάζεται βαθμονόμηση (calibration). (Koehler et al., 2017)

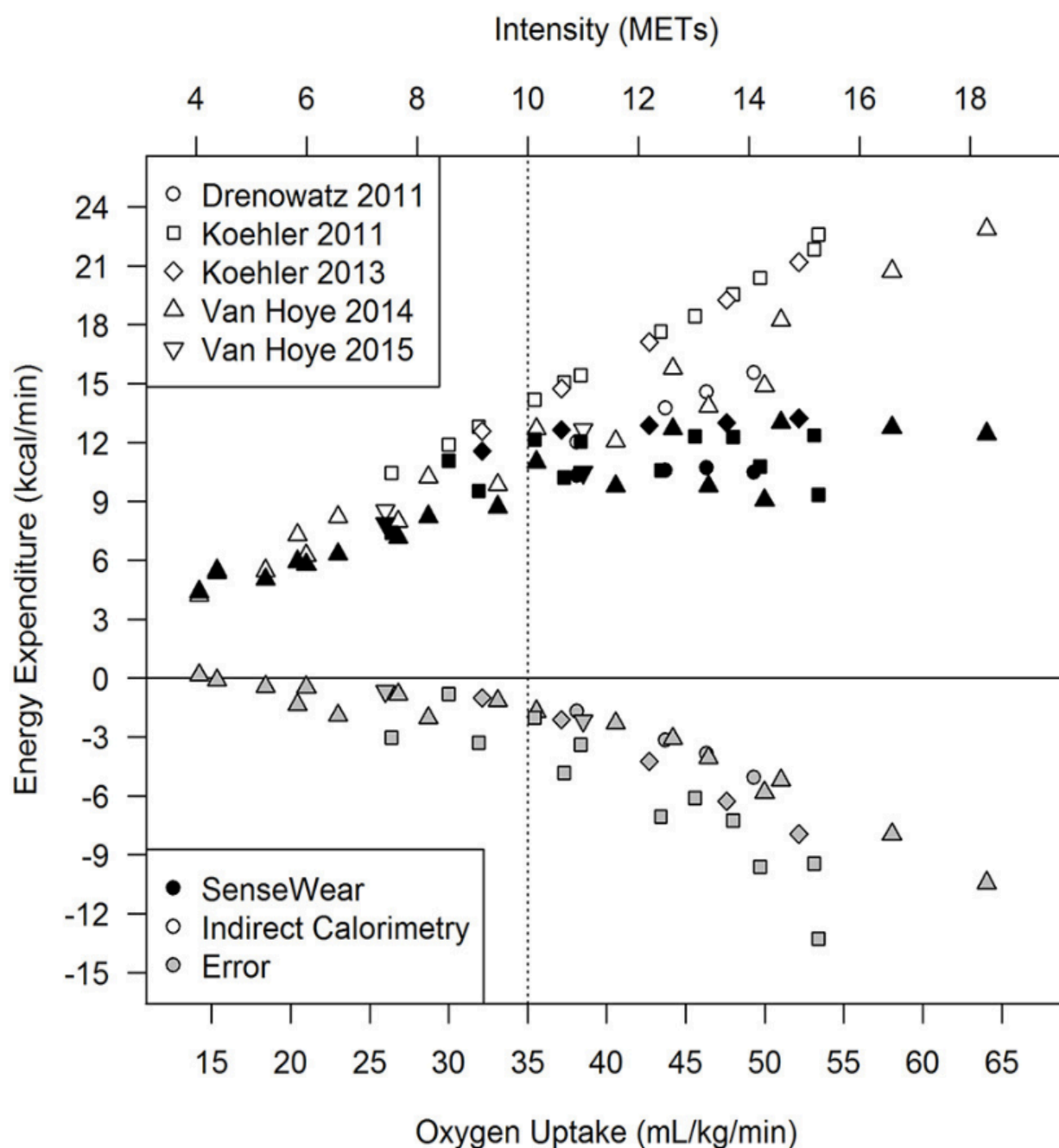
Στο γράφημα της Εικόνας 4.81 αναδεικνύονται οι διαφορές στις μετρήσεις ενεργειακής δαπάνης που γίνονται από τις συσκευές Cosmed K4b2 και SenseWear Armband Pro3, για 18 καθημερινές δραστηριότητες. Προκύπτει ότι η μέση Ενεργειακή Δαπάνη που υπολογίζεται από τη συσκευή SenseWear, συμπίπτει για 9 από τις 18 δραστηριότητες, σε σύγκριση με τη συσκευή Cosmed K4b2. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι η συσκευή SenseWear Armband Pro 3 υπερεκτιμούσε την ενεργειακή δαπάνη για τις δραστηριότητες όπως το σιδέρωμα (κατά 70%) και το χαλαρό καθάρισμα-συγύρισμα σπιτιού (κατά 15%), σε σχέση με τη συσκευή έμμεσης θερμιδομετρίας Cosmed (για τις δραστηριότητες με χαλαρή ένταση σε εσωτερικό χώρο). Η συσκευή SenseWear υπερεκτιμούσε την ενεργειακή δαπάνη για τις δραστηριότητες με ενδιάμεση ένταση όπως η οδήγηση (κατά 74%), το παιχνίδι Frisbee-Golf (κατά 24%), το περπάτημα στο δρόμο (κατά 26%) και η κηπουρική (κατά 55%), συγκριτικά με τη συσκευή Cosmed. Για τις εντονότερες ασκήσεις, η συσκευή SenseWear έδειξε υποεκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης συγκριτικά με την Cosmed, για το τένις (κατά 20%), το τρέξιμο στο δρόμο (κατά 20%) και το τρέξιμο στο γήπεδο (κατά 20%). Όλες οι δραστηριότητες πραγματοποιήθηκαν σε 10λεπτα χρονικά διαστήματα. (Dudley et al. 2012).

Εικόνα 4.81



Εικόνα 4.81. Η σύγκριση στη μέτρηση ενεργειακής δαπάνης για 18 διαφορετικές δραστηριότητες από τις συσκευές SenseWear Armband Pro 3 και Cosmed K4b2. Από το "Validity of a Multi-Sensor Armband for Estimating Energy Expenditure during Eighteen Different Activities", των P. Dudley et al., 2012, *Journal of Obesity & Weight Loss Therapy*, 2(7). © Paige Dudley. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 4.82



Εικόνα 4.82. Προηγούμενες δημοσιεύσεις μελετών που δείχνουν τις αποκλίσεις στις μετρήσεις του SenseWear Armband (μαύρες κουκίδες) και της έμμεσης θερμιδομετρίας (άσπρες κουκίδες), καθώς και τις διαφορές μεταξύ τους (γκρι κουκίδες). Από το "Monitoring Energy Expenditure Using a Multi-Sensor Device—Applications and Limitations of the SenseWear Armband in Athletic Populations", των K. Koehler και C. Drenowatz, 2017, *Frontiers in Physiology*, 8, 983. © 2017 Koehler and Drenowatz. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ωστόσο, στο γράφημα της Εικόνας 4.82 των Koehler & Drenowatz (2017) που συνδυάζονται δεδομένα από πέντε διαφορετικές μελέτες, φαίνεται ότι είναι μικρές οι αποκλίσεις στους υπολογισμούς που κάνει το περιβραχιόνιο SenseWear, σε σχέση με την Έμμεση Θερμιδομετρία για την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας, όταν τα επίπεδα έντασης της άσκησης είναι χαμηλά έως μέτρια.

Όταν οι προπονήσεις ξεπερνούν το επίπεδο των 10 METs (35 ml/kg/min), η εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας από το SenseWear Armband σταθεροποιείται (δημιουργεί plateau), ενώ αυξάνεται συνεχώς η εκτιμώμενη ενεργειακή κατανάλωση άσκησης από την Έμμεση Θερμιδομετρία.

Αυτή η κατακόρυφη αύξηση θα μπορούσε να σημαίνει, ότι υπάρχουν κάποια λανθασμένα σημεία στους υπολογισμούς. Η σημασία του λάθους στην προκειμένη περίπτωση, είναι ότι γίνεται υποεκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας στα υψηλά επίπεδα έντασης των ασκήσεων (>10 METs , high-intensity exercise) από τη συσκευή SenseWear Armband. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης, τόσο αυξάνεται και ο βαθμός υποεκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης.

Βέβαια, υπάρχουν αρκετές έρευνες για τη συσκευή SenseWear Armband που αποδεικνύουν την εγκυρότητα και ακρίβεια των μετρήσεων της συνολικής ημερήσιας ενεργειακής δαπάνης (TDEE) και της ενεργειακής δαπάνης δραστηριότητας (AEE) στο γενικό πληθυσμό. Η συσκευή SenseWear βρίσκεται υπό σύγκριση με τις μετρήσεις της μεθόδου Διπλά Σημασμένου Νερού, αλλά και της Έμμεσης Θερμιδομετρίας. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι το SenseWear Armband υπολογίζει με εγκυρότητα την ενεργειακή δαπάνη με ένα ποσοστό λάθους μέτρησης 10%, για έναν πληθυσμό που έχει την τυπική καθημερινή δραστηριότητα.

Επομένως, παρά την τάση της συσκευής SenseWear Armband να υποεκτιμάει την ενεργειακή κατανάλωση, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κλινικές δοκιμές και αθλητικές δοκιμασίες, με σκοπό τη σύγκριση των δεδομένων ενεργειακής δαπάνης που προκύπτουν από άλλες «έξυπνες» φορητές συσκευές. Επιπλέον, οι νεότερες εκδόσεις αυτής της συσκευής θα είναι βελτιωμένη ως προς τους αλγόριθμους και τους αισθητήρες, με αποτέλεσμα την καλύτερη εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης (TDEE, AEE).

(Koehler et al., 2017)

4.9: ActiGraph GT3X

Η «έξυπνη» φορητή συσκευή ActiGraph GT3X (Εικόνα 4.9) είναι ευρέως διαδεδομένη για τη χρήση της στον ερευνητικό και κλινικό τομέα. Δεν είναι διαθέσιμη προς πώληση στο αγοραστικό κοινό. Είναι ένα τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο που καταγράφει τη φυσική δραστηριότητα με ακρίβεια. Είναι μικρό, πολύ ελαφρύ στο βάρος (περίπου 27 γραμμάρια), επαναφορτιζόμενο και τοποθετείται με έναν ελαστικό ιμάντα στη μέση ενός ανθρώπου. Με το λογισμικό ActiLife είναι δυνατό να γίνουν υπολογισμοί, όπως τα συνολικά βήματα μίας ημέρας, η ενεργειακή δαπάνη δραστηριότητας, το σκορ των Μεταβολικών Ισοδύναμων Δραστηριότητας και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας (καθιστική ρουτίνα, ελαφριά δραστηριότητα, μέτρια, δραστήρια, πολύ δραστήρια ρουτίνα).

Αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων, από την τοποθέτηση της συσκευής στο ισχίο. Για να γίνει η επαλήθευση διαφόρων μετρήσεων στις έρευνες που γίνονται με το GT3X, αυτό τοποθετείται και στον καρπό ως μέτρο σύγκρισης για τις άλλες «έξυπνες» φορητές συσκευές. Ωστόσο, οι αλγόριθμοι που υπάρχουν διαθέσιμοι για το GT3X είναι μόνο για το ισχίο, αλλά μέσα από το λογισμικό ActiLife γίνεται η προσαρμογή και για τις μετρήσεις που γίνονται από τον καρπό.

(Lee et al., 2014; Mikkelsen et al., 2020)

Εικόνα 4.9



Εικόνα 4.9. Η συσκευή GT3X ή wGT3X-BT. Από το "Actigraph wGT3X-BT" στο Actigraphcorp.com. © 2022 Actigraph, LLC. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

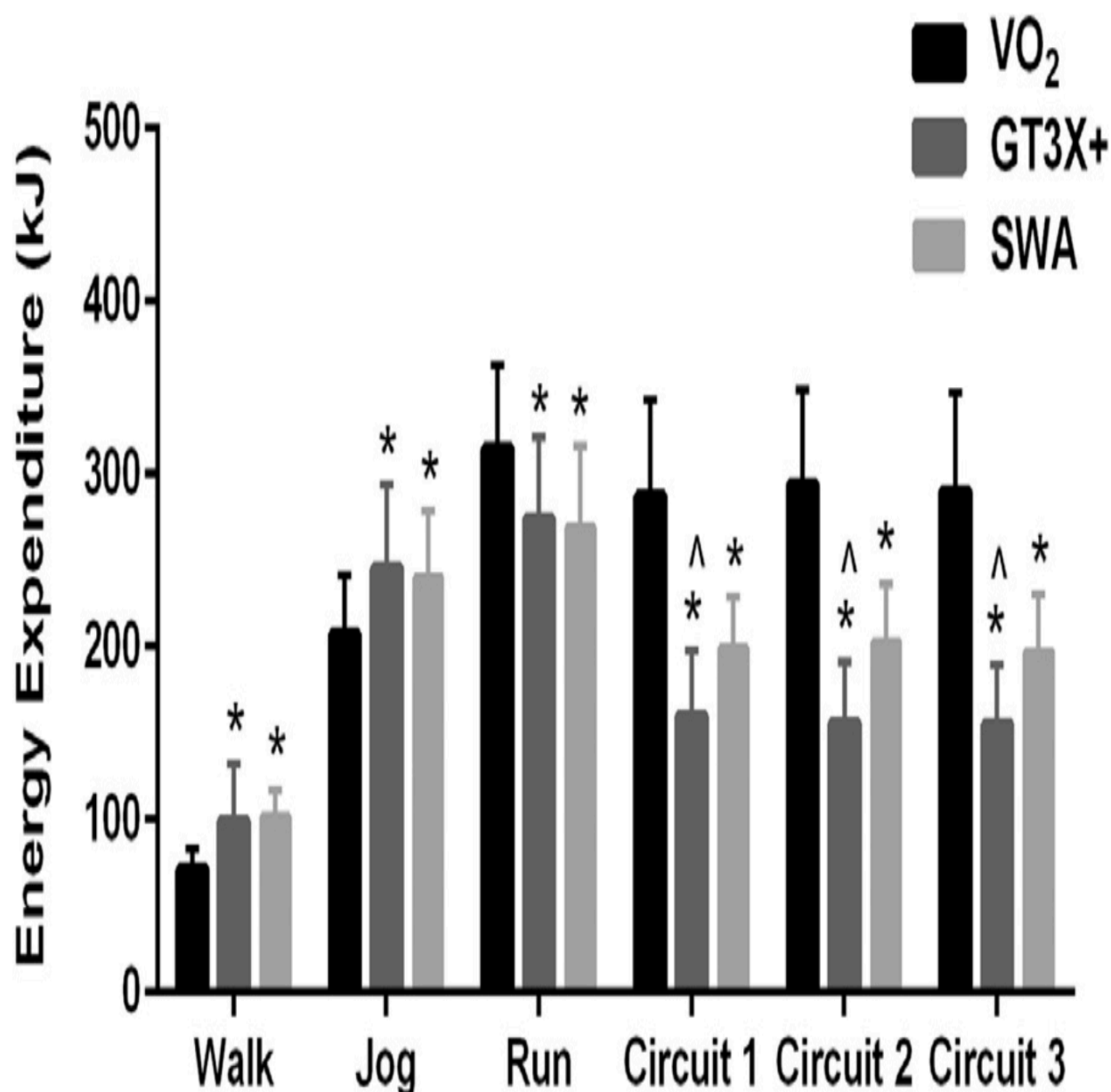
Εικόνα 4.91

The ActiGraph wGT3X-BT captures and records high resolution raw acceleration data, which is converted into a variety of objective activity and sleep measures using publicly available algorithms developed and validated by members of the academic research community. Available measures include:

- › Raw Acceleration (G's)
- › Physical Activity Intensity
- › Total Sleep Time
- › Activity Counts
- › Activity Bouts
- › Wake After Sleep Onset
- › Energy Expenditure
- › Sedentary Bouts
- › Sleep Efficiency
- › MET Rates
- › Body Position
- › Ambient Light
- › Steps Taken
- › Sleep Latency
- › Heart Rate R-R Intervals*

Εικόνα 4.91. Οι μετρήσεις που κάνει το ActiGraph GT3X. Από το "ActiGraph wGT3X-BT", στο <https://actigraphcorp.com/actigraph-wgt3x-bt/>. © 2022 ActiGraph, LLC. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 4.92



Εικόνα 4.92. Σύγκριση μεταξύ των ActiGraph GT3X+, SenseWear Armband και έμμεσης θερμιδομετρίας (MetaMax 3B portable gas analyzer) στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης 15λεπτων διαστημάτων άσκησης. Τα δεδομένα είναι οι μέσες τιμές και η τυπική τους απόκλιση. * $p < 0.01$ (σημαντική διαφορά με την έμμεση θερμιδομετρία) και $\wedge p < 0.01$ (σημαντική διαφορά μεταξύ των GT3X+ και SenseWear). Από το "Validity of the ActiGraph GT3X+ and BodyMedia SenseWear Armband to Estimate Energy Expenditure During Physical Activity and Sport", των P. B. Gastin et al., 2018, *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3). © 2017 Sports Medicine Australia. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.9.1: ActiGraph Αλγόριθμοι

Υπάρχουν πέντε διαθέσιμοι αλγόριθμοι για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης που προκύπτει από την εκτέλεση διαφόρων δραστηριοτήτων.

1. Williams Work-Energy (1998)

$$\text{kcal/s} = \text{CPM} \times 0.0000191 \times \text{BM}$$

όπου: kcal/s = Total Calories for a Single Epoch, CPM = Counts per Minute, BM = Body Mass in Kg

2. Freedson (1998)

Αυτή η εξίσωση είναι έγκυρη, αν και μόνο αν το CPM που έκανε ένας ενήλικας είναι μεγαλύτερο από 1951 (αριθμός επαναλήψεων ανά λεπτό).

Αν $\text{CPM} > 1951$, τότε:

$$\text{kcal/s/min} = \text{Scale} \times (0.00094 \times \text{CPM} + (0.1346 \times \text{BM} - 7.37418))$$

όπου: CPM = Counts per Minute, BM = Body Mass in kg

3. Freedson Combination (1998)

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ενός συνδυαστικού αλγόριθμου που χρησιμοποιεί το Θεώρημα Έργου-Ενέργειας. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί η ενεργειακή δαπάνη όταν το CPM είναι κάτω από 1951 (αριθμός επαναλήψεων ανά λεπτό).

Αν $\text{CPM} > 1951$, τότε:

$$\text{kcal/s/min} = \text{Scale} \times (0.00094 \times \text{CPM} + (0.1346 \times \text{BM} - 7.37418))$$

Αλλιώς:

$$\text{kcal/s/min} = \text{CPM} \times 0.0000191 \times \text{BM}$$

όπου: CPM = Counts per Minute, BM = Body Mass in kg

4. Freedson VM3 (2011)

Αυτή η εξίσωση αξιοποιεί όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τους τρεις άξονες, για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης.

Αν VMCPM > 2453:

$$\text{kcal/min} = 0.001064 \times \text{VM} + 0.087512(\text{BM}) - 5.500229$$

όπου: VM = Vector Magnitude ($\sqrt{(\text{Axis 1})^2 + (\text{Axis 2})^2 + (\text{Axis 3})^2}$),

VMCPM = Vector Magnitude Counts per Minute, BM = Body Mass in kg

5. Freedson VM3 Combination (2011)

Αυτή η επιλογή αλγορίθμου συνδυάζει την εξίσωση Freedson VM3 με την Williams Work-Energy, έτσι ώστε να υπολογίζεται η ενεργειακή δαπάνη όταν το VMCPM είναι μικρότερο από 2453 κινήσεις (αριθμός επαναλήψεων ανά λεπτό).

Αν VMCPM > 2453:

$$\text{kcal/min} = 0.001064 \times \text{VM} + 0.087512(\text{BM}) - 5.500229$$

Αλλιώς:

$$\text{kcal/min} = \text{CPM} \times 0.0000191 \times \text{BM}$$

όπου: VM = Vector Magnitude ($\sqrt{(\text{Axis 1})^2 + (\text{Axis 2})^2 + (\text{Axis 3})^2}$),

VMCPM = Vector Magnitude Counts per Minute, CPM = Counts per Minute, BM = Body Mass in kg

Η γραμμικότητα των παραπάνω εξισώσεων, δίνει στο λογισμικό ActiLife τη δυνατότητα να διαβαθμίσει τις περιόδους που δεν είναι 60 δευτερολέπτων, στις αντίστοιχες που είναι 60 δευτερολέπτων, ώστε να γίνει υπολογισμός των kcal σύμφωνα με τη ζητούμενη χρονική περίοδο.

Σημαντική σημείωση: οι υπολογισμοί που γίνονται από αυτούς τους αλγόριθμους είναι για την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (Active Energy Expenditure) και είναι έγκυροι για τον πληθυσμό ανθρώπων με ηλικία μεγαλύτερη των 19 ετών.

4.10: Fitbit

Τα Fitbit (Fitbit Inc.) (Εικόνα 4.10) είναι από τις πιο γνωστές εμπορικές «έξυπνες» συσκευές στο ευρύτερο αγοραστικό κοινό. Ως wearable ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας, επικράτησαν στην αγορά, καθώς απέκτησαν το 20% των μετοχών της παγκόσμιας αγοράς στις «έξυπνες» φορητές συσκευές, με περισσότερες από 63 εκατομμύρια πωλήσεις την τελευταία δεκαετία. Το μοντέλο "Classic" ήταν το πρώτο που συστάθηκε από την εταιρεία, ως μία clip-on συσκευή που τοποθετείται στον κορμό του σώματος. Αργότερα, κυκλοφόρησαν στην αγορά τα μοντέλα Ultra, Zip, One, τα οποία ήταν επίσης clip-on. Ως wearable συσκευές καρπού κυκλοφόρησαν τα μοντέλα Force, Flex, Charge, Charge HR, Surge και τα πλέον εξελιγμένα smartwatch, Sense και Versa.

Καθώς προχώρησε η τεχνολογία, έτσι προόδευσαν και τα Fitbit. Οι εξελίξεις στις νεότερες εκδόσεις των συσκευών συμπεριλαμβάνουν πρόσθετα χαρακτηριστικά, τα οποία τις καθιστούν ανταγωνιστικές συσκευές συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαθέσιμες επιλογές που προσφέρουν οι μεγάλες εταιρείες τεχνολογίας (π.χ. Apple, Garmin). Τα χαρακτηριστικά τελευταίας τεχνολογίας είναι οι αισθητήρες όπως το τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο, το ενσωματωμένο GPS και GLONASS, οι πράσινοι, κόκκινοι και υπέρυθροι αισθητήρες για τον κορεσμό οξυγόνου αίματος, το γυροσκόπιο, το αλτίμετρο, ο αισθητήρας φωτισμού περιβάλλοντος, ο αισθητήρας δονήσεως, ο οπτικός αισθητήρας καρδιακού ρυθμού, ο ηλεκτρικός αισθητήρας καρδιακής λειτουργίας (για τις λειτουργίες ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας EDA και ηλεκτροκαρδιογραφήματος ECG) και ο αισθητήρας θερμοκρασίας δέρματος. Επίσης, διαθέτει WiFi, μικρόφωνο, ηχείο και τεχνολογία NFC.

Οι ανάλογοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από την εταιρεία Fitbit για τις συσκευές της, λαμβάνουν τα δεδομένα που συλλέγονται από την καθημερινή δραστηριότητα και υπολογίζουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν την υγεία ενός ατόμου. Αυτά είναι τα βήματα, η απόσταση, η ταχύτητα, η ένταση και οι θερμίδες που δαπανώνται καθημερινά από τις διάφορες δραστηριότητες, καθώς και ο βαθμός στρες, ο αναπνευστικός ρυθμός, ο καρδιακός ρυθμός, η μεταβλητότητα καρδιακού ρυθμού, τα στάδια και η ποιότητα ύπνου, αλλά και πολλά άλλα.

(Feehan et al., 2018; *Fitbit Sense - Features & Specs*, 2020)

Εικόνα 4.10



Εικόνα 4.10. Διάφορες συσκευές Fitbit. Από το "Fitbit stress score explained: How stress tracking and management works", του J. Stables, 2022. © 2022 Wearable Ltd. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Σε μία έρευνα που έκαναν οι Feehan et al. (2018) για την εγκυρότητα των συσκευών Fitbit, απέδειξαν ότι οι υπολογισμοί που γίνονται για την Ενεργειακή Δαπάνη, δεν είναι ακριβείς, σε οποιοσδήποτε συνθήκες τις δοκίμασαν.

Συνολικά 18 μελέτες (98 συγκρίσεις ακρίβειας) εξέτασαν την εγκυρότητα των συσκευών Fitbit, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ως προς την εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης και τις σύγκριναν με τις μεθόδους αναφοράς, δηλαδή με την άμεση θερμιδομετρία (δύο μελέτες) και την έμμεση (16 μελέτες). Στις 18 μελέτες υπήρχαν υγιείς ενήλικες. Οι συσκευές Fitbit τοποθετήθηκαν είτε στον κορμό, είτε στον καρπό. Από τις 98 συγκρίσεις, οι 88 αφορούσαν την μέτρηση της Ενεργειακής Δαπάνης κατά τη δραστηριότητα, ενώ οι 10 αφορούσαν τη μέτρησή της κατά την ανάπαυση.

Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι για τις 88 συγκρίσεις των υπολογισμών για τη δραστηριότητα, το λάθος τους σπάνια βρισκόταν εντός του $\pm 3\%$ λάθους μέτρησης. Μόνο οι τέσσερις ήταν εντός του $\pm 3\%$. Οι 41 ήταν κάτω από το -3% . Οι 43 ήταν πάνω από το $+3\%$. Συνοπτικά, οι συσκευές Fitbit φάνηκε ότι τείνουν να υπερεκτιμούν την Ενεργειακή Δαπάνη κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης κάποιας δραστηριότητας (estimated mean [median] error of 4% [2%]). (Εικόνα 4.10.1)

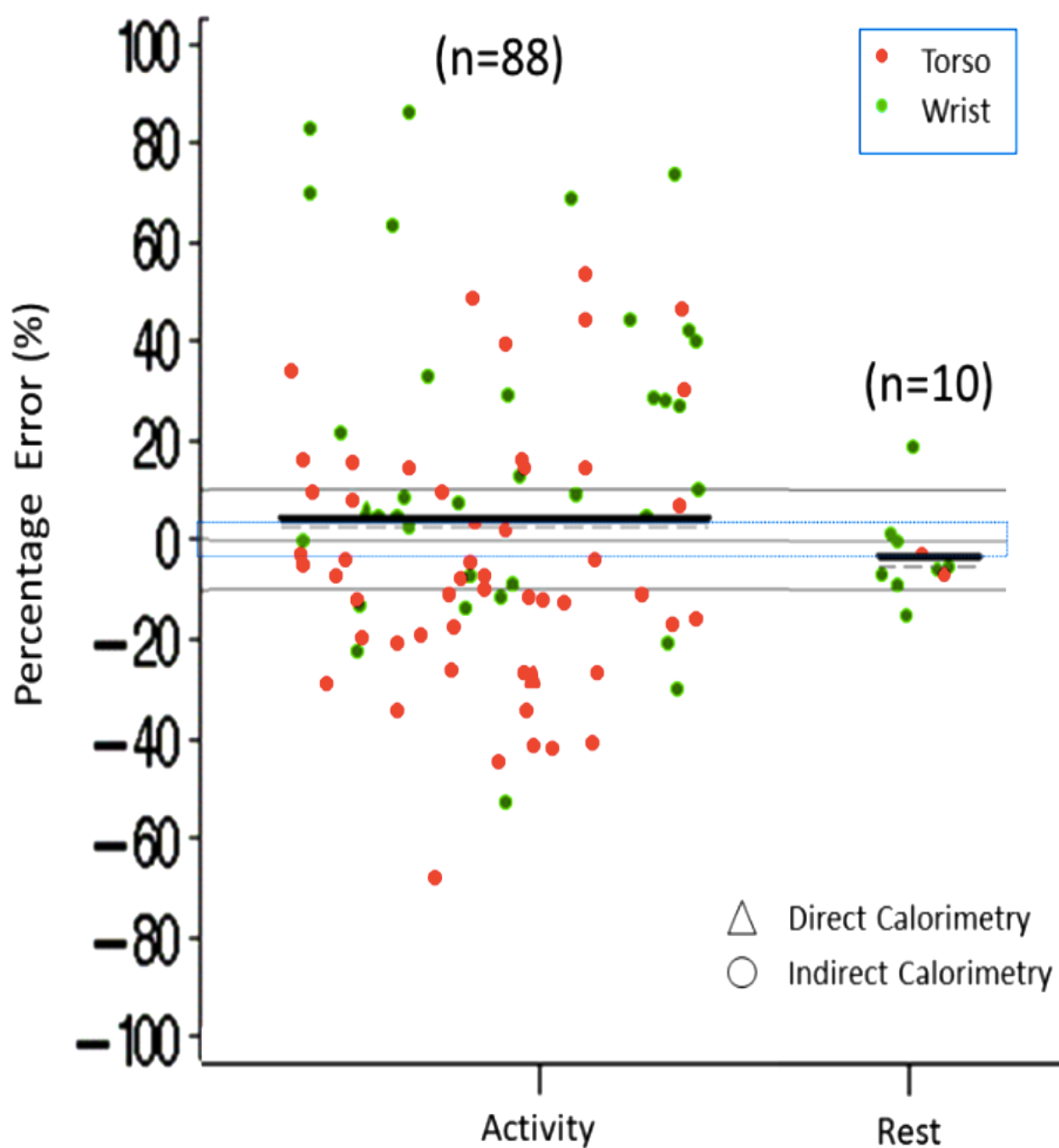
Για τις 10 συγκρίσεις των εκτιμήσεων κατά την ανάπαυση, οι τρεις ήταν εντός του $\pm 3\%$ λάθους μέτρησης. Οι έξι ήταν κάτω από το -3% και η μία ήταν πάνω από το $+3\%$. Αυτό υποδεικνύει την υποεκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης (estimated mean [median] error of -3% [-6%]). (Εικόνα 4.10.1)

Επιπρόσθετα, εξετάστηκαν οι παράγοντες που πιθανώς επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων της ενεργειακής δαπάνης. Παρατηρήθηκε ότι αυτή επηρεάζεται από την ταχύτητα της κίνησης, το μέρος τοποθέτησης της συσκευής επάνω στο σώμα, αλλά και από τον διαφορετικό τύπο της κάθε κίνησης.

Για τις διαφορετικές ταχύτητες της κίνησης, οι 8 από τις 15 συγκρίσεις για το jogging και οι 17 από τις 24 συγκρίσεις για την κανονική ταχύτητα, ήταν πάνω από το $+3\%$ (estimated mean [median] errors from 7% [5%] to 18% [12%]). Αντιθέτως, οι 25 από τις 39 συγκρίσεις για την αυτορύθμιση (self-paced) ταχύτητα κίνησης ήταν κάτω από το -3% (estimated mean [median] error of -6% [-9%]). Τέλος, οι υπόλοιπες 10 συγκρίσεις για τις μετρήσεις της Ενεργειακής Δαπάνης στην αργή και πολύ αργή ταχύτητα κίνησης, δεν φάνηκε να έχουν κάποιο ξεκάθαρο λάθος μέτρησης. (Εικόνα 4.10.2)

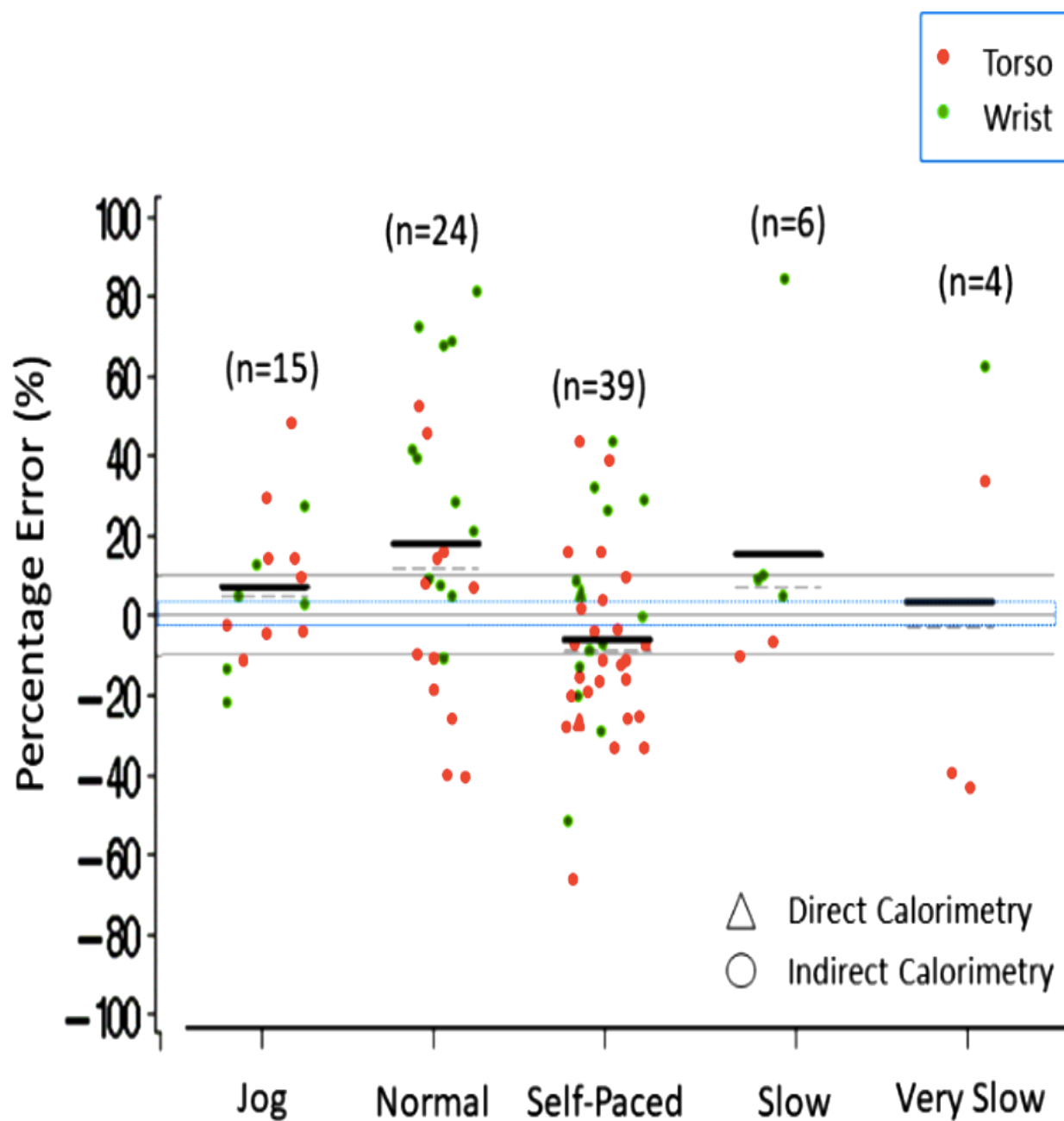
(Feehan, L.M. 2018)

Εικόνα 4.10.1



Εικόνα 4.10.1. Το ποσοστό λάθους μέτρησης της Ενεργειακής Δαπάνης για τη δραστηριότητα και την ανάπαυση σύμφωνα με το μέρος στο σώμα (κορμός, καρπός). Οι μαύρες γραμμές είναι για τον δείκτη mean. Οι διακεκομμένες γραμμές είναι για τον δείκτη median. Οι μπλε γραμμές είναι για το $\pm 3\%$ λάθος μέτρησης (measurement error). Από το "Accuracy of Fitbit Devices: Systematic Review and Narrative Syntheses of Quantitative Data", των L. M. Feehan et al., 2018, *JMIR MHealth and UHealth*, 6(8), p. 8. © 2018 Lynne M. Feehan et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 4.10.2



Εικόνα 4.10.2. Το ποσοστό λάθους μέτρησης της Ενεργειακής Δαπάνης για τις διαφορετικές ταχύτητες της κίνησης (jog, κανονική, αυτορύθμιση, αργή, πολύ αργή) σύμφωνα με το μέρος στο σώμα (κορμός, καρπός). Οι μαύρες γραμμές είναι για τον δείκτη mean. Οι διακεκομμένες γραμμές είναι για τον δείκτη median. Οι μπλε γραμμές είναι για το $\pm 3\%$ λάθος μέτρησης (measurement error). Από το "Accuracy of Fitbit Devices: Systematic Review and Narrative Syntheses of Quantitative Data", των L. M. Feehan et al., 2018, *JMIR MHealth and UHealth*, 6(8), p. 8. © 2018 Lynee M. Feehan et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

4.11: Apple Watch (Series 7)

Περίβλημα: Κάσα από ανοδιωμένο αλουμίνιο.

Κάλλυμα Πίσω Όψης: Κεραμικό υλικό και κρύσταλλο ζαφειριού

Οθόνη:

Τύπος: Πάντα ενεργή Retina LTPO OLED, 1000 nits φωτεινότητα, 16M χρώματα

Μέγεθος 41mm: 352 x 430 pixels

Μέγεθος 45mm: 396 x 484 pixels

Κάλλυμα Οθόνης: Γυαλί Ion-X.

Επεξεργαστής (Chip)

Apple S7 με 64-bit διπύρνηνο επεξεργαστή

Apple W3 ασύρματο chip

Apple U1 Ultra Wideband chip

Συνδεσιμότητα και Δίκτυα:

GPS εκδόσεις: WiFi 2.4GHz και 5GHz, Bluetooth 5.0, NFC, GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou

GPS + Cellular εκδόσεις: LTE, UMTS + WiFi 2.4GHz και 5GHz, Bluetooth 5.0, NFC, GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou

Αισθητήρες:

Ηλεκτρικός αισθητήρας καρδιακής λειτουργίας

Οπτικός αισθητήρας καρδιακής λειτουργίας τρίτης γενιάς (με τη μέθοδο της φωτοπληθυσμογραφίας)

Αισθητήρας για το οξυγόνο στο αίμα

Επιταχυνσιόμετρο μέχρι 32 g-forces

Γυροσκόπιο

Πάντα ενεργό αλτίμετρο (ανιχνεύει το υψόμετρο σε πραγματικό χρόνο)

Βαρόμετρο

Αισθητήρας φωτισμού περιβάλλοντος (Ambient light sensor)

Πυξίδα (Μαγνητόμετρο)

Λειτουργίες - Εφαρμογές:

Μόνο GPS ή GPS+Cellular μοντέλα

Αδιαβροχοποίηση: 50m ανθεκτικό στο νερό. Κατάλληλο για κολύμβηση.

Πιστοποιημένη αντοχή στη σκόνη με αξιολόγηση IPX6

Εφαρμογή «'Υπνος» (Sleep app) για την καταγραφή του ύπνου και την παρακολούθηση του αναπνευστικού ρυθμού κατά τη διάρκεια του ύπνου.

Εφαρμογή «Ενσυνειδητότητα» (Mindfulness app) με συνεδρίες «Περισυλλογής» και «Αναπνοής» για να βοηθάει τον χρήστη στην αφιέρωση λίγου χρόνου για να συλλογιστεί μια σκέψη ή ενέργεια ή στην αυτοσυγκέντρωση στην αναπνοή με μία σειρά από βαθιές αναπνοές.

Εφαρμογή «Οξυγόνωση» (Blood Oxygen app) για τη μέτρηση οξυγόνου του αίματος.

Εφαρμογή «ΗΚΓ» (ECG app) για την καταγραφή ηλεκτροκαρδιογραφήματος

Γνωστοποιήσεις για χαμηλούς και υψηλούς καρδιακούς παλμούς

Γνωστοποίηση για μη φυσιολογικό καρδιακό ρυθμό

Εφαρμογή «Θόρυβος» (Noise app) για την παρακολούθηση του θορύβου και να ειδοποιεί όταν τα decibels είναι σε επίπεδα που μπορεί να βλάψουν την ακοή.

Επιλογή «Επείγον SOS» για να καλεί γρήγορα βοήθεια και να ειδοποιεί τις επείγουσες επαφές

Επιλογή «Ανίχνευση πτώσης» για να ανιχνεύει μία άσχημη πτώση και στη συνέχεια να καλεί αυτόματα τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (π.χ. κατά την ποδηλασία ή για κάποιον άνθρωπο μεγαλύτερη ηλικίας)

Τι δεν κάνει:

Δεν μετράει τα επίπεδα γλυκόζης του αίματος

Δεν μετράει την πίεση του αίματος

Δεν υπολογίζει το επίπεδο ενυδάτωσης του οργανισμού

Δεν μετράει το αλκοόλ στο αίμα

Δεν μετράει την θερμοκρασία του σώματος

Εικόνα 4.11



Εικόνα 4.11. Η συσκευή Apple Watch Series 7. Από το "Apple Watch Series 7" στο Apple.com. © 2022 Apple Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Πώς Μετρά το Apple Watch τους Καρδιακούς Παλμούς

Το πίσω κρύσταλλο του Apple Watch Series 7 διαθέτει τέσσερις συστοιχίες πράσινων, κόκκινων και υπέρυθρων LED και τέσσερις φωτοδιόδους (Εικόνα 4.11.1). Διαθέτει έναν οπτικό αισθητήρα καρδιακής λειτουργίας για τη μέτρηση των καρδιακών παλμών και του καρδιακού ρυθμού, ακόμη κι έναν ηλεκτρικό αισθητήρα καρδιακής λειτουργίας που ενεργοποιεί την εφαρμογή «ΗΚΓ». Με τους προηγμένους αλγόριθμους που διαθέτει το λογισμικό, αξιολογείται το χρώμα του αίματος μέσω της επιστροφής του χρώματος του φωτός που αντανακλάται από τους αισθητήρες. Το έντονο κόκκινο χρώμα υποδεικνύει ότι το αίμα περιέχει περισσότερο οξυγόνο, σε σύγκριση με το σκούρο κόκκινο που περιέχει λιγότερο.

Ο οπτικός αισθητήρας καρδιακών παλμών στο Apple Watch χρησιμοποιεί μια τεχνολογία που είναι γνωστή ως φωτοπληθυσμογραφία (PPG), η οποία βασίζεται στην απορρόφηση του πράσινου φωτός, επειδή το αίμα είναι κόκκινο και αντανακλά το κόκκινο φως. Το Apple Watch χρησιμοποιεί πράσινες λυχνίες LED σε συνδυασμό με φωτοευαίσθητες φωτοδιόδους, για να ανιχνεύσει την ποσότητα του αίματος που ρέει από τον καρπό, για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Όταν χτυπάει η καρδιά, είναι μεγαλύτερη η ροή του αίματος στον καρπό, επομένως και η απορρόφηση του πράσινου φωτός είναι μεγαλύτερη. Ανάμεσα στους παλμούς, είναι μικρότερη. Αναβοσβήνοντας τις λυχνίες LED εκατοντάδες φορές ανά δευτερόλεπτο, το Apple Watch μπορεί να υπολογίσει τον αριθμό των χτύπων της καρδιάς κάθε λεπτό, δηλαδή τους καρδιακούς παλμούς. Ο οπτικός αισθητήρας καρδιακών παλμών υποστηρίζει ένα εύρος 30-210 παλμών ανά λεπτό. Επιπλέον, ο οπτικός αισθητήρας καρδιακών παλμών έχει σχεδιαστεί ώστε να αντισταθμίζει τα χαμηλά επίπεδα σήματος αυξάνοντας τη φωτεινότητα LED και τον ρυθμό δειγματοληψίας.

Ο οπτικός αισθητήρας καρδιακών παλμών χρησιμοποιεί υπέρυθρο φως όταν το Apple Watch μετρά τους καρδιακούς παλμούς στο παρασκήνιο, καθώς και για τις γνωστοποιήσεις καρδιακών παλμών. Το Apple Watch χρησιμοποιεί πράσινες λυχνίες LED για να μετρήσει τους καρδιακούς παλμούς, καθώς και για να υπολογίσει τους μέσους παλμούς βάρδισης και τη μεταβλητότητα καρδιακών παλμών (HRV). Τα μοντέλα Apple Watch διαθέτουν επίσης, ενσωματωμένα ηλεκτρόδια στο Digital Crown και στην πίσω όψη του Apple Watch, τα οποία μπορούν να μετρούν τα ηλεκτρικά σήματα στην καρδιά. Όταν τοποθετείται ένα δάχτυλο στο Digital Crown, δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα μεταξύ της καρδιάς και των δύο χεριών, καταγράφοντας τις ηλεκτρικές ώσεις στο στήθος.

(Apple Support, 2021b)

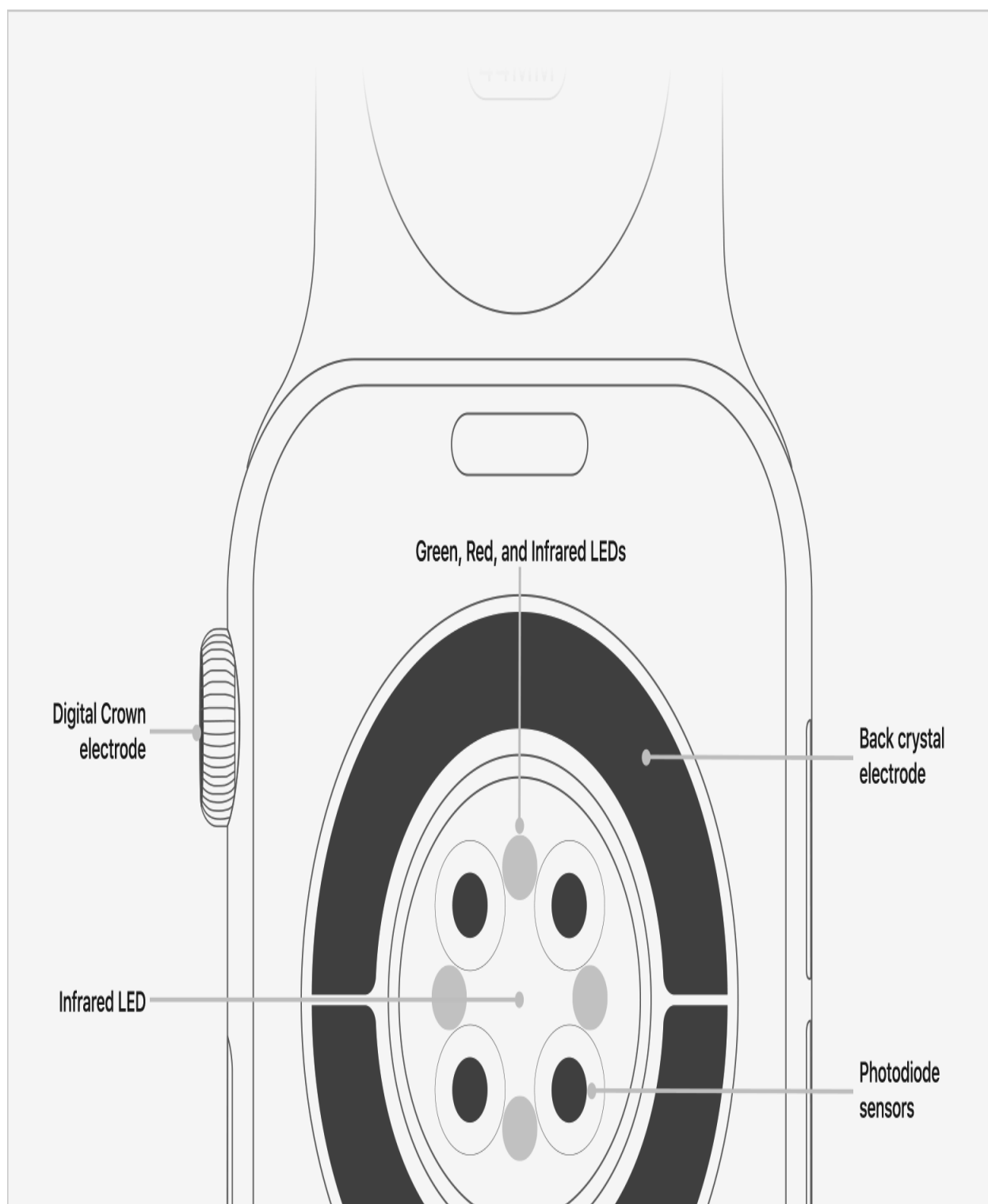
Τρόπος Λειτουργίας της Εφαρμογής «ΗΚΓ»

Η εφαρμογή «ΗΚΓ» στα μοντέλα Apple Watch παράγει ένα ΗΚΓ το οποίο είναι παρόμοιο με ένα ΗΚΓ μονής απαγωγής (ή απαγωγής Ι). Σε κάποιο ιατρείο συνήθως πραγματοποιείται ΗΚΓ 12 απαγωγών. Το ΗΚΓ 12 απαγωγών καταγράφει τα ηλεκτρικά σήματα από διαφορετικές γωνίες στην καρδιά για την παραγωγή δώδεκα διαφορετικών κυματομορφών. Η εφαρμογή «ΗΚΓ» στο Apple Watch μετρά μια κυματομορφή παρόμοια με μία από αυτές τις δώδεκα κυματομορφές. Ένα ΗΚΓ μονής απαγωγής είναι σε θέση να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους καρδιακούς παλμούς και τον καρδιακό ρυθμό, ενώ δίνει τη δυνατότητα ταξινόμησης της κολπικής μαρμαρυγής. Ωστόσο, το ΗΚΓ μονής απαγωγής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να εντοπίσει ορισμένες παθήσεις (π.χ. καρδιακή προσβολή).

Σε μελέτες που σύγκριναν την εφαρμογή «ΗΚΓ» στο Apple Watch με ένα τυπικό ΗΚΓ 12 απαγωγών που πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα, υπήρχε συμφωνία μεταξύ της ταξινόμησης του καρδιακού ρυθμού ως φλεβοκομβικού ή ως κολπικής μαρμαρυγής. Η ικανότητα της εφαρμογής «ΗΚΓ» να ταξινομεί με ακρίβεια μια καταγραφή ΗΚΓ ως κολπική μαρμαρυγή και φλεβοκομβικό ρυθμό, ελέγχθηκε στο πλαίσιο κλινικής μελέτης. Τα αποτελέσματα κλινικής αξιολόγησης αντανακλούν τη χρήση σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον. Κατά τη χρήση της εφαρμογής «ΗΚΓ» στην καθημερινή πράξη ενδέχεται να προκύψει μεγαλύτερος αριθμός καταγραφών οι οποίες δεν θεωρούνται καταληκτικές, ούτε παρέχουν δυνατότητα ταξινόμησης.

(Apple Support, 2021b)

Εικόνα 4.11.1



Εικόνα 4.11.1. Ο αισθητήρας καρδιακού ρυθμού στο Apple Watch. Από το "Monitor your heart rate with Apple Watch" στο *Apple Support*. Ανακτήθηκε 2 Φεβρουαρίου, 2022, από <https://support.apple.com/en-us/HT204666>. © 2022 Apple Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Αισθητήρα Καρδιακών Παλμών

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις επιδόσεις του αισθητήρα καρδιακών παλμών του Apple Watch. Η αιμάτωση του δέρματος (δηλαδή πόσο αίμα ρέει στο δέρμα σας) είναι ένας παράγοντας. Η αιμάτωση του δέρματος διαφέρει σημαντικά από άτομο σε άτομο και μπορεί επίσης να επηρεάζεται από το περιβάλλον. Για παράδειγμα, στο εξωτερικό κρύο η αιμάτωση του δέρματος στον καρπό μπορεί να είναι πολύ χαμηλή για να καταφέρει ο αισθητήρας καρδιακών παλμών να λάβει μια μέτρηση.

Οι μόνιμες ή προσωρινές αλλαγές στο δέρμα, όπως ορισμένα τατουάζ, μπορούν επίσης να επηρεάσουν την απόδοση του αισθητήρα καρδιακών παλμών. Το μελάνι, το σχέδιο και ο κορεσμός ορισμένων τατουάζ μπορεί να εμποδίζουν το φως στον αισθητήρα, δυσκολεύοντας τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων.

Η κίνηση είναι ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τον αισθητήρα καρδιακών παλμών. Οι ρυθμικές κινήσεις, όπως το τρέξιμο ή η ποδηλασία, παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις άτακτες κινήσεις, όπως το τένις ή το μπόξ.

Όταν χρησιμοποιείται η εφαρμογή «Προπόνηση» ή "Workout", το Apple Watch μετράει συνεχώς τους καρδιακούς παλμούς κατά τη διάρκεια της προπόνησης, καθώς και για 3 λεπτά μετά το τέλος της προπόνησης, ώστε να υπολογίσει τους παλμούς αποθεραπείας προπόνησης.

Αυτές οι πληροφορίες, καθώς και άλλα δεδομένα που συλλέγει, βοηθούν το Apple Watch να εκτιμήσει πόσες θερμίδες έχουν καεί (ή πόση ενέργεια δαπανήθηκε). Επιπλέον, το Apple Watch μετρά τους καρδιακούς παλμούς στη διάρκεια της ημέρας, σε ακινησία και σε τακτά διαστήματα κατά το περπάτημα. Καθώς το Apple Watch λαμβάνει αυτές τις μετρήσεις στο παρασκήνιο με βάση τη δραστηριότητα, το διάστημα μεταξύ των μετρήσεων ποικίλλει. Το Apple Watch υπολογίζει επίσης, τους ημερήσιους παλμούς ηρεμίας και τους μέσους παλμούς βάδισης, συσχετίζοντας τις ενδείξεις καρδιακών παλμών στο παρασκήνιο, με τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου.

(Apple Support, 2021b)

Τι Είναι το Οξυγόνο Αίματος

Το οξυγόνο αίματος είναι ένα μέτρο της ποσότητας του οξυγόνου που υπάρχει στην πρωτεΐνη (αιμοσφαιρίνη) των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Το επίπεδο οξυγόνωσης εκφράζει το ποσοστό οξυγόνου που μεταφέρουν τα ερυθρά αιμοσφαίρια από τους πνεύμονες στο υπόλοιπο σώμα. Όσο καλύτερα εκτελεί το αίμα αυτήν τη ζωτική λειτουργία, τόσο καλύτερη είναι η συνολική ευεξία.

Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν επίπεδο οξυγόνωσης 95 έως 100%. Ωστόσο, ορισμένοι άνθρωποι ζουν μια φυσιολογική ζωή με επίπεδα οξυγόνωσης κάτω του 95%. Ελαφρώς χαμηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια του ύπνου είναι αναμενόμενες και ορισμένοι χρήστες μπορεί να παρουσιάσουν τιμές κάτω από το 95%. Επίσης, είναι γνωστό και ως «κορεσμός οξυγόνου» (SpO₂). Είναι εντελώς διαφορετικό από το VO₂max, έναν άλλο δείκτη υγείας που σχετίζεται με τα επίπεδα οξυγόνου, ο οποίος μετράει την ικανότητα του σώματος να αξιοποιεί το διαθέσιμο οξυγόνο κατά την εκτέλεση μίας άσκησης ή προπόνησης.

Τρόπος Λειτουργίας της Εφαρμογής «Οξυγόνωση»

Ο οπτικός αισθητήρας καρδιακών παλμών στο Apple Watch έχει επανασχεδιαστεί έτσι ώστε να προστεθεί η δυνατότητα μέτρησης του οξυγόνου του αίματος. Κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης οξυγόνωσης, το πίσω κρύσταλλο ακτινοβολεί κόκκινα και πράσινα LED και υπέρυθρο φως στον καρπό. Οι φωτοδιόδοι στη συνέχεια μετρούν την ποσότητα φωτός που αντανακλάται.

Σύνθετοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα για να υπολογίσουν το χρώμα του αίματος. Το χρώμα προσδιορίζει το επίπεδο οξυγόνωσης: το έντονο κόκκινο αίμα έχει περισσότερο οξυγόνο, ενώ το σκούρο κόκκινο αίμα έχει λιγότερο οξυγόνο.

(Apple Support, 2021a)

Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Μέτρηση Οξυγόνωσης

Ενδέχεται η μέτρηση οξυγόνωσης να μην είναι αξιόπιστη κάθε φορά. Οι παράγοντες που εμποδίζουν την πραγματοποίηση μίας μέτρησης οξυγόνωσης είναι:

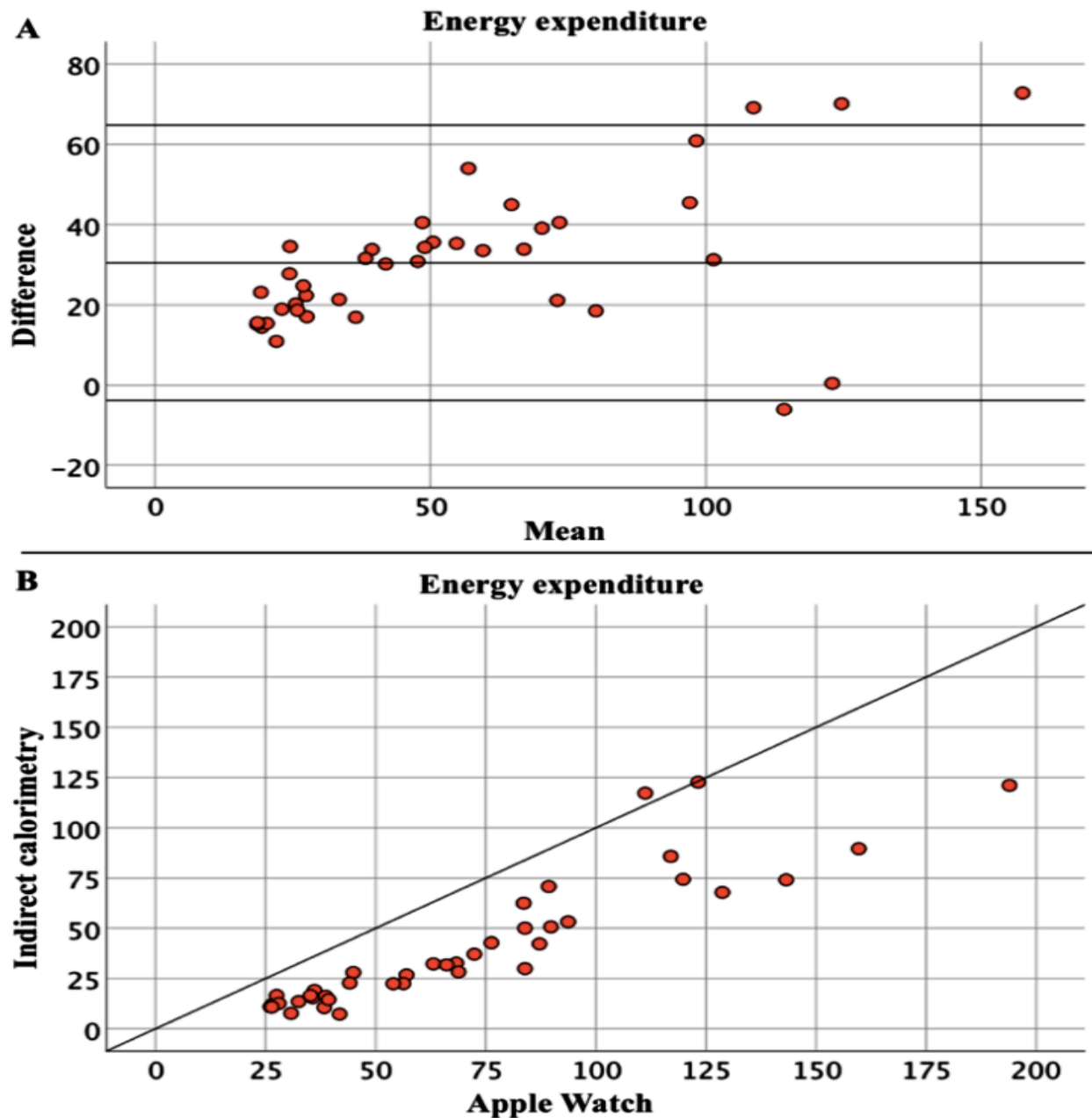
- Η αιμάτωση του δέρματος (δηλαδή πόσο αίμα ρέει στο δέρμα) διαφέρει σημαντικά από άτομο σε άτομο και επηρεάζεται από το περιβάλλον. Έξω στο κρύο, η αιμάτωση του δέρματος στον καρπό μπορεί να είναι πολύ χαμηλή για να καταφέρει ο αισθητήρας να λειτουργήσει για την πραγματοποίηση μέτρησης.
- Οι μόνιμες ή προσωρινές αλλαγές στο δέρμα, όπως ορισμένα τατουάζ, έχουν ως αποτέλεσμα την αποτυχία στις μετρήσεις. Το μελάνι και το μέγεθος σχεδίου μπορεί να εμποδίζουν το φως στον αισθητήρα.
- Η κίνηση είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη δυνατότητα λήψης επιτυχημένων μετρήσεων. Ορισμένες στάσεις σώματος, όπως με τα χέρια κρεμασμένα στα πλευρά ή τα δάχτυλα σε θέση γροθιάς.
- Αν οι καρδιακοί παλμοί είναι πολύ υψηλοί (πάνω από 150 bpm) σε ηρεμία.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που μειώνουν τα επίπεδα οξυγόνου του αίματος. Είναι οι αλλαγές στο περιβάλλον διαβίωσης και οι αλλαγές στο σώμα. Το υψόμετρο είναι ο πιο κοινός περιβαλλοντικός παράγοντας. Σε μεγάλο υψόμετρο όπως σε κάποιο βουνό ή αεροπλάνο, υπάρχει λιγότερο διαθέσιμο οξυγόνο στον αέρα. Επομένως, είναι λιγότερο και το οξυγόνο που μπορεί να απορροφήσει το αίμα από τους πνεύμονες, σε αυτά τα περιβάλλοντα. Οι σωματικές αλλαγές που προκαλούν πτώση στα επίπεδα οξυγόνου οφείλονται στη μείωση των αναπνοών. Παραδείγματα κάποιων παθήσεων είναι οι αναπνευστικές παθήσεις, οι καρδιακές παθήσεις και η υπνική άπνοια (αποφρακτική). Η παρατεταμένη έλλειψη οξυγόνου ονομάζεται υποξία και είναι πολύ επικίνδυνη. Προσοχή σε αυτή την περίπτωση χρειάζονται τα συμπτώματα όπως πονοκέφαλος, σύγχυση, υψηλή πίεση αίματος, υψηλός καρδιακός ρυθμός, βήχας και δύσπνοια.

(Apple Support, 2021a)

Η Ακρίβεια Εκτίμησης της Ενεργειακής Δαπάνης από το Apple Watch

Εικόνα 4.11.2



Εικόνα 4.11.2. Η υπereκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης από το Apple Watch (πρώτης γενιάς) σε σύγκριση με την έμμεση θερμιδομετρία (Jaeger Oxycon). (A) Το συστηματικό λάθος σε Bland-Altman plot. (B) Το συστηματικό λάθος σε scatterplot. Από το "Accuracy of Apple Watch Measurements for Heart Rate and Energy Expenditure in Patients With Cardiovascular Disease: Cross-Sectional Study", των M. Falter et al., 2019, *JMIR MHealth and UHealth*, 7(3). © Maarten Falter et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Για την Ενεργειακή Δαπάνη, το SDD ήταν 17.5 και το bias ήταν 30.47. Το ICC ήταν 0.797, το οποίο θεωρείται καλή συσχέτιση. Το MAPE ήταν 114.72%, το οποίο είναι υψηλό.

Το SDD είναι εντός του αποδεκτού εύρους για την κλινική πρακτική. Ωστόσο, το bias είναι αρκετά μεγάλο, κάτι που σημαίνει ένα συστηματικό λάθος με ένα μέσο όρο 30.47 kcal για κάθε τεστ CPET που γίνεται με τη χρήση Apple Watch (πρώτης γενιάς - first generation) ώστε να μετρηθεί η Ενεργειακή Δαπάνη σε σύγκριση με την έμμεση θερμιδομετρία. Αυτό το συστηματικό λάθος φαίνεται επίσης, στην ανάλυση του scatterplot (Εικόνα 4.11.2 Β) που συγκρίνει άμεσα το Apple Watch (1st generation) με την έμμεση θερμιδομετρία. Δηλαδή, οι μετρήσεις της έμμεσης θερμιδομετρίας συσχετίζονται με τις εκτιμήσεις του Apple Watch που είναι υψηλές και αυτό σημαίνει ότι το Apple Watch υπερεκτιμάει την Ενεργειακή Δαπάνη. Στο Bland-Altman plot (Εικόνα 4.11.2 Α), οι τιμές βρίσκονται γύρω από το συστηματικό λάθος 30.47 και μάλιστα όλες οι τιμές βρίσκονται στο θετικό τμήμα.

Επομένως, το συμπέρασμα είναι ότι κατά τη διάρκεια ενός CPET (Cardiopulmonary Exercise Test), το Apple Watch πρώτης γενιάς υπολογίζει με υψηλότερες τιμές την Ενεργειακή Δαπάνη σε σύγκριση με την έμμεση θερμιδομετρία (Jaeger Oxycon, Vyaire Medical Inc), στους ασθενείς που είναι διαγνωσμένοι με καρδιακές παθήσεις.

(Falter et al., 2019)

4.12: Garmin fenix 6 pro

Υλικό φακού: Corning Gorilla Glass DX ή Κρύσταλλο ζαφειριού

Υλικό στεφάνης: Ανοξείδωτο ατσάλι ή Τιτάνιο

Υλικό πλαισίου: Πολυμερές ενισχυμένο με ίνες. Μεταλλικό οπίσθιο κάλυμμα

Οθόνη: Ευανάγνωστη στον ήλιο, Memory-in-pixel (MIP). Διάμετρος 1.3 inches. 260 x 260 pixels.

Αδιαβροχοποίηση: 10 ATM ή 100 μέτρα

Αυτονομία μπαταρίας:

Λειτουργία smartwatch: Έως 14 ημέρες

Λειτουργία GPS: Έως 36 ώρες

Λειτουργία GPS + Μουσική: Έως 10 ώρες

Μέγιστη λειτουργία με GPS: 72 ώρες

Λειτουργία εξοικονόμησης με GPS: 28 ημέρες

Λειτουργία εξοικονόμησης μπαταρίας ρολογιού: 48 ημέρες

Αισθητήρες:

GPS, GLONASS, GALILEO

Garmin Elevate μετρητής καρδιακού ρυθμού από τον καρπό

Βαρομετρικό αλτίμετρο

Πυξίδα (Μαγνητόμετρο)

Γυροσκόπιο

Επιταχυνσιόμετρο

Θερμόμετρο (για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Παλμικό οξύμετρο (κορεσμός οξυγόνου αίματος)

Συνδεσιμότητα: Bluetooth, ANT+, WiFi, GPS, GLONASS, GALILEO

Καταγραφή δραστηριοτήτων:

Μετρητής βημάτων

Μπάρα κίνησης (εμφανίζεται μετά από μία περίοδο αδράνειας)

Αυτόματος στόχος (μαθαίνει τη φυσική κατάσταση του ατόμου και θέτει ένα καθημερινό στόχο βημάτων)

Παρακολούθηση ύπνου (καταγράφει τον συνολικό ύπνο και τις περιόδους ήσυχου και ανήσυχου ύπνου)

Θερμιδομετρητής

Απόσταση που διανύθηκε

Λεπτά έντασης

Φυσική κατάσταση

Body Battery (υπολογισμός αποθεμάτων ενέργειας του σώματος)

Ολοήμερη καταγραφή στρες

Εφαρμογές γυμναστηρίου και φυσικής κατάστασης:

Αερόβιες προπονήσεις

Προπονήσεις ενδυνάμωσης

Προπονήσεις γιόγκα

Προπονήσεις πιλάτες

Εικονογραφημένες προπονήσεις στην οθόνη

Αυτόματος μετρητής επαναλήψεων

Λειτουργίες καρδιακών παλμών:

Ζώνες καρδιακών παλμών

Ειδοποιήσεις καρδιακών παλμών

Θερμίδες καρδιακών παλμών

Ποσοστό μέγιστων καρδιακών παλμών

Αυτόματος εντοπισμός μέγιστων καρδιακών παλμών

Ρυθμός αναπνοής (κατά τη διάρκεια άσκησης, του ύπνου και ολοήμερος)

Εικόνα 4.12



Εικόνα 4.12. Η συσκευή Garmin fenix 6 pro. Από το "Garmin fenix 6 pro" στο Garmin.gr.
© 2022 Garmin. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ακρίβεια των δεδομένων από τις μετρήσεις Φυσικής Κατάστασης

Τα Garmin smartwatches (Εικόνα 4.12) είναι απλά εργαλεία που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της υγείας και τα επίπεδα δραστηριότητας ενός ατόμου. Είναι κατασκευασμένα με ειδικούς αισθητήρες που καταγράφουν κάθε είδους κίνηση και άλλα βιομετρικά δεδομένα. Τα δεδομένα που καταγράφονται και παρουσιάζονται ως αποτελέσματα στην οθόνη του κάθε χρήστη, αποτελούν πολύ κοντινές εκτιμήσεις σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές. Ακριβώς, επειδή πρόκειται για εκτιμήσεις αυτών των μετρήσεων, τα Garmin wearables δεν αναφέρονται ως ιατρικές συσκευές και τα δεδομένα που παρέχουν δεν εξυπηρετούν για οποιοδήποτε είδος ιατρικής χρήσης. Δηλαδή, με τα αποτελέσματα από αυτές τις συσκευές δεν είναι δυνατή η διάγνωση, η πρόληψη και η θεραπεία κάποιας ασθένειας.

Η ακρίβεια στη μέτρηση του Καρδιακού Ρυθμού από τον καρπό

Ο οπτικός αισθητήρας Καρδιακού Ρυθμού στο σημείο του καρπού είναι ένα πολύ εξελιγμένο σύστημα που χρησιμοποιείται από την Garmin, για την έγκυρη εκτίμηση αυτής της μέτρησης. Συνήθως, γίνεται παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια ολόκληρου του 24-ώρου για καλύτερα αποτελέσματα. Φυσικά, διαφέρει η συχνότητα που ενεργοποιείται ο αισθητήρας για την έναρξη καταγραφής, σύμφωνα με τη χρήση του wearable που κάνει το κάθε άτομο. Με απώτερο σκοπό τη συνεχόμενη καταγραφή του καρδιακού ρυθμού για να είναι οι μετρήσεις περισσότερο ακριβείς, όταν ο χρήστης ξεκινάει οποιαδήποτε δραστηριότητα, τότε ενεργοποιείται ο οπτικός αισθητήρας και καταγράφει τον καρδιακό ρυθμό με μεγαλύτερη συχνότητα.

Παρόλο που η τεχνολογία παρακολούθησης του καρδιακού ρυθμού από τον καρπό είναι υπερσύγχρονη, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί σε ορισμένες περιστάσεις αυτής της τεχνολογίας που επηρεάζουν τις ενδείξεις και τις καθιστούν μη έγκυρες. Αυτές οι περιστάσεις περιλαμβάνουν τα σωματικά χαρακτηριστικά του κάθε ατόμου, η κατάλληλη εφαρμογή της συσκευής και ο τύπος ή η ένταση της άσκησης-δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, ο αισθητήρας δεν ενεργοποιείται από την αρχή της άσκησης ή δεν λειτουργεί σωστά, καθώς διαπερνάει το νερό ενδιάμεσα από τον αισθητήρα και τον καρπό. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις δεν είναι δυνατό να είναι ακριβείς, λόγω της διάθλασης του φωτός μέσα στο νερό. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει με διαφορετικό τρόπο έξω από το νερό. Υπάρχουν ειδικές συσκευές που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη χρήση εντός του νερού.

Η ακρίβεια της Παλμικής Οξυμετρίας από τον καρπό

Η ένδειξη παλμικής οξυμετρίας παρέχει μία εκτίμηση του κορεσμού οξυγόνου του αίματος του κάθε ατόμου. Κατόπιν ορισμένων ρυθμίσεων, ιχνηλατεί τον αναπνευστικό ρυθμό του ατόμου όταν κοιμάται, καθώς και διάφορα χαρακτηριστικά του ύπνου σύμφωνα με τον τρόπο που αναπνέει. Ορισμένες συσκευές μάλιστα, αντιλαμβάνονται την υψομετρική διαφορά των χρηστών, σύμφωνα με τη διαφορά που εντοπίζουν από αυτές τις μετρήσεις στην αναπνοή.

Υπάρχουν κι εδώ, επίσης, ορισμένοι περιορισμοί που οδηγούν σε λανθασμένες μετρήσεις. Τα σωματικά χαρακτηριστικά του κάθε ατόμου, η κατάλληλη εφαρμογή της συσκευής και η παρουσία επιπρόσθετου περιβάλλοντος φωτός, επηρεάζουν τις ενδείξεις. Οι υπερβολικές κινήσεις και η λανθασμένη τοποθέτηση της συσκευής είναι ένα από τα συνηθέστερα λάθη που συμβαίνουν κατά τη μέτρηση της παλμικής οξυμετρίας. Είναι σημαντικοί παράγοντες για τη σωστή εκτέλεση της μέτρησης και πρέπει να είναι σταθερός ο βραχίονας και ο αισθητήρας επάνω στον βραχίονα, για τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα έως 1 λεπτό.

Η ακρίβεια στην εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης

Η επιθυμία να διαχειριστεί το υπερβάλλον σωματικό βάρος και να ιχνηλατηθούν οι θερμίδες που δαπανώνται κατά την εκτέλεση διαφόρων δραστηριοτήτων μέσα στη μέρα, είναι δύο από τους πιο συνηθισμένους λόγους που οι άνθρωποι οδηγούνται στην υιοθέτηση ενός wearable ή μίας «έξυπνης» φορητής συσκευής για την υγεία τους.

Ο μεταβολισμός είναι η χημική διεργασία που συμβαίνει, κατά τη μετατροπή της ενέργειας που προσλαμβάνεται από την τροφή, προς τα μακροθρεπτικά στοιχεία (πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες) που χρειάζεται ο οργανισμός του ανθρώπου. Η ποσότητα της ενέργειας που μετατρέπεται, εξαρτάται ανάλογα από τις φυσιολογικές και βιολογικές ανάγκες ενός ανθρώπου. Ωστόσο, αυτή είναι μία συνεχής διαδικασία και δεν σταματάει, ακόμη και κατά την ανάπαυση ή τον ύπνο. Οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται κατά την εκτέλεση μίας φυσικής δραστηριότητας και αναλόγως της έντασης. Επομένως, υπάρχει μία διαφορά από τις θερμίδες «ακινήσιες» και τις θερμίδες «δραστηριότητας» (Active Calories vs. Resting Calories).

(Calories Burned | Health Science | Garmin Technology | Garmin, 2022.)

Ιχνηλάτηση της Ενεργειακής Κατανάλωσης

Με την αξιοποίηση του "Firstbeat Analytics", οι συσκευές Garmin βοηθούν τον κάθε χρήστη να καταλάβει πόσες θερμίδες καταναλώνει (ή καίει) μέσα στη μέρα. Ένας άνθρωπος όταν κατανοήσει τον βασικό ενεργειακό μεταβολισμό του, έπειτα είναι ικανός να μετρήσει και να υπολογίσει τις θερμίδες που προσλαμβάνει από τα τρόφιμα σε καθημερινή βάση. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούσε να ανταποκρίνεται καλύτερα στις ενεργειακές ανάγκες ανάλογα με τον τρόπο ζωής του.

Η γνώση της ημερήσιας Ενεργειακής Δαπάνης, οδηγεί στα σωστά συμπεράσματα για την ημερήσια Θερμιδική Ανάγκη. Δίνεται η δυνατότητα της λήψης σωστών αποφάσεων σχετικά με το ημερήσιο διαιτολόγιο, τα ποσοστά των θρεπτικών στοιχείων της διατροφής και τελικά, τη διαχείριση του σωματικού βάρους. Η ποσότητα των θερμίδων που δαπανώνται, κυμαίνεται αναλόγως των ατομικών βιολογικών χαρακτηριστικών και της έντασης που εκτελούνται οι διάφορες σωματικές ασκήσεις.

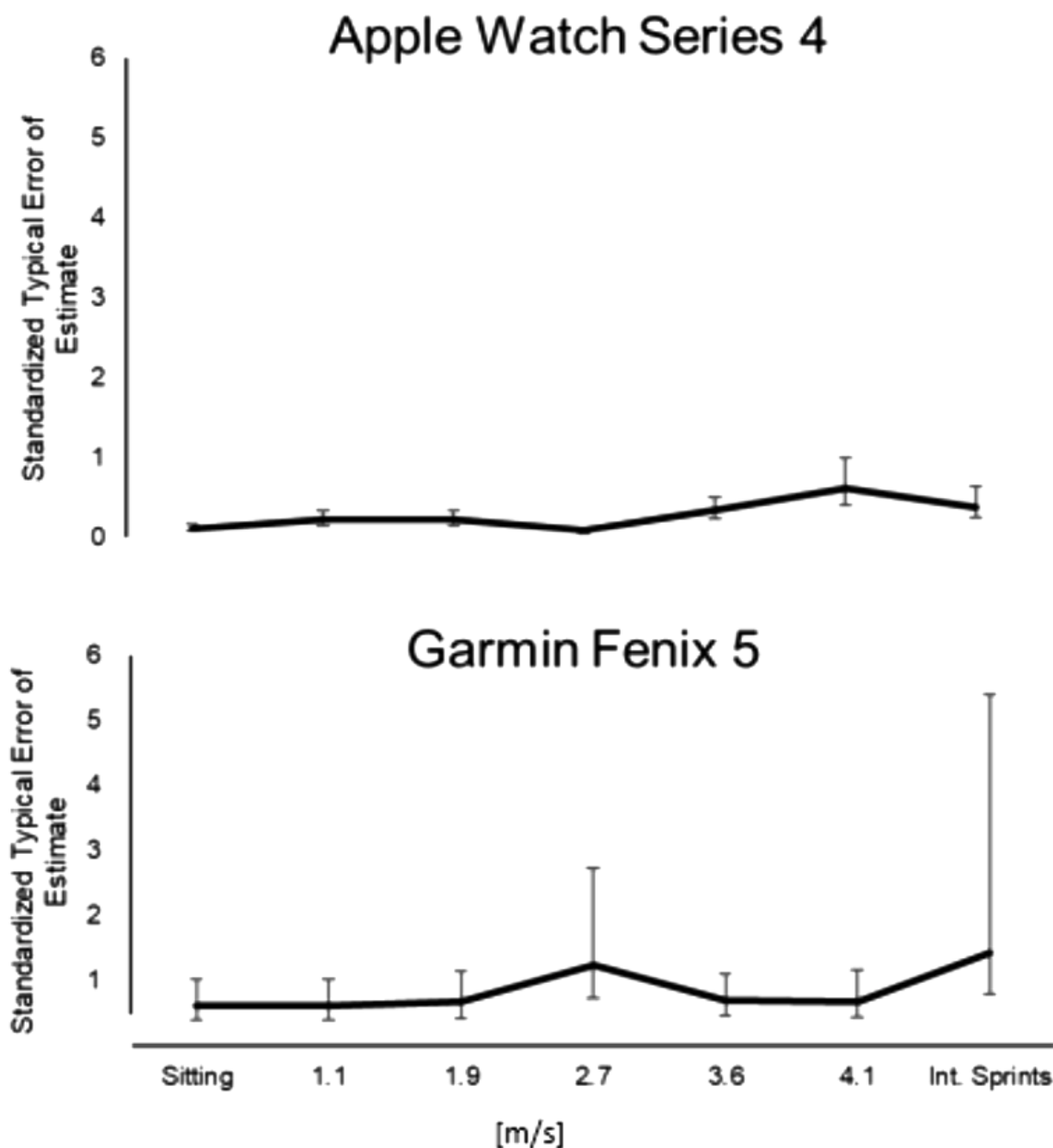
Η ένταση της άσκησης μπορεί να μετρηθεί από την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται (ή χρησιμοποιείται) από το σώμα κατά την άσκηση. Έτσι, εκφράζεται ως ένα ποσοστό τη μέγιστης αερόβιας ικανότητας ή το γνωστό VO2max.

Παρόλο που η ακριβής μέτρηση του καρδιακού ρυθμού δίνει κάποια στοιχεία για την εκτίμηση των θερμίδων που καίγονται, προκύπτουν διάφορα προβλήματα. Αυτό οφείλεται στο ότι ο καρδιακός ρυθμός δεν επηρεάζεται μόνο από την ένταση της φυσικής δραστηριότητας, αλλά κάποιες στρεσογόνες καταστάσεις αυξάνουν τον καρδιακό ρυθμό, επίσης. Αυτό δεν σημαίνει ότι ο οργανισμός καταναλώνει ενέργεια με τον ίδιο ρυθμό, όπως θα κατανάλωνε στην περίπτωση που θα εκτελούσε κάποιου είδους άσκηση.

Τελικά, ο υπολογισμός της Ενεργειακής Δαπάνης μέσω του "Firstbeat Analytics" γίνεται με έναν συνδυασμό που λαμβάνει υπόψη τον καρδιακό ρυθμό, τον αναπνευστικό ρυθμό και έναν πολύ εξειδικευμένο παράγοντα που υπάρχει μόνο στην "Firstbeat Analytics", ο οποίος ανιχνεύει πολύ αποτελεσματικά την τρέχουσα κατανάλωση οξυγόνου (για την αντιστοίχιση της έντασης της φυσικής δραστηριότητας).

(Firstbeat Analytics - Calories Burned, 2022)

Εικόνα 4.12.1



Εικόνα 4.12.1. Σταθερό τυπικό λάθος εκτίμησης (sTEE) της ενεργειακής δαπάνης (EE) που καταγράφεται από το Apple Watch Series 4 και το Garmin Fenix 5 κατά την ξεκούραση ή την εκτέλεση ασκήσεων χαμηλής και υψηλής έντασης (σε 5λεπτα διαστήματα). Από το "Wrist-Worn Wearables for Monitoring Heart Rate and Energy Expenditure While Sitting or Performing Light-to-Vigorous Physical Activity: Validation Study", των P. Dürking et al., 2020, *JMIR mHealth and uHealth*, 8(5). © 2020 Peter Dürking et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ - ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ
«ΕΞΥΠΝΕΣ» ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ/ΔΑΠΑΝΗ**

5.1: Η Ακρίβεια των Wearable Συσκευών στην Εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας

Η αυτο-παρακολούθηση με τη χρήση συγκεκριμένων τύπων βηματόμετρων και επιταχυνσιόμετρων έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική για την προαγωγή και διατήρηση ενός επιπέδου Φυσικής Δραστηριότητας. Ωστόσο, η εγκυρότητα των «έξυπνων» φορητών συσκευών (wearable devices) στην εκτίμηση του επιπέδου Φυσικής Δραστηριότητας ή/και της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας για το ευρύτερο καταναλωτικό κοινό, δεν είναι εξακριβωμένη επαρκώς.

Εξετάστηκε η εγκυρότητα 12 wearable συσκευών για την εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας. Για τον προσδιορισμό της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας έγινε χρήση του Μεταβολικού Θαλάμου στη διάρκεια μίας τυποποιημένης ημέρας (standardized day). Επίσης, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Διπλά Σημασμένου Νερού για 15 ημέρες χωρίς κάποιον περιορισμό (15 free-living days), ώστε να προσδιοριστεί η Ενεργειακή Δαπάνη Φυσικής Δραστηριότητας.

Στη μελέτη των Murakami et al. (2019) συμμετείχαν 19 υγιείς ενήλικες, από 21 έως 50 ετών (9 άνδρες και 10 γυναίκες). Ακολούθησαν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο Φυσικής Δραστηριότητας εντός του Μεταβολικού Θαλάμου για μία ολόκληρη ημέρα (standardized day), ενώ ταυτόχρονα φορούσαν τις 12 «έξυπνες» φορητές συσκευές. Οι 5 wearable συσκευές τοποθετήθηκαν στη μέση, οι άλλες 5 στον καρπό και οι υπόλοιπες 2 στην τσέπη. Επιπρόσθετα, οι 12 wearable συσκευές συνόδευαν την καθημερινότητα των ανθρώπων που τις φορούσαν, για 15 συνεχόμενες ημέρες ελεύθερης διαβίωσης (15 free-living days), ενώ βρισκόταν υπό τη μέθοδο Διπλά Σημασμένου Νερού.

Η Ενεργειακή Δαπάνη Φυσικής Δραστηριότητας υπολογίστηκε με την αφαίρεση του βασικού μεταβολικού ρυθμού (που μετρήθηκε από τον Μεταβολικό Θάλαμο και έγινε το $0.1 \times$ Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Δαπάνη) από τη Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Δαπάνη. Η Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Δαπάνη αποκτήθηκε από τις μεθόδους Μεταβολικού Θαλάμου και Διπλά Σημασμένου Νερού. Οι τιμές της Ενεργειακής Δαπάνης Φυσικής Δραστηριότητας για τις 12 wearable συσκευές, υπολογίστηκαν από την εκάστοτε εφαρμογή (app) κινητού τηλεφώνου ή ιστοσελίδα.

Το Dunnett test και οι συντελεστές συσχέτισης Pearson και Spearman για να εξεταστούν οι μεταβλητές που εκτιμώνται από τις «έξυπνες» φορητές συσκευές.

Αποτελέσματα:

Για την τυποποιημένη ημέρα (standardized day), η Ενεργειακή Δαπάνη Φυσικής Δραστηριότητας που εκτιμήθηκε από τον Μεταβολικό Θάλαμο (PAEEcha) ήταν 528.8 ± 149.4 kcal/day. Οι αντίστοιχες μετρήσεις Ενεργειακής Δαπάνης από την κάθε wearable συσκευή είχαν σημαντική διαφορά από την εκτίμηση PAEEcha, εκτός από τις συσκευές TANITA AM-160 (513.8 ± 135.0 kcal/day; $P > .05$), SUZUKEN Lifecorder EX (519.3 ± 89.3 kcal/day; $P > .05$), και Panasonic Actimarker (545.9 ± 141.7 kcal/day; $P > .05$). Δεν συσχετιστήκαν με την εκτίμηση PAEEcha όλες οι 12 wearable συσκευές, σύμφωνα με τα δύο test συσχέτισης κατά Pearson ($r = -.13$ to $.37$) και Spearman ($\rho = -.25$ to $.46$).

Για τις 15 ημέρες ελεύθερης διαβίωσης (15 free-living days), η Ενεργειακή Δαπάνη Φυσικής Δραστηριότητας που εκτιμήθηκε από τη μέθοδο Διπλά Σημασμένου Νερού (PAEEdlw) ήταν 728.0 ± 162.7 kcal/day. Εκτός από τις συσκευές Omron Active style Pro (716.2 ± 159.0 kcal/day; $P > .05$) και Omron CaloriScan (707.5 ± 172.7 kcal/day; $P > .05$), οι αντίστοιχες μετρήσεις Ενεργειακής Δαπάνης από την κάθε wearable συσκευή είχαν σημαντική διαφορά από την εκτίμηση PAEEdlw, στο βαθμό της υποεκτίμησης. Μόνο οι συσκευές Omron Active style Pro ($r = .46$; $P = .045$) και Panasonic Actimarker ($r = .48$; $P = .04$) είχαν σημαντική θετική συσχέτιση με την εκτίμηση PAEEdlw, σύμφωνα με τα tests κατά Pearson.

Συμπέρασμα

Οι περισσότερες wearable συσκευές δεν παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις για την Ενεργειακή Δαπάνη Φυσικής Δραστηριότητας, όταν χρησιμοποιούνται οι gold-standard μέθοδοι ως μέτρο σύγκρισης.

Εικόνα 5.1

<i>A standardized day</i> (Measured by metabolic chamber: 528.8 ± 149.4 kcal/day)				
Difference in PAEE between each device and metabolic chamber (kcal/day)		Estimated PAEE by each device (kcal/day)	MAPE (%)	Bland- Altman
-1200 -800 -400 0 400		avg $\pm$ SD	avg $\pm$ SD	r^a
		24.4 ± 56.7^b	93.7 ± 13.9	-0.94 ^c
		29.5 ± 34.0^b	92.8 ± 13.1	-0.98 ^c
		291.3 ± 89.0^b	50.5 ± 22.9	-0.86 ^c
		299.2 ± 144.7^b	52.8 ± 34.1	-0.74 ^c
		321.7 ± 63.9^b	40.2 ± 16.0	-0.91 ^c
		423.9 ± 145.9^b	32.0 ± 20.6	-0.64 ^c
		513.8 ± 135.0	29.9 ± 27.6	-0.62 ^c
		519.3 ± 89.3	26.5 ± 39.3	-0.82 ^c
		545.9 ± 141.7	31.7 ± 39.5	-0.65 ^c
		637.0 ± 115.9^b	39.7 ± 54.3	-0.74 ^c
		737.0 ± 154.9^b	56.3 ± 55.3	-0.59 ^c
		776.1 ± 138.2^b	62.9 ± 63.9	-0.62 ^c

Εικόνα 5.1. Διαφορές στη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης φυσικής δραστηριότητας μεταξύ των 12 wearable συσκευών και του Μεταβολικού Θαλάμου. Από το "Accuracy of 12 Wearable Devices for Estimating Physical Activity Energy Expenditure Using a Metabolic Chamber and the Doubly Labeled Water Method: Validation Study", των H. Murakami et al., 2019, *JMIR Mhealth Uhealth*, 7(8). © 2022 JMIR Publications. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 5.11

<i>15 free-living days</i>				
(Measured by DLW method: 728.0 ± 162.7 kcal/day)				
	Difference in PAEE between each device and DLW method (kcal/day)	Estimated PAEE by each device (kcal/day)	MAPE (%)	Bland- Altman
	-1200 -800 -400 0 400	avg $\pm$ SD	avg $\pm$ SD	r^a
Withings Pulse O2		8.0 ± 63.9^b	98.4 ± 9.6	-0.94^c
Garmin vivofit		0.2 ± 42.9^b	100.2 ± 6.3	-0.97^c
Misfit Shine		167.7 ± 102.0^b	76.7 ± 13.9	-0.80^c
EPSON PULSESENSE		270.8 ± 147.6^b	61.3 ± 21.3	-0.73^c
JAWBONE UP24		239.2 ± 91.8^b	65.9 ± 13.8	-0.86^c
ActiGraph GT3X		306.5 ± 172.5^b	57.9 ± 23.4	-0.50^c
TANITA AM-160		474.5 ± 179.2^b	36.3 ± 19.6	-0.47^c
SUZUKEN Lifecorder EX		503.6 ± 122.3^b	30.9 ± 16.5	-0.73^c
Panasonic Actimarker		535.4 ± 149.7^b	29.2 ± 15.3	-0.57^c
Fitbit Flex		567.8 ± 163.6^b	27.8 ± 15.9	-0.58^c
Omron Active style Pro		716.2 ± 159.0	19.4 ± 14.9	-0.53^c
Omron CaloriScan		707.5 ± 172.7	19.4 ± 15.2	-0.50^c

Εικόνα 5.11. Διαφορές στη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης φυσικής δραστηριότητας μεταξύ των 12 wearable συσκευών και της μεθόδου Διπλά Σημασμένου Νερού. Από το "Accuracy of 12 Wearable Devices for Estimating Physical Activity Energy Expenditure Using a Metabolic Chamber and the Doubly Labeled Water Method: Validation Study", των H. Murakami et al., 2019, *JMIR Mhealth Uhealth*, 7(8). © 2022 JMIR Publications. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.2: Είναι Σωστή η Εκτίμηση της Ενεργειακής Δαπάνης από τις Wearable Συσκευές ;

Σε αυτή τη μετα-ανάλυση των O'Driscoll et al. (2020) έγινε μία προσπάθεια να προσδιοριστεί η ακρίβεια της ενεργειακής δαπάνης που υπολογίζεται από τους ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας που τοποθετούνται στον καρπό και στο βραχίονα.

Έγινε μία μετανάλυση με το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων για να αξιολογηθεί η διαφορά μεταξύ των ιχνηλατών φυσικής δραστηριότητας και των μεθόδων αναφοράς (criterion measurements), όσον αφορά στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης.

Συμπεριλήφθηκαν μελέτες εκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης με wearable συσκευές καρπού ή βραχίονα, ως προς την εγκυρότητά τους συγκριτικά με τις μεθόδους αναφοράς (Έμμεση Θερμιδομετρία, Μεταβολικός Θάλαμος και Διπλά Σημασμένο Νερό), για τον υγιή ενήλικο πληθυσμό.

Αποτελέσματα:

60 μελέτες συμπεριλήφθηκαν στην μετα-ανάλυση. Οι wearable συσκευές φάνηκε ότι έχουν μεταβαλλόμενη ακρίβεια, αναλόγως του είδους της άσκησης ή φυσικής δραστηριότητας. Μεγάλη και σημαντική ετερογένεια παρατηρήθηκε για πολλές wearable συσκευές ($I^2 > 75\%$). Ο συνδυασμός του επιταχυνσιόμετρου με το καρδιοσυχνόμετρο ή την τεχνολογία ανίχνευσης θερμότητας, μείωσε το λάθος στους περισσότερους τύπους δραστηριοτήτων. Οι «έξυπνες» φορητές συσκευές ερευνητικού τύπου (research-grade) ήταν στατιστικά περισσότερο ακριβείς στις συγκρίσεις για τη Συνολική Ενεργειακή Δαπάνη, αλλά ήταν λιγότερο ακριβείς από τις wearable συσκευές εμπορικού τύπου (commercial-grade) κατά τις κινητικές δραστηριότητες και τις καθιστικές εργασίες.

Συμπέρασμα:

Η ακρίβεια στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από wearable συσκευές καρπού ή βραχίονα, διαφέρει ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας ή άσκησης. Η προσθήκη αισθητήρων καρδιακής συχνότητας ή θερμικών ιδιοτήτων βελτιώνει την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης.

Συσκευές:

Συνολικά εξετάστηκαν 40 συσκευές, από όλες τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν. Μία συσκευή είχε ως σημείο τοποθέτησης τον πήχη (forearm-worn), οι έξι ήταν στον άνω βραχίονα (τρικέφαλοι) και οι 33 από τις 40 στον καρπό (wrist-worn).

Πίνακας 5.2

ACT, Actical	FF, Fitbit Flex	PL, Polar Loop
AGT3X, Actigraph GT3X	GF225, Garmin Forerunner 225	Polar AW200, Polar: AW200
AW, Apple watch	GF920XT, Garmin Forerunner 920XT	PA360, Polar: AW360
AWS2, Apple Watch Series 2	GVA, Garmin Vivoactive	SG, Samsung Gear S
BA, Beurer AS80	GVF, Garmin Vivofit	SWA, SenseWear Armband
BB1, Basis b1	GVS, Garmin vivosmart	SWA p2, SenseWear Armband Pro 2
BMC, Bodymedia CORE armband	GVHR, Garmin Vivosmart HR	SWA p3, SenseWear Armband Pro 3
BP, Basis Peak	JU, Jawbone UP	SWAM, SenseWear Armband Mini
EP, Epson Pulsense	JU24, Jawbone UP24	TT, TOMTOM Touch
EPUL, ePulse Personal Fitness Assistant	LC, LifeChek calorie sensor	V, Vivago
FB, Fitbit Blaze	MA, Mio Alpha	WP, Withings Pulse
FC, Fitbit Charge	MB, Microsoft band	WPO, Withings Pulse O2
FC2, Fitbit Charge 2	MS, Misfit Shine	
FCHR, Fitbit Charge HR	NF, Nike FuelBand	

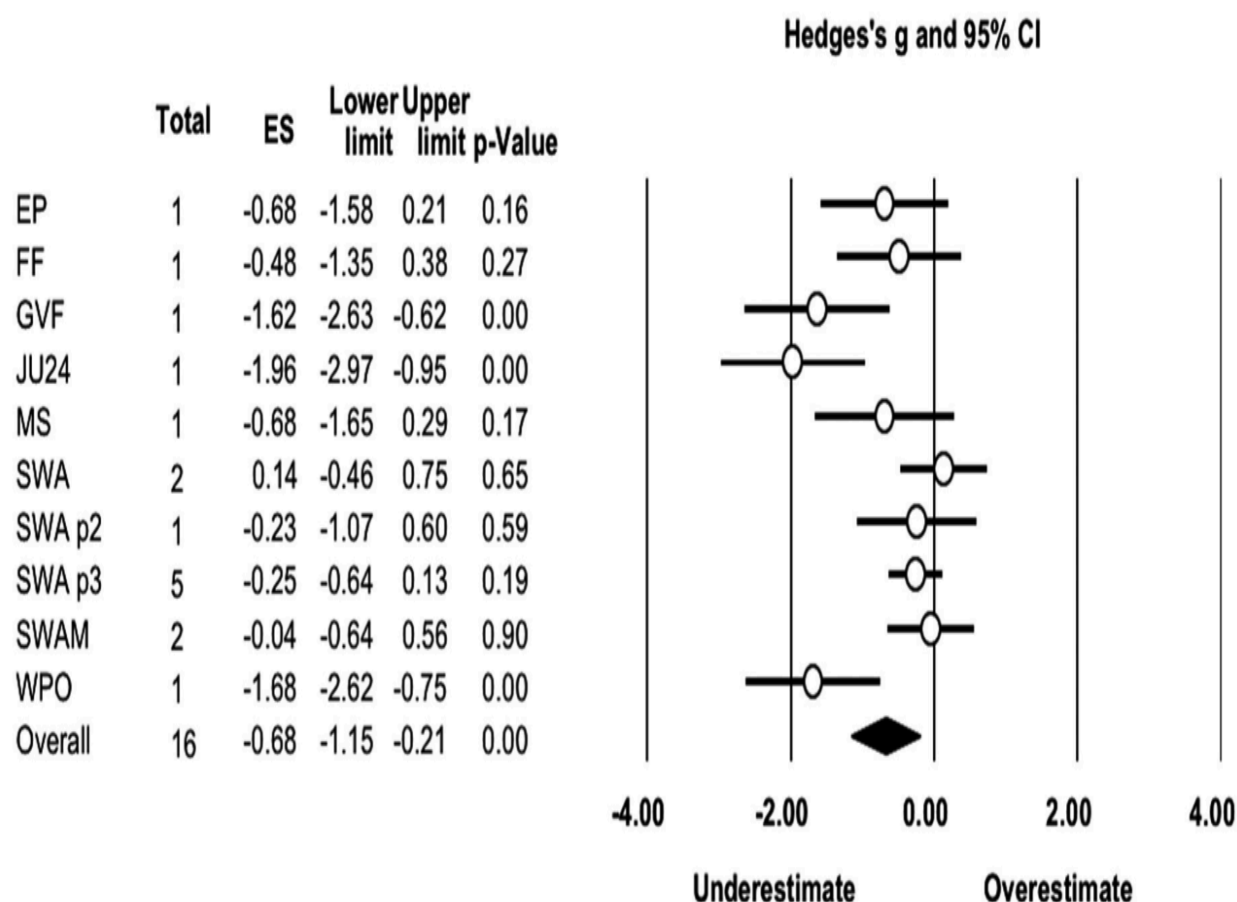
Πίνακας 5.2. Αναλυτικός πίνακας με όλες τις 40 «έξυπνες» φορητές συσκευές που εξετάστηκαν, από όλες τις μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στη μετά-ανάλυση των O'Driscoll et al. (2020).

Μετα-ανάλυση για τη Συνολική Ενεργειακή Δαπάνη (TEE): Το forest plot με τις wearable συσκευές που υπολογίζουν τη Συνολική Ημερησία Ενεργειακή Δαπάνη, είναι στην Εικόνα 5.2. Το pooled effect για την TEE, έδειξε σημαντική υποεκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης (ES: -0.68, 95%CI -1.15 to -0.21; n=16; p=0.005) και σημαντική ετερογένεια παρατηρήθηκε μεταξύ των συσκευών ($I^2=92.71\%$; p<0.01). Η συσκευή SenseWear Armband Pro 3 δεν διέφερε σημαντικά από τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures), ενώ φάνηκε να έχει σημαντική ετερογένεια ($I^2=94.20\%$; p=0.001).

Μετα-ανάλυση για την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (AEE): Το forest plot με τις «έξυπνες» φορητές συσκευές που υπολογίζουν την AEE (των δραστηριοτήτων που ταξινομούνται ως AEE), είναι στην Εικόνα 5.21. Το pooled effect για την AEE, έδειξε ότι όλες οι «έξυπνες» φορητές συσκευές είχαν την τάση να υποεκτιμούν την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας σε σχέση με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures), με μία μη στατιστική σημασία (ES: -0.34, 95%CI -0.71 to 0.04; n=35; p=0.08) και σημαντική ετερογένεια μεταξύ των συσκευών ($I^2=94.96\%$; p<0.001). Η συσκευή SenseWear Armband Pro 2 υποεκτιμούσε σημαντικά την AEE (ES: -0.78, 95%CI -1.48 to -0.08; n=3; p=0.03) και είχε μη σημαντική και μέτρια ετερογένεια ($I^2=64.19\%$; p=0.06). Οι συσκευές Bodymedia CORE armband, Nike FuelBand, SenseWear Armband και SenseWear Armband Mini, δεν διέφεραν σημαντικά στην εκτίμηση της AEE σε σχέση με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures), αλλά είχαν σημαντική ετερογένεια.

Μετα-ανάλυση συνολική των 40 «έξυπνων» φορητών συσκευών, για όλες τις κινητικές δραστηριότητες και καθιστικές εργασίες (Overall): Το forest plot όλων των wearable συσκευών της μετα-ανάλυσης για όλες τις δραστηριότητες (Overall), είναι στην Εικόνα 5.22. Συνολικά, οι συσκευές υποεκτιμούσαν την ενεργειακή δαπάνη (ES: -0.23, 95%CI -0.44 to -0.03; n=104; p=0.03) και φάνηκε σημαντική ετερογένεια μεταξύ των συσκευών ($I^2=92.18\%$; p<0.001). Σημαντική υποεκτίμηση συγκριτικά με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures), παρατηρήθηκε στη συσκευή Garmin Vivofit (ES: -1.09, 95%CI -1.60 to -0.57; n=5; p<0.001) και στη Jawbone UP24 (ES: -1.16, 95%CI -1.78 to -0.54; n=3; p<0.001). Επίσης, η συσκευή SenseWear Armband Pro3 υποεκτιμούσε την ενεργειακή δαπάνη (ES: -0.32, 95%CI -0.62 to -0.01; n=12; p=0.04). Η συσκευή Apple Watch (AW), Bodymedia CORE armband (BMC), Fitbit Charge HR (FCHR), Fitbit Flex (FF), Jawbone UP (JU), Nike FuelBand (NF), SenseWear Armband (SWA), SenseWear Armband Pro2 (SWA p2) και SenseWear Armband Mini (SWAM) δεν διέφεραν σημαντικά από τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures).

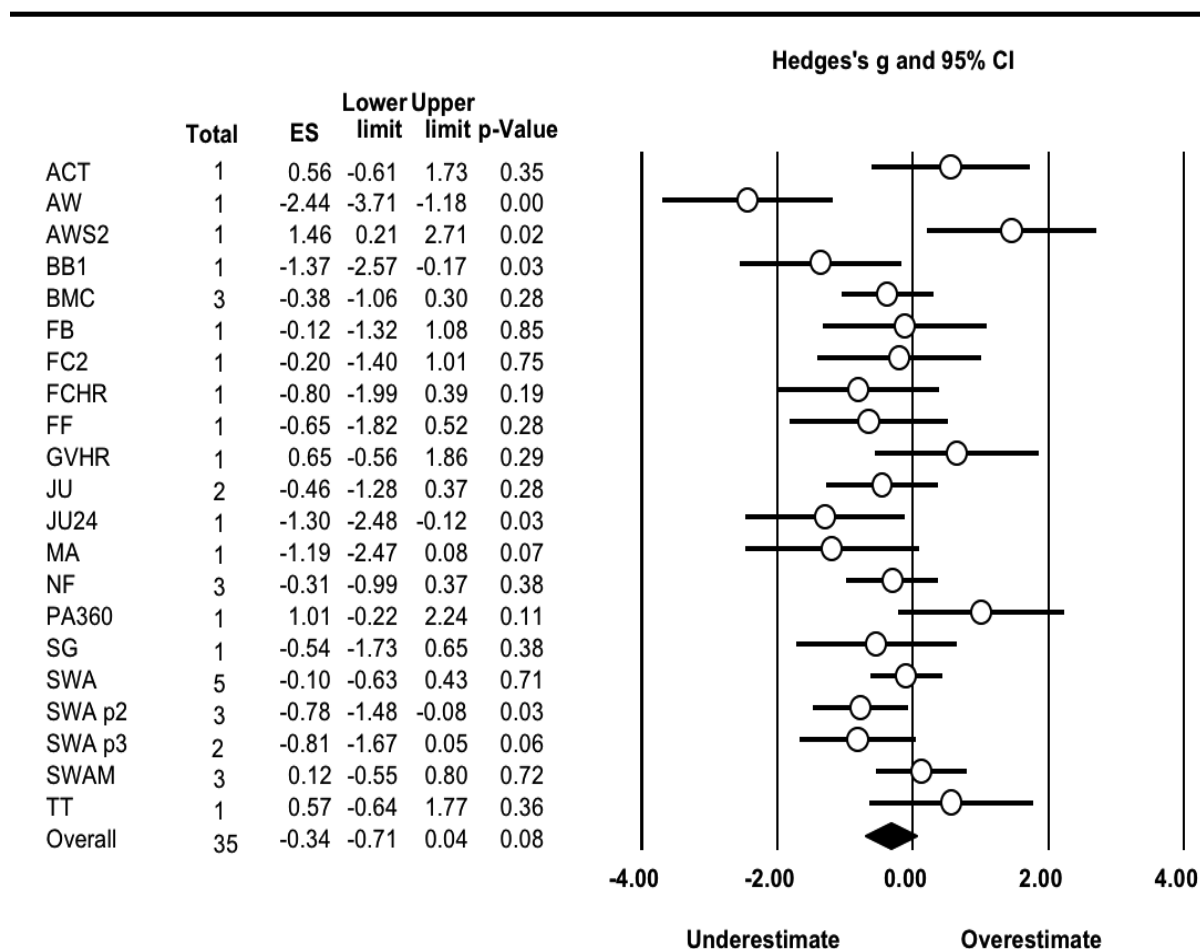
Εικόνα 5.2



Meta Analysis TEE (DLW)

Εικόνα 5.2. Forest plot για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης σε σχέση με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures) της κάθε wearable συσκευής, για τη Συνολική Ημερήσια Ενεργειακή Δαπάνη (TEE). Το αρνητικό στατιστικό αποτέλεσμα (Hedges' g) δείχνει την υποεκτίμηση και το θετικό στατιστικό αποτέλεσμα (Hedges' g) δείχνει την υπερεκτίμηση. Το "Total" αναφέρεται στον αριθμό του μεγέθους επίδρασης (effect sizes). Από το "How Well Do Activity Monitors Estimate Energy Expenditure? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Validity of Current Technologies", των R. O'Driscoll et al., 2020, *British Journal of Sports Medicine*, 54(6). © 2022 BMJ Publishing Group Ltd & British Association of Sport and Exercise Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

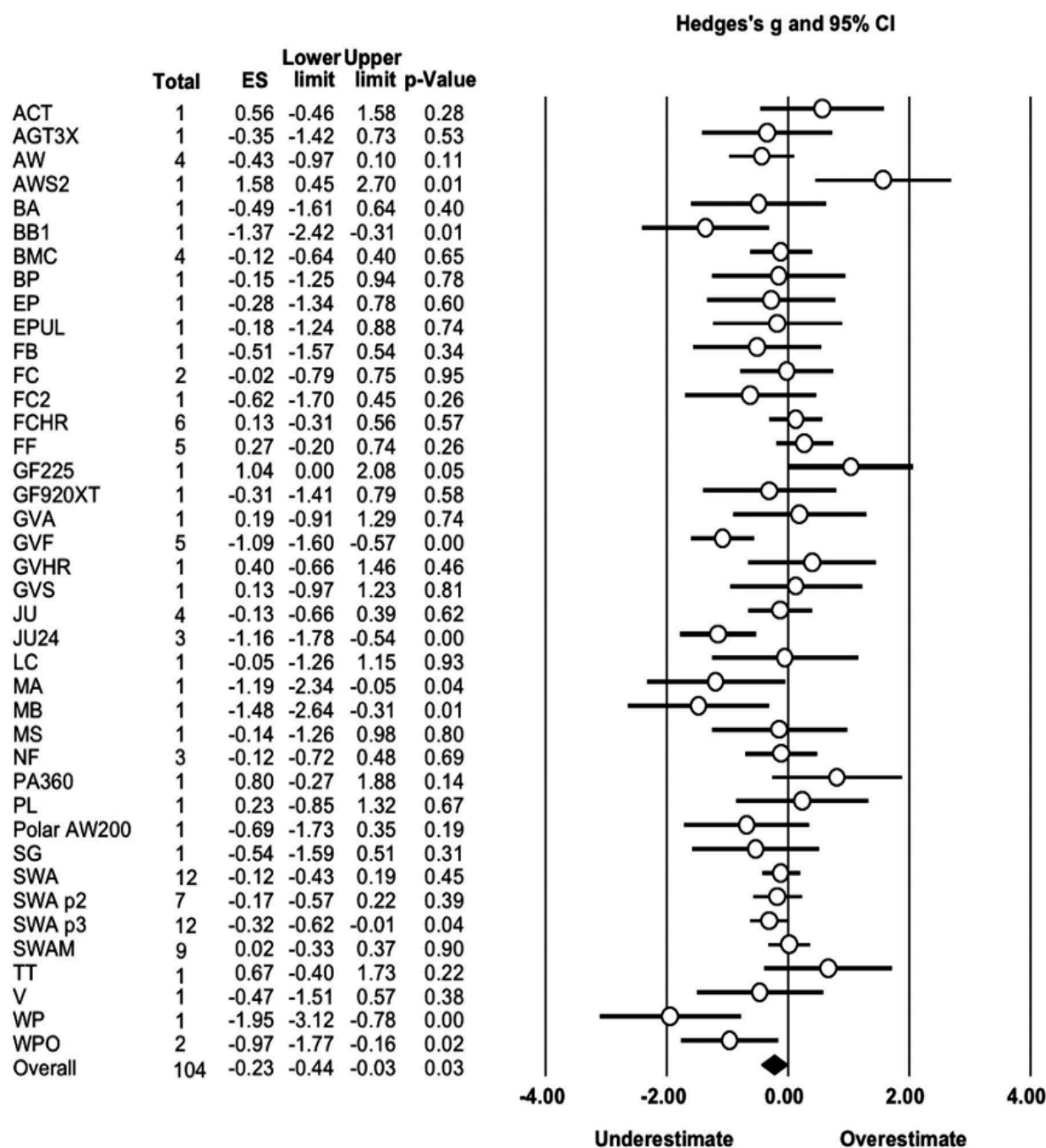
Εικόνα 5.21



Meta Analysis AEE

Εικόνα 5.21. Forest plot για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης σε σχέση με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures) της κάθε wearable συσκευής, για την Ενεργειακή Δαπάνη Δραστηριότητας (AEE). Το αρνητικό στατιστικό αποτέλεσμα (Hedges' g) δείχνει την υποεκτίμηση και το θετικό στατιστικό αποτέλεσμα (Hedges' g) δείχνει την υπereκτίμηση. Το "Total" αναφέρεται στον αριθμό του μεγέθους επίδρασης (effect sizes). Από το "How Well Do Activity Monitors Estimate Energy Expenditure? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Validity of Current Technologies", των R. O'Driscoll et al., 2020, *British Journal of Sports Medicine*, 54(6). © 2022 BMJ Publishing Group Ltd & British Association of Sport and Exercise Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 5.22



Εικόνα 5.22. Forest plot για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης σε σχέση με τις μεθόδους αναφοράς (criterion measures) της κάθε wearable συσκευής, για όλες τις δραστηριότητες (κινητικές και καθιστικές). Από το "How Well Do Activity Monitors Estimate Energy Expenditure? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Validity of Current Technologies", των R. O'Driscoll et al., 2020, *British Journal of Sports Medicine*, 54(6). © 2022 BMJ Publishing Group Ltd & British Association of Sport and Exercise Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.3: Η Αξιολόγηση της Ενεργειακής Δαπάνης με τη Χρήση Wearable Εξοπλισμού Φυσικής Δραστηριότητας

Η έμμεση θερμιδομετρία θεωρείται ως η μέθοδος αναφοράς (reference method) για τη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης. Παρ' όλα αυτά, είναι μία περιοριστική μέθοδος λόγω των δύσχρηστων συσκευών. Ωστόσο, η εξέλιξη της τεχνολογίας έλυσε το πρόβλημα με πρωτότυπες και οικονομικές εναλλακτικές λύσεις. Κυρίως, το ενδιαφέρον εστιάζεται στον «έξυπνο» φορητό (wearable) εξοπλισμό, με τη δυνατότητα της επιταχυνσιομετρίας που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα του αθλητισμού και της γυμναστικής.

Η μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης με τις «έξυπνες» φορητές συσκευές αθλητικού ενδιαφέροντος:

Οι ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας που τοποθετούνται στο μπράτσο (βραχίονα), στον καρπό ή στη μέση, χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα του αθλητισμού και της ευεξίας, καθώς αποτελούν μία επιλογή φιλική προς τον χρήστη, μη παρεμβατική και χαμηλού κόστους. Οι πληροφορίες που παρέχουν κατά τη διάρκεια της άσκησης που εκτελείται από το άτομο/αθλητή (όπως οι καρδιακοί παλμοί, η ταχύτητα, η απόσταση) είναι πολύ χρήσιμες, ώστε να διατηρηθεί το ενδιαφέρον να συνεχίσει να αθλείται, αλλά και να παρακινείται ο ίδιος να επαναλάβει την εκάστοτε φυσική δραστηριότητα. Επιπλέον, απευθύνονται όχι μόνο σε αθλητές, αλλά και σε ανθρώπους με παθήσεις που απαιτείται η φυσική δραστηριότητα σε καθημερινό επίπεδο, όπως η Παχυσαρκία και ο Σακχαρώδης Διαβήτης. Η ενεργειακή δαπάνη προκύπτει από δεδομένα των αισθητήρων επιταχυνσιομετρίας και από ατομικούς παράγοντες (όπως η ηλικία, το φύλο, το ύψος, το βάρος) και τελικά, υπολογίζεται μέσω απόρρητων αλγορίθμων που χρησιμοποιεί η κάθε εταιρεία των wearable συσκευών. Η ενεργειακή δαπάνη που υπολογίζεται από αυτές τις συσκευές, συνήθως υπερεκτιμείται ή υποεκτιμείται κατά 10% σε σύγκριση με την έμμεση θερμιδομετρία η οποία είναι περισσότερο ακριβείας.

Πίνακας 5.3

Authors	Study population	Accelerometer (wearable site)	IC	Protocol	Results
Bai <i>et al.</i> [23]	52 healthy adults (28 men and 24 women)	ActiGraph GT3X+ (waist) BMC Bodymedia (arm) Fitbit (wrist) JU24 Jawbone (wrist) Misfit Shine (wrist) Polar Loop (wrist) Nike+ Fuelband (wrist)	Oxycon Mobile, breath-by-breath	20 min sedentary activity 25 min running 25 min resistance exercise	Mean overestimation vs. IC: +30% Misfit Shine <+20% except for the other accelerometers
Roos <i>et al.</i> [24]	20 healthy adult runners (12 men and 8 women)	Suunto Ambit2 (wrist) Garmin Forerunner920XT (wrist) Polar V800 (wrist)	Moxus Modular Metabolic System, breath-by-breath	Running 4–11 km/h Running 14–17 km/h	Mean overestimation vs. IC: At 4–11 km/h: Suunto Ambit2: +38% Mean underestimation vs. indirect calorimetry At 4–11 km/h: Garmin Forerunner920XT: -25% Polar V800: -12% At 14–17 km/h: Suunto Ambit2: -32% Garmin Forerunner920XT: -49% Polar V800: -39.5%
Wahl <i>et al.</i> [25 ^{***}]	20 healthy and active sport students (10 men and 10 women)	Bodymedia Sensewear armband (arm) Beurer AS80 (wrist) Polar Loop (wrist) Garmin : Vivofit, Vivosmart, Vivoactive, Forerunners 920XT (wrist) Fitbit: Charge, Charge HR (wrist) Xaomi MiBand (wrist) Withings Pulse Ox (waist or wrist)	Metamax 3B, breath-by-breath	Walking/running 4.3, 7.2, 10.1 and 13.0 km/h Intermittent velocity Outdoor run 10.1 km/h	Mean absolute percentage error vs. IC: 4.3 km/h: -27 to +83% 7.2 km/h: -19 to +54% 10.1 km/h: -33 to +51% 13.0 km/h: -43 to +41% Intermittent velocity: -49 to +25.5% Outdoor run: -48 to +22%
Santos-Lozano <i>et al.</i> [26]	23 healthy adults (56.5% women)	Bodymedia SenseWear (arm)	Oxycon Pro, breath-by-breath	Walking 3 km/h Walking 5 km/h Running 7 km/h Running 9 km/h	AUC ^a : 3 km/h: 0.67 ($P<0.001$) 5 km/h: 0.57 ($P<0.05$) 7 km/h: 0.61 ($P<0.003$) 9 km/h: 0.5 (0.92)

Πίνακας 5.3. Σύγκριση της εκτίμησης ενεργειακής δαπάνης από wearable επιταχυνσιόμετρα, με την έμμεση θερμιδομετρία (IC). Από το "Innovations in Energy Expenditure Assessment", των N. Achamrah *et al.*, 2018, *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 21(5). © 2018 Wolters Kluwer Health, Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Τιμές AUC: ≥ 0.80 – 0.90 καλές, 0.80 – 0.70 μέτριες και <0.70 ανεπαρκείς.

5.4: Η Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών Εμπορικού Τύπου για την Εκτίμηση Ενεργειακής Δαπάνης στους Νέους

Αυτή η μελέτη των LaMunion et al. (2020) έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι περισσότερες έρευνες που γίνονται στον τομέα της εγκυρότητας των fitness trackers αφορούν τον ενήλικο πληθυσμό. Οι νεότερες ηλικιακές ομάδες αξίζει να ερευνηθούν με προσοχή καθώς διαφέρουν από τους ενήλικες.

Η συγκεκριμένη προσπάθεια των LaMunion et al. (2020) αξιοποίησε ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας μόνο εμπορικού τύπου. Αλλά, η μελέτη αυτή είναι ένα κομμάτι μίας μεγαλύτερης ερευνητικής προσπάθειας που είναι σε εξέλιξη και θα συμπεριλαμβάνει «έξυπνες» φορητές συσκευές ερευνητικού τύπου, όπως το ActiGraph, ActivPAL και GENEActiv.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η σύγκριση της εκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης με πέντε συσκευές καταγραφής της φυσικής δραστηριότητας οι οποίες είναι εμπορικού τύπου (consumer-based), σε σχέση με την έμμεση θερμιδομετρία. 89 νέα άτομα ηλικίας 12 ± 3 ετών, συμμετείχαν σε πρωτόκολλο ασκήσεων και φορούσαν τις συσκευές Cosmed K4b2 (μέθοδος αναφοράς για την ενεργειακή δαπάνη), Apple Watch Series 2 (στον αριστερό καρπό), Mymo Tracker (στο δεξί καρπό) και Misfit Shine 2 (MSH στο δεξί μοιρό, MSS στο δεξί παπούτσι). Οι συμμετέχοντες φορούσαν επιπλέον, ένα Samsung Gear Fit 2 ή ένα Fitbit Charge 2 στον δεξί καρπό, με τυχαιοποίηση ως προς ποιες από τις δύο αυτές συσκευές θα φορούσαν. Όλες οι wearable συσκευές υπολόγιζαν την μικτή ενεργειακή δαπάνη (gross EE), εκτός από το Apple Watch Series 2 που υπολόγιζε και την καθαρά ενεργειακή δαπάνη φυσικής δραστηριότητας (net Active EE).

Κατά τη διάρκεια του διημέρου των μετρήσεων, οι συμμετέχοντες φορούσαν τα fitness trackers κατά μέσο όρο 142 λεπτά. Το "Mymo" ήταν το μοναδικό που δεν είχε σημαντική διαφορά από τη μέθοδο αναφοράς έμμεσης θερμιδομετρίας K4b2. Όσον αφορά την καθαρά Ενεργειακή Δαπάνη από τη δραστηριότητα (net Active EE), μόνο το Apple Watch Series 2 έδειξε σημαντική υποεκτίμηση κατά 45.6%. Στην περίπτωση της μικτής Ενεργειακής Δαπάνης (gross EE), το Fitbit Charge 2 έδειξε υπερεκτίμηση κατά 32.2%, ενώ τα Misfit Shine 2 – Hip, Misfit Shine 2 – Shoe και Samsung Gearfit2 έδειξαν υποεκτίμηση κατά 12.3-29.8%.

Πίνακας 5.4

Monitor	N	K4b ² Measured EE (kcal)	Predicted EE (kcal)	Mean Difference (measured- predicted)
Apple Watch Series 2 (net active EE)				
<i>All Participants*</i>	64	269.9 (82.8)	146.8 (76.3)	121.8
<i>Age Group</i>				
6 – 12 (y)	33	220.5 (49.8)	94.9 (26.3)	
13 – 18 (y)	31	322.5 (78.8)	201.9 (73.3)	
Fitbit Charge 2 (gross EE)				
<i>All Participants*</i>	38	426.8 (129.5)	564.5 (205.3)	-137.7
<i>Age Group</i>				
6 – 12 (y)	26	374.9 (96.9)	500.4 (178.1)	
13 – 18 (y)	12	539.5 (121.9)	703.6 (197.3)	
Samsung GearFit2 (gross EE)				
<i>All Participants*</i>	23	480.2 (154.1)	337.0 (128.9)	143.2
<i>Age Group</i>				
6 – 12 (y)	13	382.6 (90.7)	252.1 (82.5)	
13 – 18 (y)	10	607.1 (124.1)	447.5 (86.7)	
Misfit Shine 2 – Hip (gross EE)				
<i>All Participants*</i>	21	455.4 (128.4)	399.4 (123.8)	56.0
<i>Age Group</i>				
6 – 12 (y)	12	390.2 (70.0)	331.1 (69.2)	
13 – 18 (y)	9	542.3 (140.0)	490.6 (124.0)	
Misfit Shine 2 – Shoe (gross EE)				
<i>All Participants*</i>	19	451.1 (138.3)	387.6 (116.2)	63.5
<i>Age Group</i>				
6 – 12 (y)	11	377.6 (73.0)	324.6 (59.7)	
13 – 18 (y)	8	552.2 (146.3)	474.4 (121.5)	
Mymo (gross EE)				
<i>All Participants</i>	65	455.9 (142.7)	471.9 (178.5)	-15.9
<i>Age Group[#]</i>				
6 – 12 (y)	40	382.4 (92.3)	502.3 (185.0)	
13 – 18 (y)	25	455.9 (130.6)	423.2 (178.5)	

*Significantly different from K4b² ($p < 0.05$); [#]Statistically significant interaction for age.

Πίνακας 5.4. Οι διαφορές στις μετρήσεις ενεργειακής δαπάνης μεταξύ των physical activity monitors και του Cosmed K4b². Από το "Use of Consumer Monitors for Estimating Energy Expenditure in Youth", των S. R. LaMunion et al., 2020, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(2). © 2020 Samuel R. LaMunion et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.5: Η Εγκυρότητα Εκτίμησης της Ενεργειακής Κατανάλωσης από τις Εμπορικές Wearable Συσκευές

Το λανσάρισμα και η αυξανόμενη ζήτηση των «έξυπνων» φορητών συσκευών, οδήγησε στην ανάγκη να προσδιοριστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία τους, για τη χρήση από το ευρύ κοινό. Ωστόσο, υπάρχουν εμπόδια ως προς την διερεύνηση με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία, για τη γνωστοποίηση της ακρίβειας των wearable συσκευών εμπορικού τύπου. Επομένως, η δημοσίευση των Bunn et al. (2018) αποσκοπεί στην ανάλυση της τρέχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με αυτές τις συσκευές και τελικά, στη διεξαγωγή μίας συστηματικής ανασκόπησης.

Επιλέχθηκαν οι πιο δημοφιλείς wearable συσκευές της αγοράς, δηλαδή συσκευές των εταιρειών Fitbit, Garmin, Apple, Misfit, Samsung Gear, TomTom και Lumo.

Σχετικά με την αξιολόγηση της εκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης, επιλέχθηκαν μελέτες που χρησιμοποιούσαν κάποιο επικυρωμένο σύστημα ανάλυσης του μεταβολισμού που θεωρείται ως μέθοδος αναφοράς (criterion measure).

Εγκυρότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης

Γενικά, οι wearable συσκευές της εταιρείας Fitbit, συγκριτικά με τα υπόλοιπα wearables, φαίνεται ότι έχουν υψηλότερη εγκυρότητα ως προς την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης. Τα αντίστοιχα προϊόντα της εταιρείας Jawbone έχουν τη χαμηλότερη.

Σε γενικές γραμμές, οι wearable συσκευές έχουν την τάση να υποεκτιμούν την ενεργειακή δαπάνη, συγκριτικά με τις εργαστηριακές μεθόδους μέτρησης (criterion measures) Oxycon Mobile, CosMed K4b2, και MetaMax 3B.

Στις ασκήσεις με υψηλότερη ένταση, η ενεργειακή δαπάνη υποεκτιμάται. Οι wearable συσκευές είναι πολύ αποτελεσματικές στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης κατά την εκτέλεση καθιστικών εργασιών/δραστηριοτήτων. Ωστόσο, η εγκυρότητα τίθεται υπό αμφισβήτηση, καθώς οι wearable συσκευές αδυνατούν να μετρήσουν σωστά την ενεργειακή δαπάνη για διάφορες αθλητικές δραστηριότητες και μάλιστα όταν η ένταση των ασκήσεων είναι υψηλή και αυξάνεται.

Στη μελέτη των Chowdhury et al. (2017) χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Actiheart ως μέτρο σύγκρισης της εγκυρότητας υπολογισμού ενεργειακής δαπάνης, από τους εμπορικούς ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας. Παρ' όλα αυτά, ο μεταβολικός ρυθμός ηρεμίας (RMR) μετρήθηκε μέσω της εργαστηριακής συσκευής Cosmed K4b² και μετά έγινε επιβεβαίωση για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από το Actiheart. Τελικά, η εγκυρότητα των wearable εμπορικού τύπου να υπολογίζουν την ενεργειακή δαπάνη, συγκριτικά με τη συσκευή Actiheart, είναι κατά φθίνουσα σειρά οι συσκευές Apple Watch Series 1, Fitbit Charge HR, Microsoft Band, Jawbone UP24.

Στη μελέτη των Nelson et al. (2016) χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Cosmed K4b² ως μέθοδος αναφοράς (criterion measure) της μέτρησης της ενεργειακής δαπάνης (τα δεδομένα VO₂ μετατράπηκαν προς χιλιοθερμίδες ή kcal). Έτσι, οι wearable συσκευές που εξετάστηκαν για την εγκυρότητα υπολογισμού της ενεργειακής δαπάνης, παρατίθενται από την περισσότερο έγκυρη στην λιγότερο έγκυρη, συγκριτικά με τη συσκευή Cosmed K4b²: Fitbit One, Fitbit Flex, Fitbit Zip, Jawbone UP24.

Στη μελέτη των Wallen et al. (2016) χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος αναφοράς (criterion measure) η συσκευή MetaMax 3B (φορητό σύστημα ανάλυσης αερίων - έμμεση θερμιδομετρία), για τη σύγκριση των wearable συσκευών. Έτσι, από την περισσότερο έγκυρη προς τη λιγότερο έγκυρη συσκευή, σχετικά με την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, είναι οι συσκευές Samsung Gear S, Fitbit Charge HR, Apple Watch, Mio Alpha.

Στη μελέτη των Woodman et al. (2017), ως μέτρο σύγκρισης της εγκυρότητας στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης είναι η συσκευή Oxycon Mobile (φορητή συσκευή έμμεσης θερμιδομετρίας breath-by-breath). Η φθίνουσα σειρά που ακολουθούν οι wearable συσκευές που εξετάστηκαν για την εγκυρότητα εκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης είναι Garmin Vivofit, Withings Pulse στον μοιρό, Withings Pulse στον γιακά του πουκάμισου, Withings Pulse στον καρπό, Basis Peak.

Πίνακας 5.5

Reference	Subjects	Activity	Validity – Agreement (95% confidence interval range)
Chowdhury et al. 2017 (3)	N = 30 (15 male, 15 female) 27±6 yrs	24-min activities of daily living 64-min exercise (10-min each: treadmill walking, walking with bags, cycling, treadmill running)	Apple Watch (0.2±3.4) > Fitbit Charge HR (0.3±4.6) > Microsoft Band (-1.8±3.9) > Jawbone UP24 (-0.9±5.4) kcal/min
Nelson et al. 2016 (13)	N = 30 (15 male, 15 female) 10 each in age groups 18-39 yr, 40-59 yr, 60-80 yr	5-min ambulatory/exercise of increasing intensity including: walking in hallway, treadmill walking, cycling, hallway jog, treadmill jog	Fitbit One (159.0 to 127.4) > Fitbit Flex (180.7 to 147.0) > Fitbit Zip (189.4 to 155.1) > Jawbone UP (162.6 to 127.8) kcal
Wallen et al. 2016 (16)	N = 22 (11 male, 11 female) 24.0±5.6 yrs	5-min sedentary, 3-min stages walking, 3-min stages cycling	Samsung Gear S (-73.5 to 21.3) > Fitbit Charge HR (-137.0 to 17.3) > Apple Watch (-219.7 to -12.9) > Mio ALPHA (-266.7 to 65.7) kcal
Woodman et al. 2017 (17)	N = 28 (20 male, 8 female) 25.5±3.7 yrs	10-min sedentary, 5-min activities increasing intensity: treadmill walking, overground walking, overground running, overground cycling, laboratory cycling	Garmin VivoFit (93.8 to 271.8) > Withings Hip (56.7 to 282.8) > Withings Shirt (59.8 to 286.2) > Withings Wrist (142.7 to 382.6) > Basis Peak (-290.4 to 233.1) kcal

Πίνακας 5.5. Η εγκυρότητα των wearable συσκευών κατά φθίνουσα σειρά για κάθε μελέτη, στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, συγκριτικά με τις μεθόδους αναφοράς. Από το "Current State of Commercial Wearable Technology in Physical Activity Monitoring 2015-2017", των J. A. Bunn et al., 2018, *International Journal of Exercise Science*, 11(7). © 2022 PubMed Central (PMC). Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.6: Η Αξιοπιστία και Εγκυρότητα των Fitness Trackers Εμπορικού Τύπου για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Δαπάνης

Αυτή η συστηματική ανασκόπηση των Fuller et al. (2020) αποτελείται από 158 δημοσιεύσεις, στις οποίες έγινε αξιολόγηση εννέα διαφορετικών εταιρειών των wearable συσκευών εμπορικού τύπου (consumer wearables), δηλαδή των Apple, Fitbit, Garmin, Mio, Misfit, Polar, Samsung, Withings και Xiaomi. Το επίκεντρο του ενδιαφέροντος βρίσκεται στην αξιοπιστία και στην εγκυρότητα αυτών των συσκευών να υπολογίζουν την ενεργειακή δαπάνη. Εξετάστηκε η εγκυρότητα αυτών των συσκευών σε συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης και ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες.

Η εγκυρότητα της κάθε εταιρείας wearable για την ενεργειακή δαπάνη, υπό ελεγχόμενες συνθήκες:

Η Εικόνα 5.6 δείχνει τον δείκτη Mean Percentage Error (MPE) των wearable συσκευών για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, σύμφωνα με την εταιρεία της κάθε συσκευής. Η Εικόνα 5.61 δείχνει τον δείκτη Mean Percentage Error (MPE) των wearable συσκευών για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης, σύμφωνα με το μοντέλο της εταιρείας της κάθε συσκευής. Στα δύο box plot, συμπεριλήφθηκαν συσκευές για τις οποίες υπήρχαν 10 ή περισσότερες συγκρίσεις μέσα στις 158 δημοσιεύσεις που εξετάστηκαν.

Από το box plot της Εικόνας 5.6, φαίνεται ότι κανένα wearable, οποιασδήποτε εταιρείας, δεν ήταν εντός του $\pm 3\%$ λάθους μέτρησης, αλλά ήταν άνω του 13% τις περισσότερες φορές. Η υποεκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης παρατηρήθηκε κυρίως στις Garmin συσκευές κατά 69% (στις 37 από τις 51 περιπτώσεις) και στις Withings συσκευές κατά 74% (στις 34 από 46 περιπτώσεις). Αντιθέτως, οι συσκευές της Apple υπερεκτίμησαν την ενεργειακή δαπάνη κατά 58% (18 από 31 συγκρίσεις) τις περισσότερες φορές, ενώ τα wearables της Polar κατά 69% (9 από 13 συγκρίσεις).

Ωστόσο, οι Fitbit συσκευές εμφάνιζαν ανακριβείς μετρήσεις σε σχέση με τη μέθοδο αναφοράς (criterion measure), με αποτέλεσμα να υποεκτιμούν την ενεργειακή δαπάνη κατά 48.8% (στις 76 από τις 157 συγκρίσεις) και να την υπερεκτιμούν κατά 39.5% (στις 62 από τις 157 περιπτώσεις), ανεξάρτητα με την Εικόνα 5.6 που δείχνει μία λογική μέση τιμή για την ακρίβεια.

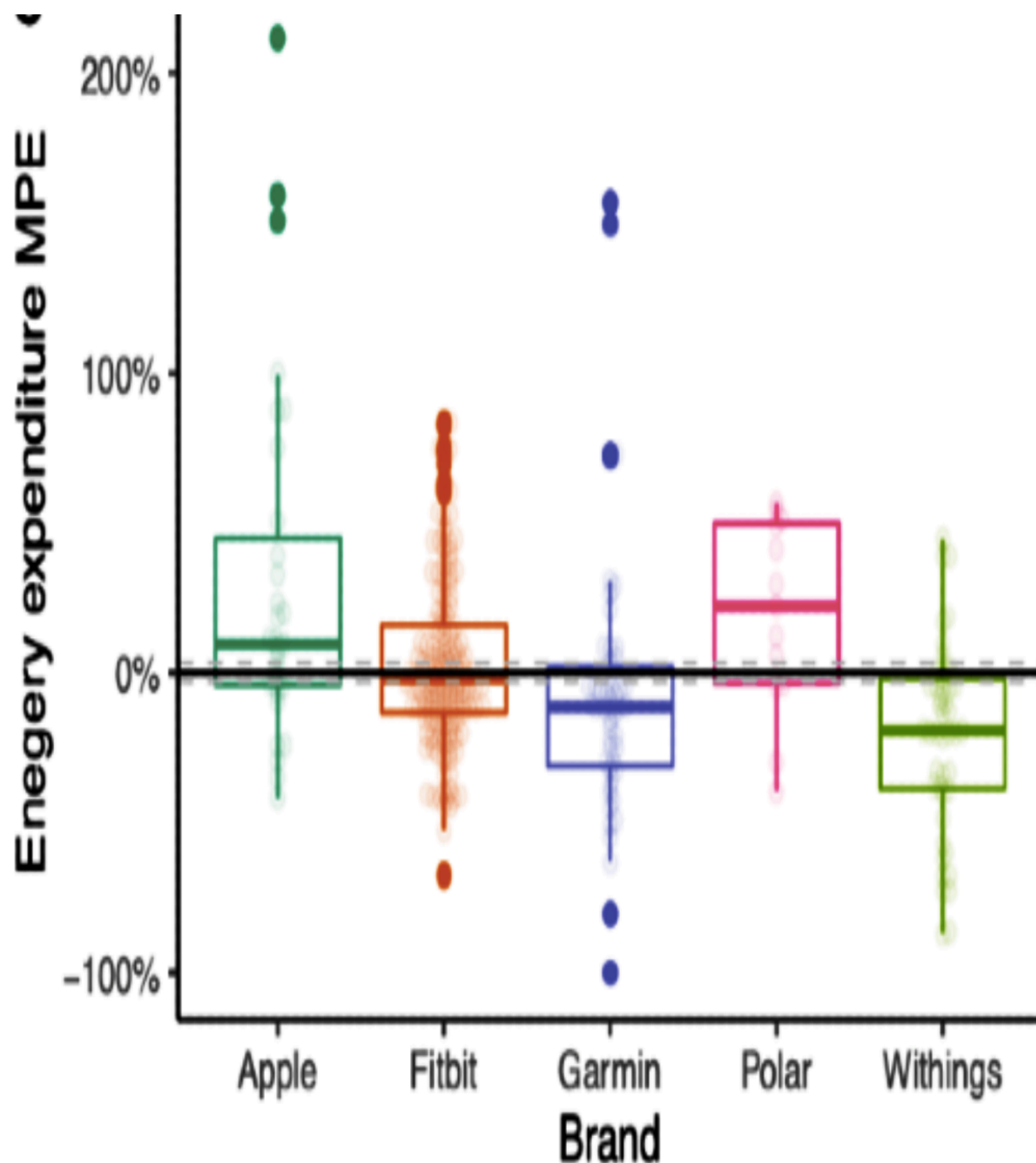
Η εγκυρότητα της κάθε εταιρείας wearable για την ενεργειακή δαπάνη, υπό συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης:

Εννέα μελέτες (22 συγκρίσεις wearable συσκευών) εξέτασαν την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης υπό συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης. Οι συγκρίσεις έγιναν σε σχέση με τη μέθοδο Διπλά Σημασμένου Νερού και αυτήν της επιταχυνσιομετρίας. Οι οκτώ μελέτες αποτελούνταν από υγιείς ενήλικες και η μία είχε ασθενείς με Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια. Για τις 17 από τις 22 συγκρίσεις των wearables, υπήρχε ομαδικό σφάλμα μέτρησης, ανεξαρτήτως της μεθόδου σύγκρισης (criterion measure). Από τις 17, οι 3 ήταν εντός του $\pm 10\%$ σφάλματος μέτρησης, οι 9 ήταν κάτω του -10% σφάλματος μέτρησης και οι 5 ήταν πάνω του 10% σφάλματος μέτρησης. Γενικά, υπήρχε η τάση υποεκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης.

Οι υπολογισμοί της ενεργειακής δαπάνης διέφεραν αναμεταξύ των μοντέλων της κάθε εταιρείας wearable. Το Fitbit Classic σημείωσε υποεκτίμηση της τιμής αναφοράς (της ενεργειακής δαπάνης), ενώ το Fitbit Charge HR σημείωσε υπερεκτίμηση. Γίνεται η υπόθεση ότι οι συσκευές Fitbit παρέχουν τις καλύτερες μετρήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης, επειδή ο αλγόριθμος τους χρησιμοποιεί μία γνωστή εξίσωση υπολογισμού του μεταβολικού ρυθμού ηρεμίας (RMR). Μέχρι και σήμερα, πάντως, οι υπόλοιπες εταιρείες wearable συσκευών δεν καθιστούν διαθέσιμους προς το κοινό, τους αλγόριθμους εκτίμησης της ενεργειακής δαπάνης και γενικότερα, τις μεθόδους υπολογισμού των διαφόρων παραμέτρων (βήματα, καρδιακός ρυθμός, θερμίδες).

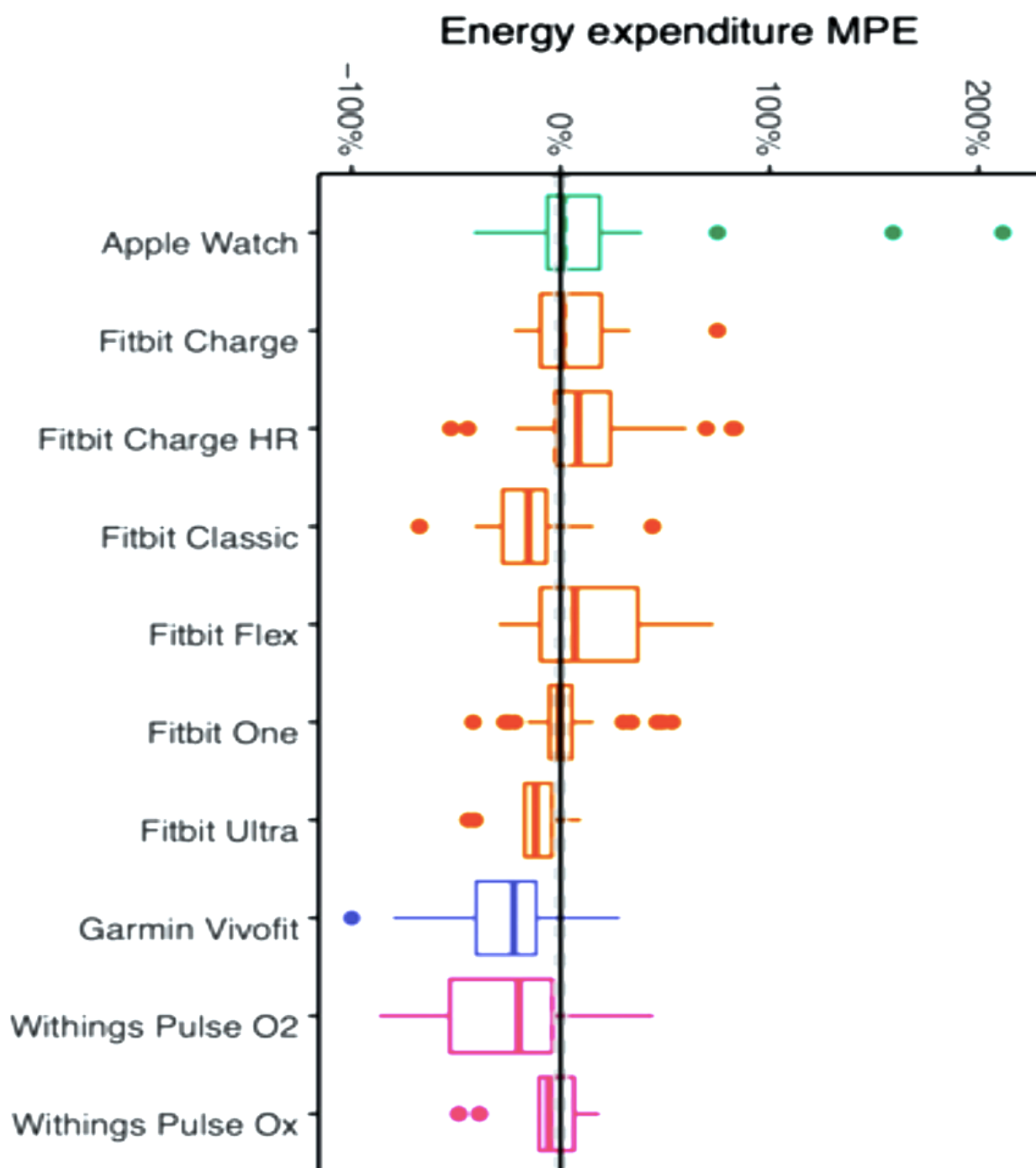
Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στις «έξυπνες» φορητές συσκευές εμπορικού τύπου, τροποποιούνται συνεχώς και ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των νεότερων αισθητήρων που τοποθετούνται στις καινούριες συσκευές. Επομένως, οι εταιρείες αυτές ενημερώνουν σχεδόν καθημερινά το λογισμικό και τους αλγόριθμους που υπολογίζουν τα βήματα, τον καρδιακό ρυθμό και την ενεργειακή δαπάνη. Εάν οι εταιρείες δημοσίευαν τα δεδομένα αυτά, η ερευνητική χρήση επάνω σε αυτά τα δεδομένα θα αποκτούσε πολύ μεγάλη σημασία.

Εικόνα 5.6



Εικόνα 5.6. Box plot του δείκτη mean percentage error (MPE) για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από τις wearable συσκευές, σύμφωνα με την εταιρεία των συσκευών. Από το "Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review", των D. Fuller, et al., 2020, *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9). © Daniel Fuller et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 5.61



Εικόνα 5.61. Box plot του δείκτη mean percentage error (MPE) για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από τις wearable συσκευές, σύμφωνα με το μοντέλο των συσκευών. Από το "Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review", των D. Fuller, et al., 2020, *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9). © Daniel Fuller et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.7: Η Εγκυρότητα στη Μέτρηση της Συνολικής Ημερήσιας Ενεργειακής Δαπάνης από τους Ιχνηλάτες Φυσικής Δραστηριότητας

Η γρήγορη ανάπτυξη της επιστήμης και τεχνολογίας επάνω στις «έξυπνες» φορητές συσκευές καταγραφής της φυσικής δραστηριότητας, βοήθησε σημαντικά στην εφαρμογή αυτών των συσκευών στην κλινική πρακτική. Η αυτο-παρακολούθηση της φυσικής δραστηριότητας με τις wearable συσκευές στον καρπό, βελτιώνει τα επίπεδα καθημερινής άσκησης στους εφήβους. Ωστόσο, θα πρέπει να είναι ακριβείας οι μετρήσεις που γίνονται από τα fitness trackers, ώστε να αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των προπονήσεων που σκοπεύουν στην αύξηση της σωματικής άσκησης.

Εξετάστηκε στη μελέτη των Hao et al. (2021) η εγκυρότητα 11 συσκευών εμπορικού τύπου ιχνηλάτησης της φυσικής δραστηριότητας που είναι wearable στον καρπό, για τον υπολογισμό της συνολικής ημερήσιας (24 ώρες) ενεργειακής δαπάνης, υπό τεχνητές συνθήκες ελεύθερης διαβίωσης, σε υγιείς εφήβους.

19 συμμετέχοντες (10 αγόρια και 9 κορίτσια) ηλικίας 14 έως 18 ετών, εκτέλεσαν έναν κύκλο ασκήσεων εντός μεταβολικού θαλάμου στη διάρκεια ενός 24-ώρου. Κάθε άτομο φορούσε ταυτόχρονα τις 11 wearable συσκευές. Η μέθοδος αναφοράς (criterion measure) για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης ήταν ο μεταβολικός θάλαμος.

Αποτελέσματα: Ο συντελεστής συσχέτισης κατά Pearson για τη Συνολική (24ώρες) Ενεργειακή Δαπάνη είχε διακύμανση $r=0.78$ (Misfit Shine 2) έως $r=0.96$ (Polar Loop). Ο δείκτης Mean Absolute Percentage Error (MAPE) για τη Συνολική Ενεργειακή Δαπάνη είχε διακύμανση από 5.7% (Xiaomi Mi Band 2) έως 26.4% (Huami Amazfit). Η εκτίμηση της Συνολικής Ενεργειακής Δαπάνης (TEE) από τις συσκευές Xiaomi Mi Band 2, Jawbone UP3, Garmin VivoFit, Meizu Bong 2s ήταν ισοδύναμη με αυτή του μεταβολικού θαλάμου (mcTEE).

Πίνακας 5.7

Device	TEEP (kcal) ^b	Bias	P value
Amazfit	1496.6 (249.1)	−542.0 (188.2)	<.001
Bong 2s ^c	2037.7 (208.8)	−0.9 (164.5)	.98
Flex	2325.6 (272.2)	287.0 (118.7)	<.001
Vivofit	2040.5 (290.4)	1.9 (162.2)	.96
GOLiFE	1925.0 (246.8)	−113.6 (144.9)	<.001
B2 ^b	1922.8 (258.1)	−115.9 (146.7)	<.001
UP3	1970.5 (282.4)	−68.1 (148.5)	.06
Shine 2	2426.5 (324.4)	387.9 (209.7)	<.001
Loop	2181.8 (312.1)	143.2 (92.4)	<.001
Pulse O2	1886.0 (261.4)	−152.6 (154.2)	<.001
Mi Band 2 ^c	1979.1 (239.0)	−59.5 (128.5)	.06

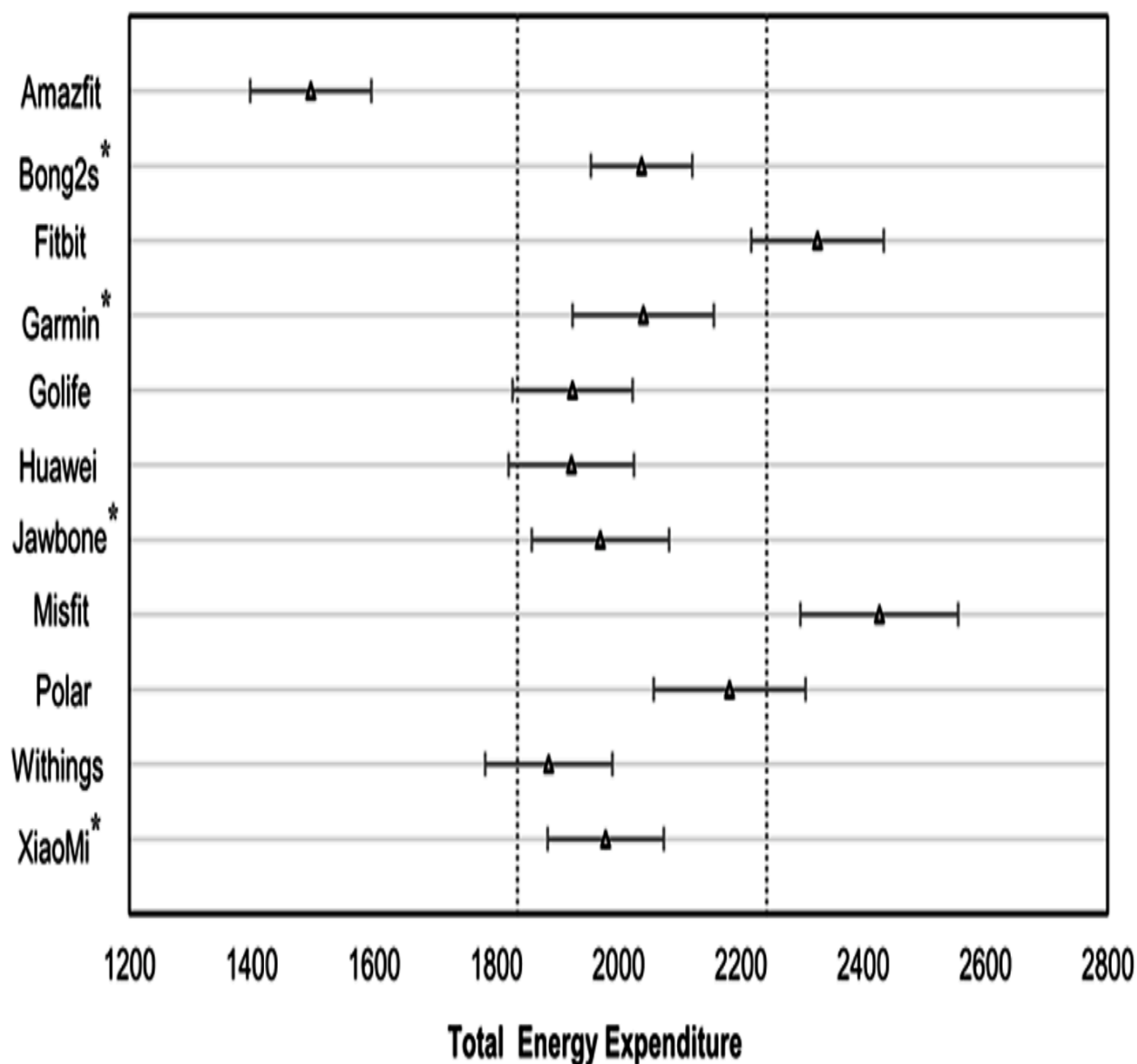
^a Criterion values: McTEE 2038.6 (299.8) kcal;

^bTEEP: predicted total energy expenditure.

^cAdd rest energy expenditure.

Πίνακας 5.7. Οι διαφορές της ενεργειακής δαπάνης από τις wearable συσκευές, συγκριτικά με τη μέτρηση από τον μεταβολικό θάλαμο. Από το "Validity of Wrist-Wearable Activity Devices for Estimating Physical Activity in Adolescents: Comparative Study", των Y. Hao et al., 2021, *JMIR mHealth and uHealth*, 9(1). © 2021 Yingying Hao et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 5.7



Εικόνα 5.7. Η εγκυρότητα στην εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης από τις wearable συσκευές, σε σχέση με την μέθοδο μεταβολικού θαλάμου. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τη ζώνη ισοδυναμίας από τη μέθοδο αναφοράς. Οι σκούρες οριζόντιες γραμμές είναι το διάστημα εμπιστοσύνης για την ενεργειακή δαπάνη από τα wearables. Από το "Validity of Wrist-Wearable Activity Devices for Estimating Physical Activity in Adolescents: Comparative Study", των Y. Hao et al., 2021, *JMIR mHealth and uHealth*, 9(1). © 2021 Yingying Hao et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

* : Εντός της ζώνης ισοδυναμίας.

Δ : η μέση τιμή της εκτιμώμενης ενεργειακής δαπάνης από τα wearables.

Η μέθοδος αναφοράς για τη μέτρηση της συνολικής ενεργειακής δαπάνης σε αυτή τη μελέτη είναι ο μεταβολικός θάλαμος και χρησιμοποιείται ο συμβολισμός "mcTEE".

Οι ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας (με σημείο τοποθέτησης τον καρπό) που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα εγκυρότητας ήταν τα παρακάτω wearables:

- Amazfit [Huami]
- Bong 2s [Meizu]
- Flex [Fitbit]
- Vivofit [Garmin]
- GOLiFE Care-X [GoYourLife]
- B2 [Huawei]
- UP3 [Jawbone]
- Shine 2 [Misfit]
- Loop [Polar Electro]
- Pulse O2 [Withings]
- Mi Band 2 [Xiaomi]

Τελικά, οι «έξυπνες» φορητές συσκευές Bong 2s [Meizu], Vivofit [Garmin], UP3 [Jawbone] και Mi Band 2 [Xiaomi] ήταν εντός της ζώνης ισοδυναμίας (equivalence zone), κάτι που σημαίνει ότι αυτές οι συσκευές υπολογίζουν έγκυρα τη συνολική ενεργειακή δαπάνη ενός ατόμου, σύμφωνα με τη σύγκριση που έγινε με τη μέθοδο μεταβολικού θαλάμου (metabolic chamber).

5.8: Υπάρχει Όφελος από τη Χρήση «Έξυπνων» Φορητών Συσκευών ;

Σχετικά πρόσφατα δημοσιεύθηκε από τους Jo et al. (2019) μια ανασκόπηση των διαθέσιμων μελετών που χρησιμοποίησαν «έξυπνες» φορητές συσκευές σε προγράμματα απώλειας σωματικού βάρους. Η ανασκόπηση περιελάμβανε 5 μελέτες και παρακάτω γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των μελετών αυτών.

Στη δημοσίευση των Cho et al. (2018), τα άτομα που είχαν ΔΜΣ (BMI) 23 kg/m² ή μεγαλύτερο και είχαν διαγνωστεί με υπνική άπνοια, χρησιμοποίησαν μία εφαρμογή (app) κινητού τηλεφώνου (smartphone) ή οποία κατέγραψε μία βραχυπρόθεσμη απώλεια σωματικού βάρους σε σημαντικό βαθμό για την ομάδα παρέμβασης (n = 24). Η ομάδα ελέγχου διαχειρίστηκε μέσω εκπαίδευσης για την αλλαγή του τρόπου ζωής (n = 23). Η ομάδα παρέμβασης είχε απώλεια σωματικού βάρους 0–2.4 kg σε χρονικό διάστημα τεσσάρων εβδομάδων.

Στη μελέτη των Ross et al. (2016) υπήρχαν τρεις ομάδες. Η ομάδα ελέγχου (n = 26) που χρησιμοποίησε μόνο ένα εργαλείο αυτό-παρακολούθησης, η ομάδα «Τεχνολογίας» (n = 27) που χρησιμοποίησε μία συσκευή Fitbit και η ομάδα «Τεχνολογίας και τηλεφώνου» (n = 27) που χρησιμοποίησε μία συσκευή Fitbit και λάμβανε συχνά συμβουλές ανατροφοδότησης στο κινητό τους τηλέφωνο (smartphone) από επαγγελματίες υγείας. Η ομάδα «Τεχνολογίας και τηλεφώνου» δεν αξιολογείται στην τρέχουσα δημοσίευση. Τα ευρήματα της μελέτης αυτής καταλήγουν ότι τα άτομα που έκαναν χρήση της wearable συσκευής, έχασαν 4.04 kg στη χρονική διάρκεια της μελέτης. Ωστόσο, αυτή η απώλεια βάρους δεν διαφέρει σημαντικά από αυτήν που είχε η ομάδα ελέγχου. Επίσης, σχεδόν οι μισοί ή και περισσότεροι συμμετέχοντες έχασαν λιγότερο από 3% του σωματικού του βάρους, σε διάστημα έξι μηνών.

Η μελέτη των Jakicic et al. (2016) είχε τη μεγαλύτερη διάρκεια παρέμβασης και follow-up (24 μήνες) και μεγάλο δείγμα πληθυσμού (n = 470). Στην ομάδα παρέμβασης δόθηκε μία wearable συσκευή εμπορικού τύπου που είχε διασύνδεση με ένα online περιβάλλον για την συμπεριφορική παρέμβαση. Στα άτομα αυτά η απώλεια βάρους ήταν 3.6 kg σε διάστημα 24 μηνών. Σε αντίθεση με την ομάδα παρέμβασης, η ομάδα ελέγχου έχασε σχεδόν τα διπλάσια κιλά σωματικού βάρους. Τα υπόλοιπα σωματομετρικά στοιχεία όπως το BMI, η λιπώδης μάζα και η άλιπη μάζα, μεταβλήθηκαν σε βαθμό μη σημαντικό.

Οι Finkelstein et al. (2016) εξέτασαν τρεις διαφορετικές ομάδες παρέμβασης στη μελέτη τους. Η μία ήταν η ομάδα με μία συσκευή Fitbit ($n = 203$) η δεύτερη ήταν η ομάδα με ένα Fitbit και το κίνητρο των χρημάτων ($n = 197$) και η τρίτη ήταν η ομάδα με ένα Fitbit και το κίνητρο του φιλανθρωπικού έργου ($n = 199$). Η απώλεια βάρους δεν ήταν σημαντική στις ομάδες παρέμβασης και δεν ήταν σημαντικά διαφορετική από την ομάδα ελέγχου, παρ' όλο που τα άτομα στις ομάδες παρέμβασης με τις Fitbit συσκευές κατάφεραν να κάνουν περισσότερη μέτρια προς έντονη άσκηση σε σημαντικό βαθμό συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου.

Στη μελέτη των Thorndike et al. (2016), η απώλεια βάρους δεν ήταν σημαντική στην ομάδα παρέμβασης που έκανε χρήση μίας wearable συσκευής (Fitbit). Στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου, τα άτομα είχαν δωρεάν πρόσβαση σε γυμναστήριο, δωρεάν πρόγραμμα ισορροπημένης διατροφής και δωρεάν Fitbit συσκευές. Η ομάδα παρέμβασης κατάφερε να παρακολουθήσει την καθημερινή δραστηριότητα μέσω των wearable συσκευών, για περισσότερο από 12 μήνες ($n = 52$), χωρίς να οδηγεί αυτό σε κάποια σημαντική απώλεια βάρους. Στην ομάδα παρέμβασης, τα δεδομένα των βημάτων και της ενεργειακής δαπάνης ήταν συνεχώς ορατά στην οθόνη της Fitbit συσκευής. Στην ομάδα ελέγχου η οθόνη του Fitbit ήταν συνεχώς σβηστή, ενώ οι μετρήσεις από τη wearable συσκευή γινόταν ταυτόχρονα στο παρασκήνιο.

Πίνακας 5.8

	Reference First Author, Date	Study Population	Intervention	Findings
Weight loss	Cho, 2018 ¹⁶	Adults over 20 years old with snoring or sleep apnea who had BMI of 23 kg/m ² or greater (n = 47)	Used smartphone application	Participants in the intervention group lost 2.1kg ($P < .001$).
	Finkelstein, 2016 ¹⁷	Adult employees aged 21-65 y in Singapore (n = 800)	Used a FitBit tracker and combined form of a Fitbit and incentives	Participants using a wearable device did not show significant weight change over 12 months, and weight loss in this group was not significantly different from control group ($P = .42$).
	Jakicic, 2016 ¹⁵	Adults aged 18-35 y who had BMI of 25-40 kg/m ² (n = 471)	Used a commercial wearable technology included a Web-based interface	Participants in the intervention group lost 3.5 kg over 24 months, whereas control group lost >3.5 kg. The differences between control and intervention groups were significant ($P < .05$).
	Ross, 2016 ¹¹	Overweight and obese adults aged 18-70 y (n = 80)	A Fitbit Zip activity monitor only and combined form of a Fitbit and phone-based intervention	Participants given a wearable device showed an only 4-kg weight loss and more than half lost <3% of weight for 6 months ($P > .05$).
	Thorndike, 2016 ¹⁸	Medical residents who worked at Massachusetts General Hospital (n = 127)	Provided access to the on-site fitness center and used a Fitbit monitor	Participants did not show significant weight change ($P = .59$).

Πίνακας 5.8. Πέντε μελέτες για την επίδραση της «έξυπνης» φορητής τεχνολογίας στην απώλεια βάρους. Από το "Is There a Benefit to Patients Using Wearable Devices Such as Fitbit or Health Apps on Mobiles? A Systematic Review", των A. Jo et al., 2019, *The American Journal of Medicine*, 132(12). © 2019 Elsevier Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.9: Ο Αντίκτυπος των Wearable Συσκευών στη Φυσική

Δραστηριότητα και στην Απώλεια Βάρους

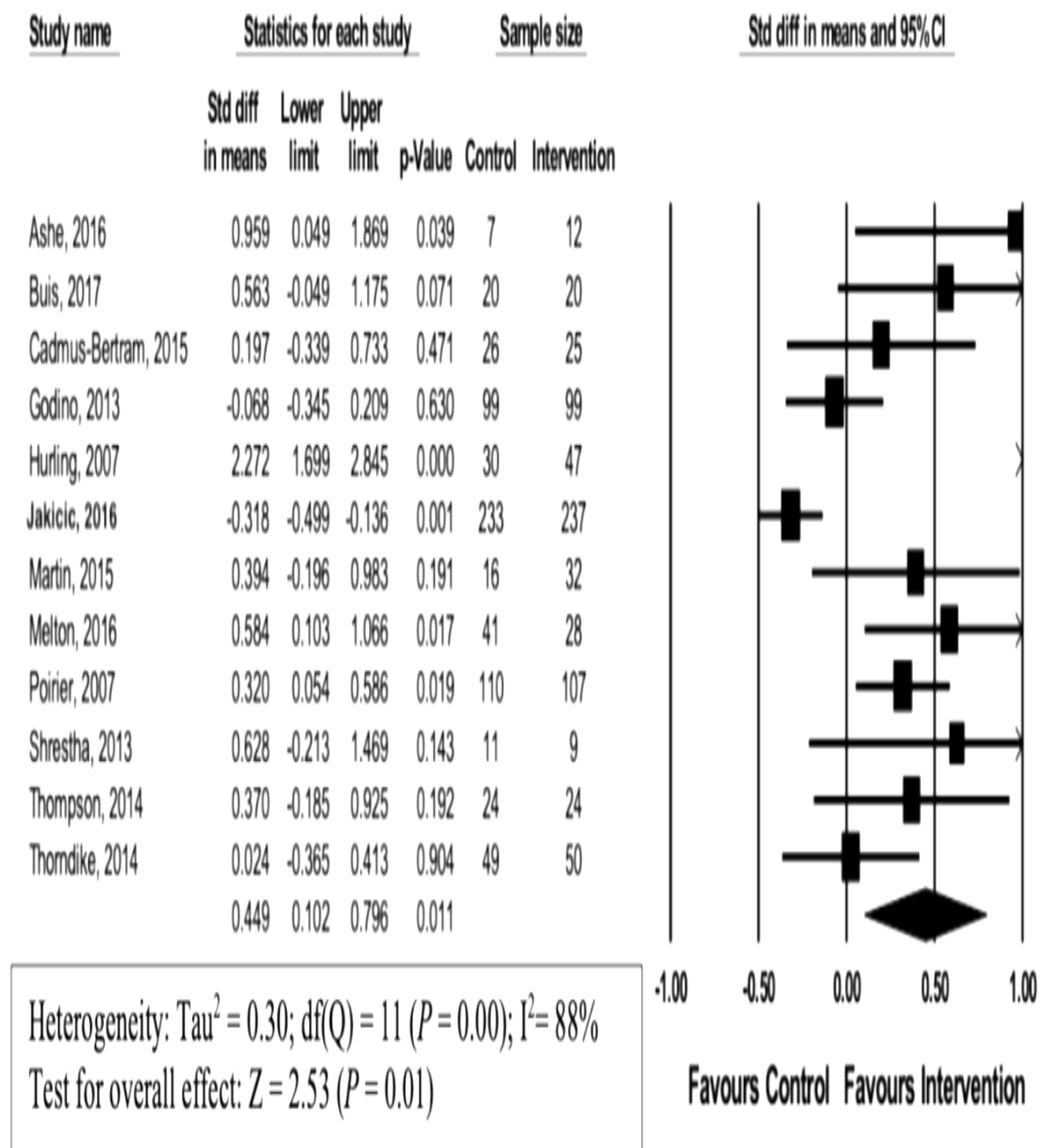
Σε μία πρόσφατη μετα-ανάλυση των Tang et al. (2020) εξετάστηκαν οι επιδράσεις από τη χρήση «έξυπνων» φορητών συσκευών, στη φυσική δραστηριότητα. Αποτελείται από 12 τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές, με ένα δείγμα 1693 ατόμων. Συνολικά, η χρήση των fitness trackers συσχετίστηκε με αύξηση της φυσικής σωματικής δραστηριότητας. Οι παρεμβάσεις που συμπεριέλαβαν κάποια wearable συσκευή εμπορικού τύπου, φάνηκε ότι βελτιώνουν τη φυσική δραστηριότητα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, ειδικότερα στο συνολικό ημερήσιο αριθμό βημάτων. Μάλιστα, στις αναλύσεις υποομάδων, φάνηκε ότι οι «έξυπνες» φορητές συσκευές δεν είχαν καμία ξεκάθαρη επίδραση στη φυσική δραστηριότητα, ούτε και στη μείωση του σωματικού βάρους των ατόμων στην κατηγορία των υπέρβαρων.

Οι wearable ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας που αναλύθηκαν μέσα από αυτή τη μετά-ανάλυση είναι οι συσκευές Fitbit, Jawbone UP, Actiheart, Fit Core, Fitbug Orb, Polar FA20.

Τα αποτελέσματα αυτής της μετά-ανάλυσης έχουν αντίκτυπο στην εξατομικευμένη και δημόσια υγεία. Οι wearable ιχνηλάτες φυσικής δραστηριότητας έχουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της υγείας ενός ατόμου, αλλά και ολόκληρου πληθυσμού. Είναι εργαλεία για την αύξηση της καθημερινής φυσικής δραστηριότητας και τη βελτίωση ενός καθιστικού τρόπου ζωής μέσα από την καθιέρωση διαφόρων υγιεινών συνηθειών και συμπεριφορών.

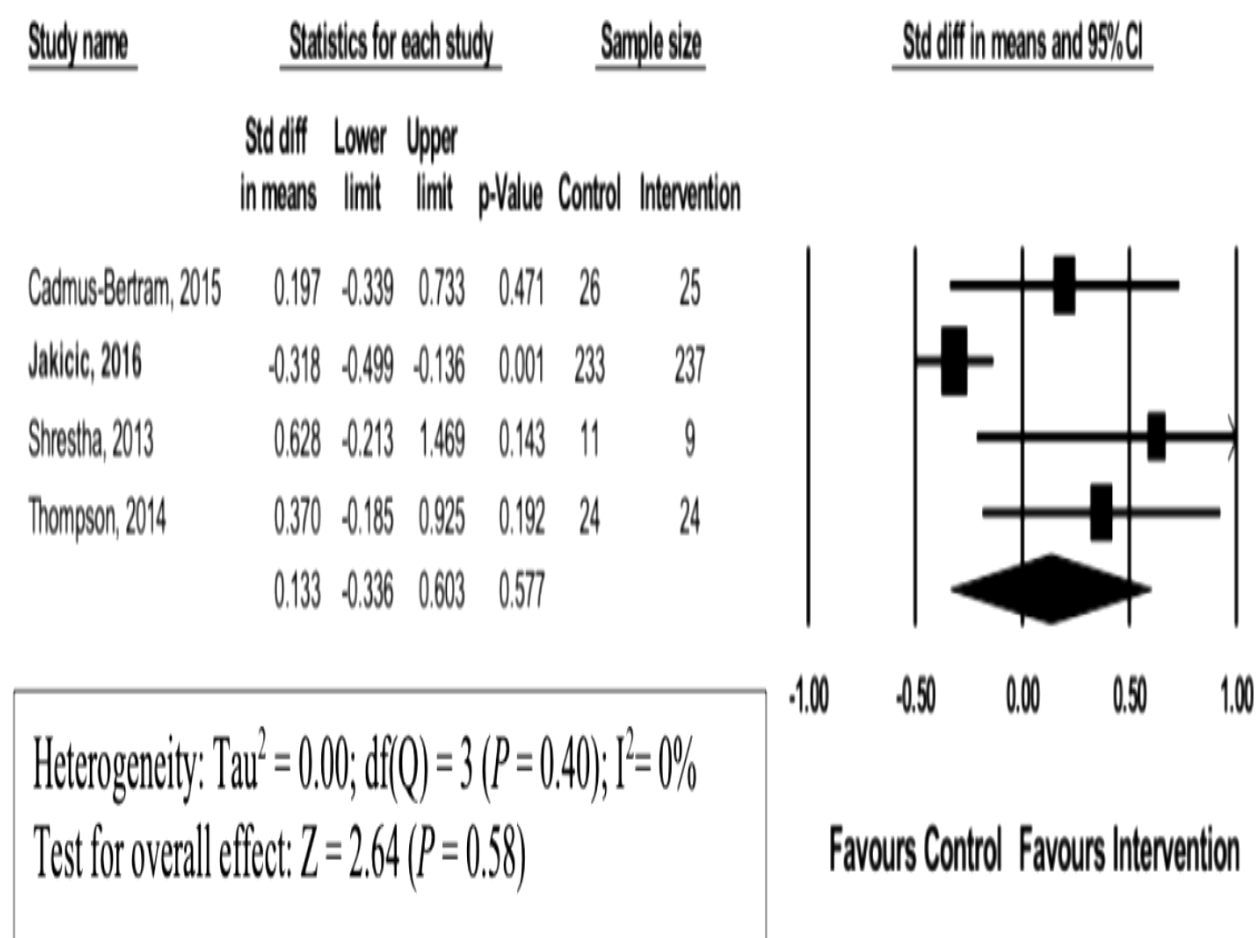
Τα οφέλη είναι η πρόληψη ή μείωση των προβλημάτων υγείας, η υποστήριξη στις χρόνιες παθήσεις που χρήζουν αυτο-παρακολούθησης και η απόκτηση γνώσης σε διάφορα θέματα άγνωστα προς τον ασθενή για την κατάσταση της υγείας του, μέσα από την καθημερινή χρήση αυτών των συσκευών. Το χαμηλό κόστος και η ευχρηστία αυτών των συσκευών, τις καθιστά ελκυστικές προς όλους τους ανθρώπους και μάλιστα, προωθεί τον πληθυσμό προς έναν γενικότερα δραστήριο τρόπο ζωής, με στόχο τη βελτίωση της υγείας και τη μείωση των επιπλοκών από την καθιστική ζωή.

Εικόνα 5.9



Εικόνα 5.9. Forest plot για την επίδραση που έχει η χρήση των wearable συσκευών, στη φυσική δραστηριότητα σε υγιείς και υγιείς υπέρβαρους ενήλικες. Από το "Effectiveness of Wearable Trackers on Physical Activity in Healthy Adults: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials", των M. S. S. Tang et al., 2020, *JMIR mHealth and uHealth*, 8(7). © 2020 Matilda Swee Sun et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Εικόνα 5.91



Εικόνα 5.91. Forest plot για την επίδραση που έχει η χρήση των wearable συσκευών, στην απώλεια βάρους σε υγιείς και υγιείς υπέρβαρους ενήλικες. Από το "Effectiveness of Wearable Trackers on Physical Activity in Healthy Adults: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials", των M. S. S. Tang et al., 2020, *JMIR mHealth and uHealth*, 8(7). © 2020 Matilda Swee Sun et al. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ουσιαστικά, μέσα από μία τόσο μικρή μετα-ανάλυση τεσσάρων μόνο μελετών, δεν μπορούμε να διεξάγουμε σωστά αποτελέσματα. Ωστόσο, στις μελέτες αυτές εξετάστηκε η επίδραση των wearable συσκευών στην απώλεια σωματικού βάρους. Δεν υπάρχει κάποια στατιστική σημασία, αλλά αν διακρίνουμε λίγο καλύτερα τις μελέτες, θα δούμε ότι οι τρεις από τις τέσσερις έδειξαν ότι υπάρχει μία τάση προς την θετική επίδραση της παρέμβασης με τα wearables. Πολύ απλά, δηλαδή, θα μπορούσε η χρήση των wearable συσκευών να έχει ευνοϊκά αποτελέσματα στην απώλεια των περιττών κιλών και στη διαχείριση του σωματικού βάρους.

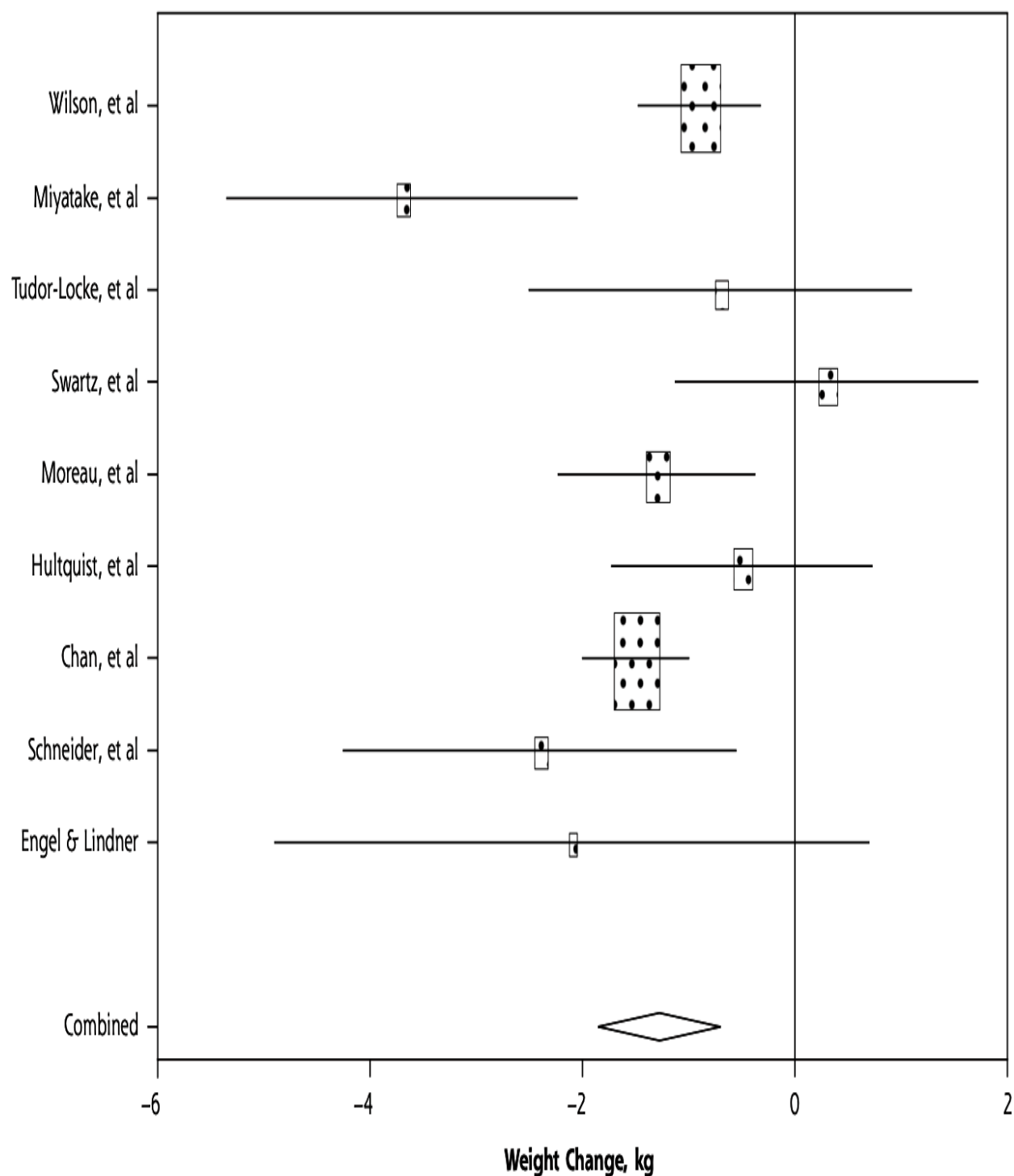
5.10: Η Επίδραση των Πεδόμετρων/Βηματόμετρων στην Απώλεια Βάρους των Υπέρβαρων ή Παχύσαρκων Ασθενών

Σε μία μετα-ανάλυση από τους Richardson et al. (2008), συμπεριλήφθηκαν μελέτες στις οποίες εξέτασαν το κατά πόσο η χρήση βηματόμετρων θα μπορούσε να επηρεάσει το σωματικό βάρος χωρίς να υπάρχει κάποια διαιτητική παρέμβαση. Συμπεριλήφθηκαν τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCT) και προοπτικές μελέτες κοορτής, ενώ εννέα ήταν στο συνολικό αριθμό οι μελέτες στη μετα-ανάλυση.

Συνδυάζοντας τις 9 μελέτες, στο συγκεντρωτικό αποτέλεσμα (pooled) η μέση αλλαγή βάρους ήταν απώλεια βάρους 1.27 kg. Όσο πιο μεγάλη διάρκεια είχε η παρέμβαση, τόσο περισσότερη ήταν και η απώλεια βάρους. Κατά μέσο όρο, τα άτομα ($n = 307$) που συμμετείχαν στις εννέα μελέτες της μετα-ανάλυσης, είχαν μία απώλεια βάρους κατά 0.05 kg ανά εβδομάδα.

Το τελικό συμπέρασμα της μετα-ανάλυσης ήταν ότι τα προγράμματα παρέμβασης με τη χρήση πεδόμετρων/βηματόμετρων για το περπάτημα, έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή του σωματικού βάρους σε μέτριο βαθμό. Τα μεγαλύτερης διάρκειας προγράμματα παρέμβασης, συντελούν στην περισσότερη απώλεια βάρους, συγκριτικά με τα μικρότερης διάρκειας.

Εικόνα 5.10



Εικόνα 5.10. Forest plot για τις 9 μελέτες κοορτής, μαζί με τα μεγέθη επίδρασης και τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης. Από το "A Meta-Analysis of Pedometer-Based Walking Interventions and Weight Loss", των C. R. Richardson et al., 2008, *The Annals of Family Medicine*, 6(1). © 2008 Annals of Family Medicine, Inc. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

5.11: Η Επίπτωση στην Απώλεια Βάρους μέσα από τις Παρεμβάσεις με τη Χρήση Επιταχυνσιόμετρων

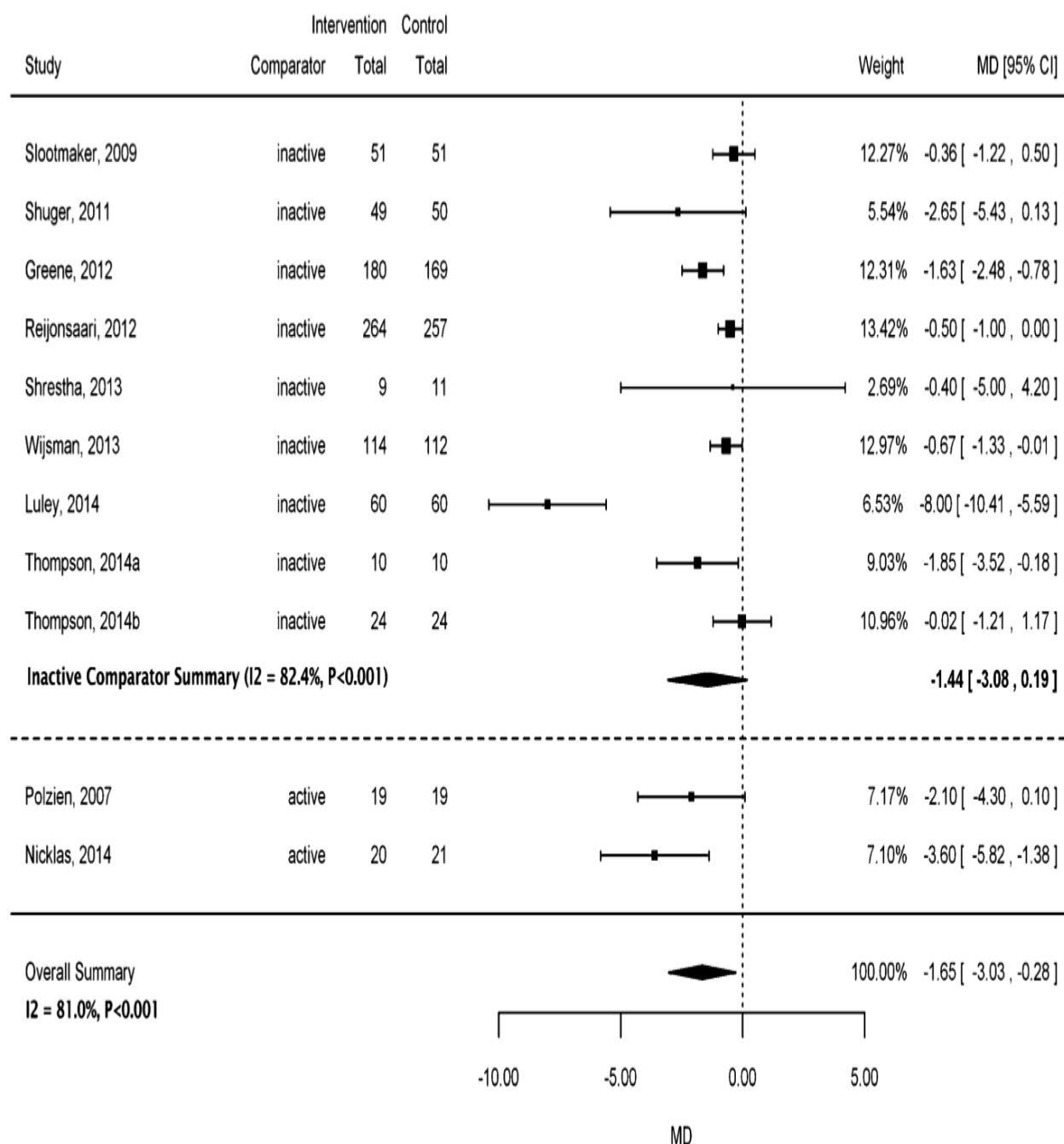
Σε μία άλλη μετα-ανάλυση από τους Goode et al. (2017) εξετάστηκε το κατά πόσο η χρήση επιταχυνσιόμετρων θα μπορούσε να επηρεάσει τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας ή και το σωματικό βάρος.

Δεκατέσσερις έρευνες (συνολικά 2972 συμμετέχοντες) ήταν εντός των κριτηρίων επιλογής, καθώς σε αυτές γινόταν χρήση επιταχυνσιόμετρων. 12 μελέτες εξέτασαν την επίδραση στη φυσική δραστηριότητα. Βρέθηκε μία μικρή, αλλά σημαντική αύξηση της φυσικής δραστηριότητας (SMD 0.26; 95 % CI 0.04 to 0.49; $I^2=64.7\%$).

Έντεκα μελέτες εξέτασαν τα αποτελέσματα της χρήσης επιταχυνσιόμετρων, στην αλλαγή του σωματικού βάρους. Το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα (pooled) έδειξε μία μικρή, αλλά σημαντική μείωση του σωματικού βάρους (MD -1.65 kg; 95 % CI -3.03 to -0.28; $I^2 = 81\%$).

Φάνηκε ότι η χρήση των «έξυπνων» φορητών συσκευών με αισθητήρες επιταχυνσιομετρίας, έχει θετικές επιδράσεις στη φυσική δραστηριότητα (αύξηση) και στην απώλεια βάρους (μείωση).

Εικόνα 5.11



Εικόνα 5.11. Forest plot των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στη μετανάλυση για την απώλεια βάρους, στρωματοποιημένο κατά ενεργούς και μη ενεργούς συγκριτές (comparators). Από το "The Impact of Interventions that Integrate Accelerometers on Physical Activity and Weight Loss: A Systematic Review", των A. P. Goode et al., 2017, *Annals of Behavioral Medicine : A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, 51(1). © 2016 The Society of Behavioral Medicine. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Achamrah, N., Oshima, T., & Genton, L. (2018). Innovations in energy expenditure assessment. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 21(5), 321–328. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000489>
- ActiGraph. (2018, November 8). *ActiGraph Support Center*. Actigraphcorp.my.site.com. <https://actigraphcorp.my.site.com/support/s/article/What-is-the-difference-among-the-Energy-Expenditure-Algorithms>
- ActiGraph wGT3X-BT*. (n.d.). Actigraphcorp.com. <https://actigraphcorp.com/actigraph-wgt3x-bt/>
- Alsubheen, S. A., George, A. M., Baker, A., Rohr, L. E., & Basset, F. A. (2016). Accuracy of the Vivofit activity tracker. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 40(6), 298–306. <https://doi.org/10.1080/03091902.2016.1193238>
- Amft, O., & Lukowicz, P. (2009). From backpacks to smartphones: Past, present, and future of wearable computers. *IEEE Pervasive Computing*, 8(3), 8–13. <https://doi.org/10.1109/mprv.2009.44>
- An, B. W., Shin, J. H., Kim, S.-Y., Kim, J., Ji, S., Park, J., Lee, Y., Jang, J., Park, Y.-G., Cho, E., Jo, S., & Park, J.-U. (2017). Smart sensor systems for wearable electronic devices. *Polymers*, 9(8), 303. <https://doi.org/10.3390/polym9080303>
- Andalibi, V., Honko, H., Christophe, F., & Viik, J. (2015). Data correction for seven activity trackers based on regression models. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1592–1595. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318678>
- Apple Support. (2021a, October 19). *Measuring your blood oxygen levels with the blood oxygen app on Apple Watch series 6 or series 7*. Official Apple Support. <https://support.apple.com/en-us/HT211027>
- Apple Support. (2021b, December 13). *Monitor your heart rate with Apple Watch*. Apple Support. <https://support.apple.com/en-us/HT204666>
- Beach, C., Balaban, E., & Casson, A. J. (2021). Chapter 14 - edge algorithms for wearables: An overview of a truly multi-disciplinary problem. In E. Sazonov (Ed.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (Second Edition, pp. 379–414). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819246-7.00014-0>
- Bhammar, D. M., Sawyer, B. J., Tucker, W. J., Lee, J.-M., & Gaesser, G. A. (2016). Validity of SenseWear® Armband v5.2 and v2.2 for estimating energy expenditure. *Journal*

- of Sports Sciences*, 34(19), 1830–1838. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1140220>
- Bunn, J. A., Navalta, J. W., Fountaine, C. J., & Reece, J. D. (2018). Current state of commercial wearable technology in physical activity monitoring 2015-2017. *International Journal of Exercise Science*, 11(7), 503–515. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29541338/>
- Calories Burned | Health Science | Garmin Technology | Garmin*. (n.d.). www.garmin.com. Retrieved April 4, 2022, from <https://www.garmin.com/en-US/garmin-technology/health-science/calories-burned/>
- Chen, G., Rodriguez-Villegas, E., & Casson, A. J. (2014). Chapter 5.1 - wearable algorithms: An overview of a truly multi-disciplinary problem. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 353–382). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00005-2>
- Cho, K. H., Song, W., Kim, J., Jung, E. J., Jang, J., Im, S. H., & Kim, M. (2016). Energy expenditures for activities of daily living in Korean young adults: A preliminary study. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(4), 725–733. <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.4.725>
- Cosmed K5 Wearable Metabolic Technology*. (n.d.). Medicalexpo.com. Retrieved May 24, 2022, from <https://pdf.medicalexpo.com/pdf/cosmed/k5-wearable-metabolic-technology/68117-200181.html>
- Coyle, S., Curto, V. F., Benito-Lopez, F., Florea, L., & Diamond, D. (2014). Chapter 2.1 - wearable bio and chemical sensors. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 65–83). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00002-7>
- Dudley, P., Bassett, D. R., John, D., & Crouter, S. E. (2012). Validity of a multi-sensor armband for estimating energy expenditure during eighteen different activities. *Journal of Obesity & Weight Loss Therapy*, 2(7). <https://doi.org/10.4172/2165-7904.1000146>
- Düking, P., Giessing, L., Frenkel, M. O., Koehler, K., Holmberg, H.-C., & Sperlich, B. (2020). Wrist-Worn wearables for monitoring heart rate and energy expenditure while sitting or performing light-to-vigorous physical activity: Validation study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(5), e16716. <https://doi.org/10.2196/16716>

- Dunn, J., Runge, R., & Snyder, M. (2018). Wearables and the medical revolution. *Personalized Medicine*, 15(5), 429–448. <https://doi.org/10.2217/pme-2018-0044>
- Falter, M., Budts, W., Goetschalckx, K., Cornelissen, V., & Buys, R. (2019). Accuracy of Apple Watch measurements for heart rate and energy expenditure in patients with cardiovascular disease: Cross-Sectional study. *JMIR MHealth and UHealth*, 7(3), e11889. <https://doi.org/10.2196/11889>
- Feehan, L. M., Geldman, J., Sayre, E. C., Park, C., Ezzat, A. M., Yoo, J. Y., Hamilton, C. B., & Li, L. C. (2018). Accuracy of Fitbit devices: Systematic review and narrative syntheses of quantitative data. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(8), e10527. <https://doi.org/10.2196/10527>
- Firstbeat Analytics - Calories Burned*. (n.d.). www.firstbeatanalytics.com. Retrieved April 4, 2022, from <https://www.firstbeatanalytics.com/en/features/calories-burned/>
- Fitbit Sense - Features & Specs*. (2020). Fitbit.com. <https://www.fitbit.com/global/eu/products/smartwatches/sense?sku=512SRSG>
- Fotouhi-Ghazvini, F., & Abbaspour, S. (2020). Wearable wireless sensors for measuring calorie consumption. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 10(1), 19–34. https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS_15_18
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Buote, R., Heerden, D. V., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: Systematic review. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(9), e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
- Gastin, P. B., Cayzer, C., Dwyer, D., & Robertson, S. (2018). Validity of the ActiGraph GT3X+ and BodyMedia SenseWear Armband to estimate energy expenditure during physical activity and sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(3), 291–295. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.07.022>
- Giggins, Oonagh M., Clay, I., & Walsh, L. (2017). Physical activity monitoring in patients with neurological disorders: A review of novel body-worn devices. *Digital Biomarkers*, 1(1). <https://doi.org/10.1159/000477384>
- Goode, A. P., Hall, K. S., Batch, B. C., Huffman, K. M., Hastings, S. N., Allen, K. D., Shaw, R. J., Kanach, F. A., McDuffie, J. R., Kosinski, A. S., Williams, J. W., & Gierisch, J. M. (2017). The impact of accelerometers on physical activity and weight loss: A

- systematic review. *Annals of Behavioral Medicine : A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, 51(1), 79–93. <https://doi.org/10.1007/s12160-016-9829-1>
- Gresham, G., Schrack, J., Gresham, L. M., Shinde, A. M., Hendifar, A. E., Tuli, R., Rimel, B. J., Figlin, R., Meinert, C. L., & Piantadosi, S. (2018). Wearable activity monitors in oncology trials: Current use of an emerging technology. *Contemporary Clinical Trials*, 64, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2017.11.002>
- Guk, K., Han, G., Lim, J., Jeong, K., Kang, T., Lim, E.-K., & Jung, J. (2019). Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare. *Nanomaterials*, 9(6), 813. <https://doi.org/10.3390/nano9060813>
- Hao, Y., Ma, X.-K., Zhu, Z., & Cao, Z.-B. (2021). Validity of the wrist-wearable activity devices for estimating physical activity in adolescents: Comparative study. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(1). <https://doi.org/10.2196/18320>
- Hickey, A. M., & Freedson, P. S. (2016). Utility of consumer physical activity trackers as an intervention tool in cardiovascular disease prevention and treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 58(6), 613–619. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2016.02.006>
- Hills, A. P., Mokhtar, N., & Byrne, N. M. (2014). Assessment of physical activity and energy expenditure: An overview of objective measures. *Frontiers in Nutrition*, 1(5). <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00005>
- Jo, A., Coronel, B. D., Coakes, C. E., & Mainous, A. G. (2019). Is there a benefit to patients using wearable devices such as Fitbit or health apps on mobiles? A systematic review. *The American Journal of Medicine*, 132(12), 1394–1400. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.06.018>
- Koehler, K., & Drenowatz, C. (2017). Monitoring energy expenditure using a multi-sensor device—applications and limitations of the SenseWear Armband in athletic populations. *Frontiers in Physiology*, 8, 983. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00983>
- LaMunion, S. R., Blythe, A. L., Hibbing, P. R., Kaplan, A. S., Clendenin, B. J., & Crouter, S. E. (2020). Use of consumer monitors for estimating energy expenditure in youth. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(2), 161–168. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0129>

- Lee, J.-M., Kim, Y., & Welk, G. J. (2014). Validity of consumer-based physical activity monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(9), 1840–1848. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000287>
- Lemay, M., Bertschi, M., Sola, J., Renevey, P., Parak, J., & Korhonen, I. (2014). Chapter 2.3 - application of optical heart rate monitoring. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 105–129). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00023-4>
- Lu, L., Zhang, J., Xie, Y., Gao, F., Xu, S., Wu, X., & Ye, Z. (2020). Wearable health devices in health care: Narrative systematic review. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(11), e18907. <https://doi.org/10.2196/18907>
- Lyden, K., Swibas, T., Catenacci, V., Guo, R., Szuminsky, N., & Melanson, E. L. (2014). Estimating energy expenditure using heat flux measured at a single body site. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(11), 2159–2167. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000346>
- Mann, S. (1998, May). *Definition of "wearable computer"*. <http://wearcomp.org/wearcompdef.html>
- Mardonova, M., & Choi, Y. (2018). Review of wearable device technology and its applications to the mining industry. *Energies*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/en11030547>
- Mikkelsen, M.-L. K., Berg-Beckhoff, G., Frederiksen, P., Horgan, G., O'Driscoll, R., Palmeira, A. L., Scott, S. E., Stubbs, J., Heitmann, B. L., & Larsen, S. C. (2020). Estimating physical activity and sedentary behaviour in a free-living environment: A comparative study between Fitbit Charge 2 and Actigraph GT3X. *PLOS ONE*, 15(6), e0234426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234426>
- Murakami, H., Kawakami, R., Nakae, S., Nakata, Y., Ishikawa-Takata, K., Tanaka, S., & Miyachi, M. (2016). Accuracy of wearable devices for estimating total energy expenditure. *JAMA Internal Medicine*, 176(5), 702–703. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.0152>
- Murakami, H., Kawakami, R., Nakae, S., Yamada, Y., Nakata, Y., Ohkawara, K., Sasai, H., Ishikawa-Takata, K., Tanaka, S., & Miyachi, M. (2019). Accuracy of 12 wearable devices for estimating physical activity energy expenditure using a metabolic chamber and the doubly labeled water method: Validation Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 7(8). <https://doi.org/10.2196/13938>

- Mynarski, W., Nawrocka, A., Rozpara, M., Cholewa, J., & Tomik, R. (2013). Objective methods, techniques and tools in physical activities testing. *Journal of Tourism, Recreation and Sport Management*, 1, 63–78.
- Ometov, A., Shubina, V., Klus, L., Skibińska, J., Saafi, S., Pascacio, P., Flueratoru, L., Gaibor, D. Q., Chukhno, N., Chukhno, O., Ali, A., Channa, A., Svertoka, E., Qaim, W. B., Casanova-Marqués, R., Holcer, S., Torres-Sospedra, J., Casteleyn, S., Ruggeri, G., ... Lohan, E. S. (2021). A survey on wearable technology: History, state-of-the-art and current challenges. *Computer Networks*, 193(108074), 1–37. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074>
- O'Driscoll, R., Turicchi, J., Beaulieu, K., Scott, S., Matu, J., Deighton, K., Finlayson, G., Stubbs, J., (2020). How well do activity monitors estimate energy expenditure? A systematic review and meta-analysis of the validity of current technologies. *British Journal of Sports Medicine*, 54(6), 332–340. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099643>
- Pantelopoulou, A., & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part c (Applications and Reviews)*, 40(1), 1–12. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2032660>
- Peake, J. M., Kerr, G., & Sullivan, J. P. (2018). A critical review of consumer wearables, mobile applications, and equipment for providing biofeedback, monitoring stress, and sleep in physically active populations. *Frontiers in Physiology*, 9(743). <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00743>
- Poon, C. C. Y., Zheng, Y., Luo, N., Ding, X., & Zhang, Y. T. (2014). Chapter 7.2 - wearing sensors inside and outside of the human body for the early detection of diseases. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 543–562). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00008-8>
- Rhodes, B. (2019). *A brief history of wearable computing*, MIT. <https://www.media.mit.edu/wearables/lizzy/timeline.html#1993c>
- Richardson, C. R., Newton, T. L., Abraham, J. J., Sen, A., Jimbo, M., & Swartz, A. M. (2008). A meta-analysis of pedometer-based walking interventions and weight loss. *The Annals of Family Medicine*, 6(1), 69–77. <https://doi.org/10.1370/afm.761>
- Rodrigues, J. J. P. C., De Rezende Segundo, D. B., Junqueira, H. A., Sabino, M. H., Prince, R. M., Al-Muhtadi, J., & De Albuquerque, V. H. C. (2018). Enabling technologies

- for the internet of health things. *IEEE Access*, 6, 13129–13141. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2789329>
- Schrack, J. A., Cooper, R., Koster, A., Shiroma, E. J., Murabito, J. M., Rejeski, W. J., Ferrucci, L., & Harris, T. B. (2016). Assessing daily physical activity in older adults: Unraveling the complexity of monitors, measures, and methods. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 71(8), 1039–1048. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw026>
- SenseWear Pro3 Armband: Multi-sensor innovation.* (2018). <http://www.nutrizionistatrieste.it/resources/MicroStar---Rheo-Scan---D-300.pdf>
- Sims, P. (2022). *Inertial measurement unit (IMU) Basics*. SlidePlayer. <https://slideplayer.com/slide/14589795/90/images/2/IMU+%28Inertial+Measurement+Unit%29.jpg>
- Stables, J. (2022, March 29). *Fitbit stress score explained: How stress tracking and management works*. Wareable.com. <https://www.wareable.com/fitbit/fitbit-brings-stress-score-to-all-devices-8394>
- Stackpool, C. M. (2013). *The accuracy of various activity trackers in estimating steps taken and energy expenditure*. <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/66292>
- Szuminsky, N., Dykstra, J., & Melanson, E. (2014). Chapter 2.4 - measurement of energy expenditure by body-worn heat-flow sensors. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 131–151). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00022-2>
- Tamura, T. (2014). Chapter 2.2 - wearable inertial sensors and their applications. In E. Sazonov & M. R. Neuman (Eds.), *Wearable Sensors Fundamentals, Implementation and Applications* (pp. 85–104). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418662-0.00024-6>
- Tamura, T. (2019). Wearable oxygen uptake and energy expenditure monitors. *Physiological Measurement*, 40(8), 08TR01. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab3827>
- Tang, M. S. S., Moore, K., McGavigan, A., Clark, R. A., & Ganesan, A. N. (2020). Effectiveness of wearable trackers on physical activity in healthy adults: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(7), e15576. <https://doi.org/10.2196/15576>

- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., & Norton, L. E. (2014). Metabolic adaptation to weight loss: Implications for the athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(7). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-7>
- Whybrow, S., Ritz, P., Horgan, G. W., & Stubbs, R. J. (2012). An evaluation of the IDEEA™ activity monitor for estimating energy expenditure. *British Journal of Nutrition*, 109(1), 173–183. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000645>
- Yetisen, A. K., Martinez-Hurtado, J. L., Ünal, B., Khademhosseini, A., & Butt, H. (2018). Wearables in medicine. *Advanced Materials*, 30(33), 1706910. <https://doi.org/10.1002/adma.201706910>
- Zhang, H., Yan, S., Fang, C., Guo, X., & Zhang, K. (2016). Clinical evaluation and gait characteristics before and after total knee arthroplasty based on a portable gait analyzer. *Orthopaedic Surgery*, 8(3), 360–366. <https://doi.org/10.1111/os.12270>
- Καρβούνης, Ε.Χ. (2020, Σεπτέμβριος). (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). Σύστημα παρακολούθησης Νοσοκομειακής περίθαλψης χρησιμοποιώντας Τεχνολογίες Internet of Things. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2021, από <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/49247>
- Καρβουνίδου, Σ.Μ. (2018, Ιούνιος). (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). *Wearable Devices και Mobile Applications στα Πλαίσια του Internet of Things για την Παρακολούθηση της Φυσικής Κατάστασης των Χρηστών*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2021, από <https://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/23005>
- Μπέλτσος, Λ. (2017, Φεβρουάριος). (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). *Wearables with Internet of Things*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2021, από <https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/20076/4/BeltsosLeonidasMsc2017.pdf>
- Ορφανίδης, Β. (2018, Φεβρουάριος 20). Smartwatch, Sportwatch, Smartband: Ποιο Wearable σου ταιριάζει; Plaisio Blog. Ανακτήθηκε 27 Οκτωβρίου, 2021, από <https://blog.plaisio.gr/whats-trending/smartwatch-sportwatch-smartband-pio-wearable-sou-teriazi/>
- Παραστατίδου, Ε. (2008). (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). *Λειτουργικά Ενδύματα, Υποδήματα και Κοσμήματα*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2021, από <https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/12754/file0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Φραγγίδου, Ε. (2018). (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία). *Wearable Technology and Health Care Analytics*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2021, από <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2818774/theFile>

