



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

**Η επίδραση των ανομοιογενειών στην εξέταση απορροφησιμετρίας
ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DXA)**

**The impact of inhomogenities in the Dual X-ray Absorptiometry
(DXA) method**

Συγγραφέας

Παπαευσταθίου Γεώργιος (ΑΜ: 2012)

Επιβλέπων: Φούντος Γεώργιος

Αθήνα, Ιούνιος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

«ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΦΟΥΝΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΒΑΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
	ΚΑΛΥΒΑΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος ΠΑΠΑΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ του Αθανασίου με αριθμό μητρώου 2012 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών



ΠΑΠΑΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Ευχαριστίες – Αφιερώσεις

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Φούντο Γεώργιο, για την υποδειγματική συνεργασία, συμπαράσταση, θετική ενέργεια και υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Είμαι ευγνώμων για τα ενθαρρυντικά του σχόλια, την άμεση ανταπόκριση και τον χρόνο που διέθεσε για την ανάγνωση και τον σχολιασμό της μελέτης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Δέσποινα και Νάσο, για όλες τις ευκαιρίες που μου έχουν απλόχερα προσφέρει.

29/6/2022

Παπαευσταθίου Γεώργιος

Περίληψη στα ελληνικά

Η μέθοδος DXA θεωρείται η κύρια μέθοδος για τη μέτρηση της οστικής πυκνότητας (BMD) και μια αξιόπιστη μέθοδος για την εκτίμηση της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος. Ο προσδιορισμός των παραπάνω πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού της εξασθένησης της ακτινοβολίας δύο δεσμών ακτινοβολίας διαφορετικών ενεργειών που παράγονται από την πηγή ακτίνων Χ και καταγράφονται από το σύστημα ανίχνευσης. Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η επίδραση ανομοιογενειών, όπως το λίπος και το κολλαγόνο, που μπορεί να υπάρχουν στο ανθρώπινο σώμα και ο τρόπος που επηρεάζουν τους αλγόριθμους και το τελικό αποτέλεσμα του τεστ DXA. Αυτή η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο πρόπλασμα (phantom) της σπονδυλικής στήλης του συστήματος DXA. Οι μετρήσεις BMD πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο DXA "Hologic Discovery QDR" με το phantom να ακτινοβολείται παρουσία των παραγόντων ανομοιογένειας (λίπος), όντας εμβαπτισμένο σε νερό. Οι τιμές BMD που ελήφθησαν παρουσία λίπους συγκρίθηκαν στη συνέχεια με τις τιμές BMD που ελήφθησαν μετρώντας το πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης με την κανονική διαδικασία (στον αέρα). Η μέση τιμή BMD που μετρήθηκε σε συνθήκες ατμοσφαιρικού αέρα ήταν 0,97 gr/cm² ενώ όταν το phantom εμβαπτίστηκε σε νερό ήταν 0,94 gr/cm² παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά (p<0,01). Παρουσία ανομοιογενειών (χοιρινό λίπος) οι τιμές BMD που βρέθηκαν κυμαίνονταν από 0,91 gr/cm² έως 0,99 gr/cm² ανάλογα με την τοποθέτηση.

Λέξεις- κλειδιά: Οστική πυκνομετρία, DXA, Πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης, Οστεοπόρωση

Περίληψη στα αγγλικά

The DXA method is considered as the standard method for measuring bone mineral density (BMD) and a reliable method for estimating the mass composition of the human body. The determination of the above is obtained by measuring the radiation attenuation of two beams of different energies produced by the x-ray source of proper filtering, and recorded by the detector system. In the present study, the effect of inhomogenities, such as fat and collagen, that may exist in the human body and the way they affect the algorithms and the final result of the DXA test, are examined. This study was performed in the spine model phantom of the DXA system. BMD measurements were performed with the phantom and inhomogenities (fat), immersed in water bath, using the DXA model "Hologic Discovery QDR". The BMD values obtained in the presence of fat were then compared with the BMD values obtained by measuring the phantom with the normal procedure. The mean BMD value measured with the normal procedure was 0.97 gr/cm² while when the phantom was immersed in water bath was 0.94 gr/cm² showing statistical significant difference ($p < 0.01$). In the presence of inhomogenities (pork fat) the BMD values found ranged from 0.91 gr/cm² to 0.99 gr/cm² depending on the positioning.

Keywords: DXA, Inhomogenities, Bone mineral density, Phantom study, Osteoporosis

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ – ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ	IV
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	VII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	IX
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	X
ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ	XI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΠΛΑΙΣΙΟ, ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	2
1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ	3
1.4 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	5
2.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΜΑΖΑΣ ΣΩΜΑΤΟΣ.....	5
2.1.1 <i>Ιστορική αναδρομή</i>	5
2.1.2 <i>Δείκτης BMI</i>	6
2.1.3 <i>Εισαγωγή νέων εννοιών</i>	8
2.2 ΕΠΙΠΕΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΩΜΑΤΟΣ.....	10
2.2.1 <i>Ατομικό Επίπεδο</i>	11
2.2.2 <i>Μοριακό Επίπεδο</i>	12
2.2.3 <i>Κυτταρικό Επίπεδο</i>	16
2.2.4 <i>Επίπεδο Ιστών</i>	16
2.2.5 <i>Επίπεδο Σώματος</i>	17
2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ DEXA	17
2.3.1 <i>Ιστορικά Στοιχεία</i>	17
2.3.2 <i>Κατανόηση της Μέτρησης Οστικής Πυκνομετρίας</i>	18
2.3.3 <i>Οστεοπορωτικά Κατάγματα – Περιοχές Μέτρησης</i>	19
2.3.4 <i>Φυσικές αρχές και σύστημα DEXA</i>	22
2.3.5 <i>Δομή και λειτουργίες της DEXA</i>	22

2.3.6	<i>DXA και σύσταση μάζας σώματος</i>	23
2.3.7	<i>DEXA σύγκριση με MRI/CT</i>	25
2.3.8	<i>Δοσιμετρία</i>	25
2.3.9	<i>Ποιοτικός Έλεγχος DEXA</i>	26
2.3.10	<i>Αξιοπιστία επαναληψιμότητα και ακρίβεια (σφάλματα – ανομοιογένειες)</i>	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ		31
3.1	ΣΧΕΔΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	31
3.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	33
3.3	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		35
4.1	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	35
4.2	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ.....	38
4.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39
4.4	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		42

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1. Απεικόνιση σπονδυλικής στήλης.....	21
Εικόνα 2. Απεικόνιση ισχίου	22
Εικόνα 3. Δομή Συστήματος DXA.....	23
Εικόνα 4. Σωστή τοποθέτηση ασθενούς για ολόσωμη εξέταση DXA.....	24
Εικόνα 5. Phantom	27
Εικόνα 6. Phantom-Τιμές.....	31
Εικόνα 7. Δοχείο-σήμανση	32
Εικόνα 8. Narrow Fat position	33
Figure 9. Wide Fat position.....	33

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1. Δείκτης Μάζας Σώματος	7
Πίνακας 2. Ορολογίες	9
Πίνακας 3. Επίπεδα μέτρησης της σύστασης μάζας σώματος	10
Πίνακας 4. Δεδομένα πειράματος χωρίς ανομοιογένεια	36
Πίνακας 5. Δεδομένα πειράματος με ανομοιογένεια	37
Πίνακας 6. Αποτελέσματα Wide Fat position	38
Πίνακας 7. Αποτελέσματα Narrow Fat position	38

Πίνακας αρκτικόλεξων

BMD	Bone Mineral Density
D(E)XA	Dual Energy X-ray Absorptiometry
BMI	Body Mass Index
ΔΜΣ	Δείκτης Μάζας Σώματος
FM	Fat Mass
FFM	Fat Free Mass
LMS	Lean Body Mass
% BF	percent Body Fat
BIA	Bioelectrical Impedance Analysis
NAA	Neutron Activation Analysis
ΣΜΣ	Σύσταση Μάζας Σώματος
ΟΜΣΣ	Οσφυϊκή Μοίρα Σπονδυλικής Στήλης
BMC	Bone Mineral Content
RBE	Relative Biological Effectiveness
MRI	Magnetic Resonance Imaging
CT	Computerized Tomography

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει το θεματικό και ερευνητικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Παραθέτονται το πλαίσιο, οι στόχοι και η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας. Παρουσιάζονται δηλαδή, οι εφαρμογές της εξέτασης διπλής απορροφησιομετρίας (DXA) και εξετάζεται αν αυτές είναι δυνατόν να επηρεάζονται όταν οι συνθήκες της διαδικασίας της εξέτασης αλλάζουν, λόγω της παρουσίας παραγόντων ανομοιογένειας. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στις διαφορετικές συνθήκες της εξέτασης, στην σύσταση της μάζας του ανθρώπινου σώματος και πώς ο προσδιορισμός της προκύπτει μέσω της DXA.

Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, τους περιορισμούς της έρευνας, τους ορισμούς των εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν και τη διάρθρωση των υπολοίπων κεφαλαίων της παρούσας μελέτης.

1.1 Πλαίσιο, σκοπός και στόχοι της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με κύριο στόχο να ερευνηθεί εάν τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την εξέταση σπονδυλικής στήλης (Lumbar Spine), μέσω της απορροφησιομετρίας ακτίνων Χ διπλής ενέργειας, μπορούν να επηρεαστούν από τις διαφορετικές συνθήκες που επιδρούν στο αντικείμενο μέτρησης.

Η εξέταση DXA πραγματοποιείται με δύο κύριους σκοπούς. Ο πρώτος είναι η πυκνομετρική αξιολόγηση των οστών και η πρόγνωση της ασθένειας της οστεοπόρωσης, ενώ ο δεύτερος αφορά τον υπολογισμό της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος. Πρόκειται λοιπόν, για μια ασφαλή μέθοδο κατά την οποία δύο δέσμες ακτινοβολίας, συγκεκριμένης ενέργειας διαπερνούν το σώμα του ασθενή και στην συνέχεια η εξασθένιση τους καταγράφεται από ειδικούς ανιχνευτές.

Ως αντικείμενο μέτρησης έχει χρησιμοποιηθεί πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης (phantom). Το phantom είναι ένα όργανο που ως κύρια χρήση έχει την πιστοποίηση της εύρυθμης και ακριβούς λειτουργίας του μηχανήματος σε καθημερινή βάση. Το κύριο πλεονέκτημα του στην παρούσα μελέτη είναι πως από την εταιρεία κατασκευής του είναι ήδη γνωστές όλες οι τιμές που χρειάζονται για να υπάρξει σύγκριση των αποτελεσμάτων, χωρίς την ανάγκη συνεργασίας, άρα και έκθεση, σε ακτινοβολία ασθενών. Το ειδικό

πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης αποτελείται από υδροξιαπατίτη ασβεστίου που περιβάλλεται από ρητίνη και νερό. Με αυτό τον τρόπο καλύπτεται όλο το φυσιολογικό εύρος των πυκνοτήτων τόσο του σπογγώδους όσο και του φλοιώδους οστού για όλες τις ανθρώπινες ηλικιακές ομάδες. Η κύρια συνθήκη μέτρησης είναι ανάμεσα στο phantom σπονδυλικής στήλης ή το σώμα του ασθενούς και στο μηχάνημα DXA να παρεμβάλλεται ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος αποτελείται κυρίως από άζωτο (N_2) και οξυγόνο (O_2).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το phantom τοποθετείται σε διαφορετικές συνθήκες με χρήση λίπους και γίνεται προσπάθεια κατανόησης των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει. Αρχικά, το πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης εξετάζεται, αφού τοποθετηθεί μέσα σε δοχείο γεμάτο ύδωρ διαφορετικών διαβαθμίσεων. Στην συνέχεια, επιδρά πάνω του το λίπος που τοποθετείται τόσο τοπικά στους φερόμενους σπονδύλους όσο και συνολικά σε όλη την επιφάνεια του phantom.

1.2 Περιορισμοί

Η παρούσα έρευνα υπόκειται στους εξής περιορισμούς:

Αρχικά, η μελέτη αυτή λαμβάνει χώρα σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο του συστήματος απορροφησιμετρίας ακτίνων Χ διπλής ενέργειας. Το Hologic Discovery QDR series αποτελεί ένα αξιόπιστο και τεχνολογικά άρτιο επιστημονικό εργαλείο. Ωστόσο, ενδέχεται να υπάρχει διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα. Η ανωτέρω θέση υποστηρίζεται και από την πρόσφατη έρευνα των Park et al(2021), που ανέδειξε στατιστικώς σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα δύο διαφορετικών μηχανημάτων για ένα δείγμα σαράντα μετρηθέντων ασθενών.

Επίσης, η παρούσα εργασία προκειμένου να συμμορφωθεί με τους κανόνες δεοντολογίας και βιοηθικής δεν πραγματοποιείται σε ανθρώπινο πληθυσμό αλλά σε εργαστηριακές συνθήκες μέσω της χρήσης phantom σπονδυλικής στήλης. Το phantom είναι ένα τεχνητό πρόπλασμα που προσεγγίζει την σύσταση της ανθρώπινης σπονδυλικής στήλης και σε σχέση με την εργαστηριακή μελέτη (in vitro).

Τέλος, ο παράγοντας ανομοιογένειας που εξετάζεται στην παρούσα έρευνα είναι το λίπος χοιρινής προέλευσης. Η επιλογή του συγκεκριμένου παράγοντα οφείλεται στο γεγονός ότι η σύσταση του χοιρινού λίπους είναι παρόμοια με του ανθρώπινου. Ωστόσο, για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία η πειραματική διαδικασία εκτελείται σε συνθήκες εργαστηρίου (in vitro). Συνεπώς, δύναται να υπάρχουν διαφορές σε αυτή την in

vitro μελέτη σε σχέση με την in vivo όσον αφορά τον παράγοντα ανομοιογένειας και την προέλευσή του.

1.3 Ορισμοί

Οστεοπόρωση: Ως οστεοπόρωση ορίζεται η συστηματική σκελετική νόσος κατά την οποία τα οστά χαρακτηρίζονται από χαμηλή οστική μάζα και διαταραχή της μικροαρχιτεκτονικής του οστίτη ιστού τους (Lane, Russell & Khan, 2000). Ως συνέπεια των ανωτέρω είναι αύξηση της ευθραυστότητας των οστών και η ευαισθησία τους σε κατάγματα.

Οστική Πυκνότητα (BMD): Ως οστική πυκνότητα, Bone Mineral Density (BMD) ορίζεται η ποσότητα του ορυκτού των οστών στον οστίτη ιστό. Η μέτρηση της οστικής πυκνότητας στους ανθρώπους χρησιμοποιείται στην κλινική ιατρική ως ένας δείκτης προσδιορισμού της οστεοπόρωσης και του κινδύνου κατάγματος. Η διαδικασία που υπολογίζεται η οστική πυκνότητα ονομάζεται πυκνομετρία. Υπάρχει μια στατιστική συσχέτιση μεταξύ της χαμηλής οστικής πυκνότητας και της υψηλότερης πιθανότητας κατάγματος χαμηλής ενέργειας. Τα κατάγματα χαμηλής ενέργειας, που οφείλονται στην οστεοπόρωση, αποτελούν σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας, ιδιαίτερα στις ηλικιωμένες γυναίκες, που οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας ζωής τους. Η BMD λειτουργεί λοιπόν ως ένας δείκτης πρόγνωσης της οστεοπόρωσης, αλλά χρησιμοποιείται και ως δείκτης της πορείας των αντιοστεοπορωτικών φαρμακευτικών αγωγών με σκοπό τον έλεγχο της νόσου.

Σύστημα DXA: Η μέθοδος την απορροφησιμετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας, που αλλιώς αναφέρεται ως DEXA ή DXA εκ του Dual Energy X-ray Absorptiometry, είναι μια απεικονιστική μέθοδος που θεωρείται ως πρότυπη για τον προσδιορισμό των μεταβολικών παθήσεων των οστών (όπως η οστεοπόρωση, η παχυσαρκία και η σαρκοπενία).

Πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης (Spine phantom): Το πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης ή αλλιώς spine phantom ορίζεται ως ένα τρισδιάστατο αντικείμενο που προσομοιώνει την ανατομία και την μορφολογία της ανθρώπινης σπονδυλικής στήλης. Ο κύριος ρόλος του phantom είναι ο έλεγχος της επαναληψιμότητας και της ακρίβειας των μετρήσεων των ακτινολογικών μηχανημάτων, όπως αυτό της DXA που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το ειδικό πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης αποτελείται από

υδροξιαπατίτη ασβεστίου που περιβάλλεται από ρητίνη και νερό. Με αυτό τον τρόπο, καλύπτεται όλο το φυσιολογικό εύρος των πυκνοτήτων τόσο του σπογγώδους όσο και του φλοιώδους οστού για όλες τις ανθρώπινες ηλικιακές ομάδες.

1.4 Οργάνωση Κεφαλαίων

Η παρούσα έρευνα δομείται ως εξής:

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά τις κύριες θέσεις που απαρτίζουν το βασικό θεωρητικό μέρος της εργασίας. Η προσέγγιση του θέματος ξεκινάει με την απαρχή της προσπάθειας προσδιορισμού της σύστασης της μάζας του ανθρώπινου σώματος. Στην συνέχεια επεξηγούνται όλοι οι όροι που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω και αφορούν την σύσταση μάζας του σώματος σε συνδυασμό με την ανάλυση των διαφορετικών μεθόδων και μοντέλων του προσδιορισμού της. Επίσης κατά το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα της διπλής απορροφησιμετρίας ακτίνων Χ ή αλλιώς το σύστημα DXA. Το σύστημα αυτό αποτελεί το βασικότερο εργαλείο για την υλοποίηση του πειραματικού σκέλους της εργασίας.

Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει την μεθοδολογία και το σχέδιο εργασιών που ακολουθήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η παρούσα μελέτη. Εξηγείται η επιλογή των υλικών του πειράματος αλλά και των παραγόντων ανομοιογένειας που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδρασή τους στο σύστημα DXA.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μελέτες. Η σύγκριση των διαφορετικών BMD ανάλογα με τον παράγοντα ανομοιογένειας που χρησιμοποιείται γίνεται με την βοήθεια πινάκων. Στην συνέχεια, ακολουθεί η συζήτηση γύρω από τα αποτελέσματα αλλά και για τις μελλοντικές προεκτάσεις που θα μπορούσε να έχει η παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική έρευνα

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτονται οι κύριες θέσεις που απαρτίζουν το βασικό θεωρητικό μέρος της εργασίας. Η προσέγγιση του θέματος ξεκινάει με την απαρχή της προσπάθειας προσδιορισμού της σύστασης της μάζας του ανθρώπινου σώματος. Στην συνέχεια επεξηγούνται όλοι οι όροι που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω και αφορούν την σύσταση μάζας του σώματος σε συνδυασμό με την ανάλυση των διαφορετικών μεθόδων και μοντέλων του προσδιορισμού της. Τα ανωτέρω υποστηρίζονται από τις σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές.

Έπειτα γίνεται εκτενής αναφορά στην μέθοδο της απορροφησιμετρίας ακτίνων Χ διπλής ενέργειας με έμφαση να δίνεται τόσο στον ρόλο και στις αρχές λειτουργίας της, αλλά και σε ζητήματα που αφορούν την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα της μεθόδου.

Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτονται οι σχετικές προσπάθειες και έρευνες με αυτή της παρούσας εργασίας που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν και αφορούν τις ανομοιογένειες και την επίδραση τους στα αποτελέσματα της μέτρησης.

Ο κύριος στόχος του κεφαλαίου 2 είναι η προσπάθεια να προσδώσει στον αναγνώστη μια ολιστική εικόνα σχετικά με την αρχική προσπάθεια προσδιορισμού της σύστασης μάζας σώματος και της οστικής πυκνότητας έως και την δημιουργία του συστήματος DXA αλλά και των αρχών λειτουργίας του.

2.1 Σύσταση Μάζας Σώματος

2.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ερευνητική προσπάθεια του προσδιορισμού της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος ξεκινάει μόλις από τον 19ο αιώνα από πρωτοπόρες επιστημονικές ομάδες, όπως τους J. Moleschott (1859), L. Quetelet (1871) και L.Pfeiffer (1887). Στην σύγχρονη επιστημονική ιστορία, οι έρευνες αυτές σταδιακά εντείνονται, με κορύφωση στις δεκαετίες 1920 και 1930, καθώς πλέον οι επιστήμονες άρχισαν να έχουν στην διάθεσή τους τα εργαλεία για περισσότερο ακριβείς μετρήσεις.

Στις ημέρες μας πλέον, ο ακριβής προσδιορισμός της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος αποτελεί έναν αδιάσειστο προγνωστικό δείκτη στον τομέα της

ιατρικής αλλά και της διατροφολογίας. Είναι γεγονός πως προκύπτουν συνεχώς νέες μελέτες που συσχετίζουν τα δεδομένα της σύστασης μάζας του σώματος με ασθένειες και κύκλους φαρμακευτικών αγωγών που αφορούν ακόμα παιδιατρικούς ασθενείς και αποτελούν την βάση για θεραπευτικές μεθόδους.

Το κύτταρο αποτελεί την βάση της δομικής και λειτουργικής μονάδας ενός οργανισμού. Στην συνέχεια όμοια κύτταρα συνδέονται και δημιουργούν έναν ιστό, οι διαφορετικοί ιστοί συνδυάζονται και έτσι σχηματίζεται ένα όργανο. Τα όργανα συνεργάζονται μεταξύ και δημιουργούν τα διάφορα συστήματα οργάνων, που στην συνέχεια δομούν τον οργανισμό. Οι διάφοροι ιστοί ως ρόλο έχουν να εκτελούν, ανάλογα με το είδος τους, συγκεκριμένες λειτουργίες. Εντούτοις, τυχόν αλλαγές στην σύσταση ακόμα και ενός ιστού θα μπορούσαν να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις και στην λειτουργία των συνεργαζόμενων ιστών με αυτόν. Η ανάλυση της σύστασης του σώματος μπορεί να γίνει σε πολλά επίπεδα, στα οποία θα γίνει αναφορά στην συνέχεια αυτής της εργασίας.

Παρόλα αυτά, το ερευνητικό και κλινικό ενδιαφέρον στοχεύει κυρίως στον ποσοτικό και στον ποιοτικό προσδιορισμό του μυϊκού ιστού, του λιπώδους και του οστίτη ιστού. Η σημασία του προσδιορισμού και της μελέτης των τριών αυτών ιστών έγκειται στο ότι η ποσότητα και η αναλογία των ιστών αυτών στο ανθρώπινο σώμα σχετίζονται με τη διατήρηση καλής υγείας και τη ποιότητα ζωής, ενώ οι ποιοτικές και ποσοτικές διαταραχές τη σύστασης τους σχετίζονται με την εμφάνιση και την κλινική πορεία κάποιων νόσων.

Η διατήρηση της μάζας και του ποσοστού λίπους σε φυσιολογικά πλαίσια είναι βασική προϋπόθεση για μια υγιέστερη και μακροβιότερη ζωή. Έχει παρατηρηθεί πως σε άτομα με βάρος άνω ή κάτω του φυσιολογικού αυξάνεται ο κίνδυνος εμφάνισης μεταβολικών, πνευμονικών, καρδιαγγειακών αλλά και νεοπλασματικών ασθενειών που μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα και το προσδόκιμο ζωής τους (Piché, Tchernof & Després, 2020).

2.1.2 Δείκτης BMI

Ένας από τους πρώτους όρους που συναντώνται στην επιστημονική βιβλιογραφία και σχετίζονται με τον προσδιορισμό της σύστασης της μάζας του ανθρώπινου σώματος είναι ο Δείκτης Μάζας Σώματος. Σύμφωνα με τους Weir & Jan (2022), ο δείκτης αυτός που στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως BMI (Body Mass Index), παρέχει ποσοτικές πληροφορίες για το αν κάποιο άτομο διατηρεί φυσιολογικό βάρος, είναι λιποβαρές ή παχύσαρκο.

Ο δείκτης αυτός προκύπτει ως κλάσμα το οποίο υπολογίζεται διαιρώντας το βάρος (σε κιλά) με το τετράγωνο το ύψους (σε μέτρα). Σύμφωνα με τον δείκτη BMI για ενήλικες άνω των 20 ετών έχουν θεσπιστεί τα παρακάτω όρια (πιν. 1) για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης του βάρους τους.

Πίνακας 1. Δείκτης Μάζας Σώματος

BMI	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΑΡΟΥΣ
Κάτω από 18.5	Λιποβαρής/Υποθρεψία
18.5 – 24.9	Φυσιολογικό
25.0 – 29.9	Υπέρβαρο
30.0 και πάνω	Παχυσαρκία

Ενώ ο BMI είναι ένας χρήσιμος τρόπος για την αξιολόγηση των ενηλίκων σχετικά με προβλήματα βάρους έχει κάποιους περιορισμούς. Όπως αναφέρει ο Rohtman (2008) ενδέχεται ο δείκτης BMI να υπερεκτιμά τα ποσοστά σωματικού λίπους σε αθλητές ή άτομα με αυξημένη μυϊκή μάζα. Τα μυώδη άτομα κατ' αυτόν τον τρόπο σύμφωνα με τον BMI μπορεί να χαρακτηριστούν υπέρβαρα ή παχύσαρκα, χωρίς αυτό να ισχύει.

Ανάλογα, υποεκτιμά το σωματικό λίπος σε άτομα που έχουν απώλεια μυϊκής μάζας. Παραδείγματος χάριν, αν ένας άνδρας καταφέρει να διατηρήσει ένα σταθερό BMI καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, αυτό δε σημαίνει ότι και το λίπος του θα παραμείνει σταθερό. Το τελευταίο όπως επισημαίνουν και οι Oliveros et al. (2014) είναι αρκετά πιθανό να αυξάνει σταδιακά με την ηλικία. Η πιο χαρακτηριστική περίπτωση, όμως, είναι οι ασθενείς εκείνοι που, ενώ έχουν BMI μέσα στα φυσιολογικά όρια, παρουσιάζουν ένα υψηλό ποσοστό λίπους. Αυτοί διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο μη έγκαιρης διάγνωσης καρδιαγγειακών ή άλλων παθήσεων.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν επειδή κατά τη χρήση του δείκτη BMI δε λαμβάνεται καθόλου υπ' όψιν η σχέση μεταξύ μυϊκής μάζας και λίπους. Συνεπώς, όταν χρησιμοποιείται μόνο αυτός ο δείκτης και όχι κάποια άλλη έγκυρη μέθοδος, είναι δυνατόν κάποιος να οδηγηθεί σε εσφαλμένη ταξινόμηση του ασθενή, μεταξύ των διαφορετικών ομάδων παθογένειας (λιποβαρής, υπέρβαρος και παχύσαρκος). Προκύπτει έτσι, πως η παχυσαρκία, μπορεί να οριστεί καλύτερα ως «μια υπερβολική ποσότητα λίπους σχετικά με τη μάζα του σώματος» (Heywar & Wagner, 2004).

Επομένως, γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα που υπήρξε μετά την εισαγωγή του BMI ως ένα χρήσιμο εργαλείο, να βελτιωθούν οι υπάρχουσες μέθοδοι, και να αναπτυχθούν

νέες, έγκυρες μέθοδοι που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν γρήγορα, με ασφάλεια και ανώδυνα για τον ακριβή υπολογισμό του λίπους, ώστε να γίνεται έγκαιρη διάγνωση στους ασθενείς που βρίσκονται πραγματικά σε κίνδυνο.

2.1.3 Εισαγωγή νέων εννοιών

Μια έννοια που έχει θεμελιώδη σημασία για την μέτρηση της σύστασης μάζας του σώματος είναι η απόλυτη ποσότητα λίπους του σώματος. Αλλιώς, καλείται και μάζα λίπους ή λιπώδης μάζα ή FM (από τον όρο Fat Mass) και όπως εξηγείται από τον ερευνητή Choi (2016), περιλαμβάνει όλα τα λιπίδια, τόσο του λιπώδους ιστού, όσο και των άλλων ιστών, συμπεριλαμβανομένων των λιπιδίων που είναι μέρος των μεμβρανών των κυττάρων. Αντίθετα, η άνευ λίπους μάζα του σώματος ή άλιπη μάζα, FFM (από τον όρο Fat Free Mass), αποτελείται από όλους τους υπόλοιπους ιστούς και χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των μυών, των οστών, του νερού, των συνδετικών ιστών και των εσωτερικών οργάνων του σώματος, εξαιρουμένου του λίπους που περιέχουν.

Ένας άλλος, συγγενικός με το FFM όρος, είναι η άπαχη μάζα σώματος, LBM (από τον όρο Lean Body Mass). Αν και υπάρχει μια αισθητή διαφορά μεταξύ τους, συχνά, οι όροι αυτοί συγχέονται και χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Αντίθετα από το FFM που δεν περιέχει κανένα λιπίδιο, το LBM περιλαμβάνει ένα μικρό ποσό απαραίτητων για τον οργανισμό λιπιδίων, όπως παραδείγματος χάριν τα λιπίδια στις μεμβράνες των κυττάρων και τα λοιπά δομικά λιπίδια. Επομένως, ισχύει η σχέση $LBM > FFM$.

Σύμφωνα με τη νέα θεώρηση, για να ταξινομηθούν τα διάφορα όρια παχυσαρκίας χρησιμοποιείται ο επιστημονικός όρος επί τοις εκατό ποσοστό λίπους του σώματος, ο οποίος συμβολίζεται ως % BF και προέρχεται από τον αγγλικό όρο percent Body Fat. Το %BF είναι η μάζα του λίπους που εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής μάζας του σώματος» [%BF = (μάζα λίπους / μάζα σώματος) x 100],

Στον πίνακα 2 παρατίθενται όλες οι σημαντικές έννοιες και όροι που αφορούν την σύσταση μάζας σώματος και τις συντομογραφίες τους.

Πίνακας 2. Ορολογίες

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΟΡΟΥ	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΟΡΟΥ
Μάζα Σώματος Body Mass	BM
Λιπώδης Μάζα Fat Mass	FM
Άλιπη Μάζα Fat Free Mass	FFM
Άπαχη Μάζα Lean Body Mass	LBM
Επί τοις εκατό ποσοστό λίπους Body Fat percentage	%BF
Συνολικό Νερό Σώματος Total Body Water	TBW
Συνολικό Ενδοκυττάριο Υγρό Intracellular Fluid	ICW
Συνολικό Εξωκυττάριο Υγρό Extracellular Fluid	ECW
Άλατα Σώματος Total Body Minerals	TBM
Οστικά Άλατα Σώματος Total Bone Body Minerals	TBBM

2.2 Επίπεδα Μελέτης Σύστασης Μάζας Σώματος

Η μελέτη της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος έχει βασιστεί σε ορισμένα συστήματα κατηγοριοποίησης του ανθρώπινου σώματος, που αλλιώς αναφέρονται ως μοντέλα της σύστασης μάζας σώματος. Η χρήση των μοντέλων αυτών επιτρέπει τον επί πλέον διαχωρισμό του σώματος σε πέντε διακριτά επίπεδα ανάλυσης που επιτυγχάνουν την οργάνωση διαφορετικών μεθόδων και τον συνδυασμό πάνω από 30 συστατικών του σώματος.

Όπως οι Wang , Pierson, & Heymsfield (1992) αναλύουν , τα επίπεδα αυτά είναι το ατομικό, το μοριακό, το κυτταρικό, το επίπεδο των ιστών και το επίπεδο που μελετά τα μέρη του ανθρώπινου σώματος (επίπεδο σώματος).

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα επίπεδα μέτρησης της σύστασης μάζας του σώματος και τα στοιχεία τους.

Πίνακας 3. Επίπεδα μέτρησης της σύστασης μάζας σώματος

ΑΤΟΜΙΚΟ	ΜΟΡΙΑΚΟ	ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ	ΙΣΤΟΙ
Na, Ca, P, K, Cl	ΛΙΠΙΔΙΑ	ΛΙΠΟΚΥΤΤΑΡΑ	ΛΙΠΩΔΗΣ ΙΣΤΟΣ
H	ΝΕΡΟ	ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΟ ΥΓΡΟ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ
C	ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ	ΕΣΩΚΥΤΤΑΡΙΟ ΥΓΡΟ	ΕΠΙΘΗΛΙΑΚΟΣ ΙΣΤΟΣ
O	ΓΛΥΚΟΓΟΝΟ		ΜΥΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ
	ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΝΕΥΡΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

Το κάθε επίπεδο είναι αυτόνομο και διαφορετικό από τα άλλα. Εντούτοις, τα επίπεδα συσχετίζονται μεταξύ τους ,επιτρέποντας στους ερευνητές να προσδιορίσουν τα διάφορα συστατικά από τα οποία αποτελείται το σώμα τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.

Τα μοντέλα αυτά, όπως οι Heymsfield et al. (1997) παραθέτουν, διακρίνονται σε δύο, τριών και τεσσάρων τμημάτων και μπορεί να παρουσιάζουν παραλλαγές ως προς τα τμήματα αυτά. Αρχικά το πρώτο μοντέλο που αφορά το μοριακό επίπεδο μελέτης, είναι

αυτό που συσχετίζει την FM με την FFM (δύο τμημάτων). Επίσης το μοριακό επίπεδο βασίζεται σε τουλάχιστον δύο διαφορετικά μοντέλα τριών τμημάτων και ένα τεσσάρων τμημάτων.

Το πρώτο, το οποίο συναντάται στην πρότυπη μέθοδο της σύστασης μάζας σώματος με τη μέθοδο DXA που θα αναλυθεί παρακάτω, αφορά την μελέτη της FM, του άπαχου μαλακού ιστού και των οστικών αλάτων του σώματος. Το δεύτερο συσχετίζει το FM, το TBW με την συνολική μάζα των πρωτεϊνών και τα συνολικά άλατα του σώματος ως ολότητα. Το μοντέλο τεσσάρων τμημάτων αφορά την μελέτη της FM, του TBW, το σύνολο των οστικών αλάτων και την συνολική μάζα των πρωτεϊνών ως ξεχωριστές μονάδες. Το κυτταρικό επίπεδο μελέτης επικουρείται για την δημιουργία του από το μοντέλο των τριών τμημάτων που αφορά την μελέτη της κυτταρικής μάζας, του εξωκυττάριου υγρού και των εξωκυττάριων στερεών. Το τελευταίο μοντέλο είναι αυτό που εξυπηρετεί την δημιουργία του επιπέδου που μελετά όλο το σώμα και χωρίζεται στα διαμερίσματα της κεφαλής, των άνω άκρων, του κορμού και των κάτω άκρων.

2.2.1 Ατομικό Επίπεδο

Τα χημικά στοιχεία είναι οι δομικές θεμέλιες βάσεις όλων των έμβιων και άβιων οργανισμών. Τα στοιχεία είτε τεχνητά είτε φυσικά είναι στον αριθμό περίπου 160, εκ των οποίων τα 50 έχουν βρεθεί στο ανθρώπινο σώμα. Τέσσερα στοιχεία το οξυγόνο (O) ,το νάτριο (N) το χλώριο (Cl) και ο άνθρακας αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 95% της μάζας του ανθρώπινου σώματος και αν συνυπολογιστούν το κάλιο (K), το νάτριο (Na), ο φώσφορος (P), το χλώριο (Cl), το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και ο σίδηρος (S), απαρτίζουν ένα ποσοστό της τάξης του 99,5%. Η εξίσωση που καλύτερα περιγράφει το ατομικό επίπεδο μελέτης της σύστασης μάζας σώματος είναι: $BM=O + C + H + N + Ca + P + S + K + Na + Cl + Mg + \text{λοιπά στοιχεία}$.

Μια εκ των ιδιοτήτων των στοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως αναφέρεται και στο βιβλίο των Heymshfield, Lichtman, Baumgardner (1990), είναι πως διατηρούν σχετικά σταθερούς μαθηματικούς συσχετισμούς με άλλα στοιχεία, γεγονός που επιτρέπει στους επιστήμονες τον in vivo υπολογισμό τους. Μια ακόμα ιδιότητα τους είναι και η ποσοτική αλληλεξάρτησή τους με τα υπόλοιπα επίπεδα μελέτης. Έτσι, μέσω της χρήσης κατάλληλων μοντέλων, η εύρεση της ποσότητας των διάφορων στοιχείων του σώματος μπορεί να είναι χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό άλλων παραγόντων. Παραδείγματος χάριν η οστική μάζα υπολογίζεται με την βοήθεια του προσδιορισμού της ποσότητας του ασβεστίου.

Μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις που συνέβαλε στη μέτρηση των ατομικών στοιχείων του σώματος επετεύχθη τυχαία όταν κατά τη δεκαετία του 1945 με 1946 υπήρξε έκθεση ανθρώπων σε ραδιενέργεια μετά από ατυχήματα σε πυρηνικό αντιδραστήρα. Η έκθεση τους στην γ ακτινοβολία προκάλεσε την δημιουργία Na-24 στο σώμα τους που χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο έκθεσης μέτρησης της ακτινοβολίας. Στην συνέχεια, ο ερευνητής Anderson και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν ελεγχόμενη ακτινοβολία νετρονίων για τον προσδιορισμό νατρίου και χλωρίου *in vivo*.

Σήμερα ο υπολογισμός των στοιχείων γίνεται κυρίως *in vivo* με μεθόδους όπως η TBK (total body potassium), πρότυπη για τον υπολογισμό του K. Επίσης η Μέθοδος Ενεργοποίησης Νετρονίων (NAA), επιτρέπει την ανάλυση της σύστασης μάζας σώματος *in vivo* σε ατομικό επίπεδο, καθώς μπορούν να ανιχνευθούν πολλά συστατικά του σώματος όπως Ca, P, N και το Cl. Κατά την μέθοδο αυτή το σώμα δέχεται νετρόνια και μετά από λίγο χρονικό διάστημα εκπέμπεται και ανιχνεύεται ακτινοβολία γ που είναι ανάλογη της απόλυτης μάζας του συνολικού στοιχείου που μετράται (Witkowska, Szczepaniak & Biziuk, 2005). Είναι μία μέθοδος μη επεμβατική αξιόπιστη και επανάληψη ως προς τα αποτελέσματα της, αλλά είναι μία ακριβή μέθοδος που απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό. Ένα μειονέκτημα της επίσης είναι η έκθεση σε ακτινοβολία που πρέπει να δεχτεί ο ασθενής.

2.2.2 Μοριακό Επίπεδο

Οι διαφορετικές χημικές ενώσεις που βρίσκονται στο ανθρώπινο σώμα και συνθέτουν το μοριακό επίπεδο μελέτης της σύστασης μάζας του σώματος μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κύριες ομάδες. Οι ομάδες αυτές είναι τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες, το γλυκογόνο και τα μεταλλικά στοιχεία – άλατα και το ύδωρ (Ζαφειρόπουλος 2015). Τα στοιχεία του μοριακού επιπέδου μελέτης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος έρευνας για τομείς που σχετίζονται με την διατροφή, τον μεταβολισμό και την ισορροπία υγρών στο σώμα.

2.2.2.1 Λιπίδια

Τα λιπίδια ορίζονται ως οι διάφορες χημικές ενώσεις που έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα να μένουν αδιάλυτες στο νερό. Τα λιπίδια βρίσκονται στο σώμα σε διαφορετικές μορφές, ως απλά λιπίδια, λιπαρά οξέα, στεροειδή, τερπένια και σύνθετα λιπίδια.

Προκύπτει από την μελέτη των λιπιδίων, ο διαχωρισμός τους σε δύο κατηγορίες, τα δομικά και τα αποταμιευτικά. Τα δομικά ως πρωτεύοντα ρόλο έχουν να λαμβάνουν μέρος σε σημαντικές λειτουργίες των οργάνων και των ιστών στο ανθρώπινο σώμα. Η δεύτερη

κατηγορία, τα αποταμιευτικά λιπίδια αποτελούν το 90% του ολικού σωματικού λίπους και έχουν ως κύριο ρόλο την παροχή ενεργειακού αποθέματος για τον οργανισμό. Δημιουργούν δηλαδή τις απαραίτητες αποθήκες ενέργειας που ενδεικτικά στο ανθρώπινο σώμα είναι οι μαστοί, οι γλουτοί, η πλάτη και η κοιλιά συνεισφέροντας έτσι στην ενεργειακή μόνωση του σώματος και των οργάνων (Gyamfi, Awuah, & Owusu, 2019).

2.2.2.2 Υδατάνθρακες

Ο κυριότερος υδατάνθρακας του σώματος είναι το γλυκογόνο. Το γλυκογόνο ορίζεται ως ο πολυσακχαρίτης αυτός που σχηματίζεται από αλυσίδες μορίων γλυκόζης που έχουν ενωθεί με γλυκοζιτιδικούς δεσμούς. Το γλυκογόνο στον ανθρώπινο οργανισμό συναντάται κυρίως στους μύες και το ήπαρ και όταν διασπάται αποδίδει μόρια γλυκόζης.

Στο ανθρώπινο σώμα το γλυκογόνο αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας του νευρικού συστήματος, του εγκεφάλου και των ερυθρών αιμοσφαιρίων σε καταστάσεις έντονης αθλητικής δραστηριότητας ή νηστείας.

2.2.2.3 Άλατα

Ένα ακόμα στοιχείο του μοριακού επιπέδου είναι οι ανόργανες ενώσεις που φέρουν μεταλλικά και μη μεταλλικά ιόντα ή αλλιώς τα άλατα .

Τα άλατα διακρίνονται σε οστικά και μη οστικά. Ως οστικά ορίζονται τα άλατα τα οποία βρίσκονται σε μορφή κρυστάλλου και αποτελούνται κυρίως από υδροξυαπατίτη, του οποίου ο χημικός τύπος είναι $[Ca_5(PO_4)_3OH]$. Τα οστικά άλατα είναι αυτά που περιέχουν σχεδόν όλες τις αποθήκες ασβεστίου και φωσφόρου. Τα μη οστικά άλατα τουναντίον, βρίσκονται σε μία ιοντική μορφή και χαρακτηριστικά είναι το Na (νάτριο), το K (κάλιο) και το Cl (χλώριο) (Ζαφειρόπουλος 2015).

2.2.2.4 Πρωτεΐνες

Στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν πολλές διαφορετικές ομάδες πρωτεϊνών οι οποίες δύναται να ευρίσκονται στον οργανισμό ως απλά αμινοξέα έως και σύνθετες πρωτεΐνες. Ωστόσο, οι μη επεμβατικές μέθοδοι ανάλυσης της σύστασης μάζας του σώματος περιορίζονται κυρίως στον υπολογισμό των ολικών πρωτεϊνών και των μυϊκών πρωτεϊνών (Wang, et al., 2005).

2.2.2.5 Ύδωρ

Το νερό είναι η χημική ένωση (H_2O) με την μεγαλύτερη συγκέντρωση στο ανθρώπινο σώμα. Σύμφωνα με την μελέτη των Wang, Pierson & Heymsfield (1992). Το

ολικό ύδωρ, διαχωρίζεται σε ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο και καταλαμβάνει περίπου τα 2/3 της μάζας του σώματος. Παραδείγματος χάριν, σε έναν άνδρα με φυσιολογικό σωματικό βάρος το ολικό ύδωρ καταλαμβάνει περίπου το 60% του σώματος του. Το εξωκυττάριο ύδωρ θα είναι περίπου το 20% αυτού και, διαχωρίζεται σε διάμεσο μεσοκυττάριο και στο πλάσμα. Το υπόλοιπο 40% θα αποτελείται από το ενδοκυττάριο νερό.

Ο ρόλος του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό είναι πολλαπλός και εξαιρετικά σημαντικός. Αρχικά, δρα ως διαλύτης διαφόρων ουσιών απαραίτητων για την λειτουργία των κυττάρων. Επίσης, συμβάλλει μεταφέροντας θρεπτικές ουσίες, το O₂ και ηλεκτρολύτες στα κύτταρα και βοηθάει στην αποβολή προϊόντων του μεταβολισμού από τα απεκκριτικά όργανα.

Συνοψίζοντας, το μοριακό επίπεδο μελέτης της σύστασης μάζας του σώματος περιγράφεται σύμφωνα με την βιβλιογραφία με την σχέση: $BM = \text{Λιπίδια} + \text{Πρωτεΐνες} + \text{Άλατα} + \text{Γλυκογόνο} + \text{Ύδωρ} + \text{Υπόλοιπα Στοιχεία}$.

Τα λιπίδια στην εξίσωση παραπάνω σχέση αναφέρονται στον όρο FM, οπότε προκύπτει πως $FM = \text{Αδιάλυτα λιπίδια} + \text{διαλυτά λιπίδια}$. Έτσι το LBM, η άπαχη δηλαδή μάζα του σώματος, δεν περιέχει λιπίδια έκτος από τα διαλυτά λιπίδια και όσα βρίσκονται στις μεμβράνες των κυττάρων και περιγράφεται από την σχέση $LMB = \text{διαλυτά λιπίδια} + \text{πρωτεΐνες} + \text{υδατάνθρακες} + \text{άλατα} + \text{ύδωρ}$. Τουναντίον η FFM, δηλαδή η άλιπη μάζα του σώματος που δεν περιέχει κανένα λιπίδιο, περιγράφεται ως εξής: $FFM = \text{πρωτεΐνες} + \text{ύδωρ} + \text{άλατα} + \text{υδατάνθρακες} + \text{Υπόλοιπα Στοιχεία}$.

2.2.2.6 Μέθοδοι Υπολογισμού Μοριακού Επιπέδου

Κατά την μελέτη του μοριακού επιπέδου, πληθώρα μοντέλων εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό των στοιχείων του. Ένα από τα σημαντικότερα μοντέλα μέτρησης της σύστασης μάζας του σώματος είναι το μοντέλο δύο τμημάτων, εκείνο δηλαδή που συσχετίζει την FM με την FFM. Το μοντέλο αυτό, βρίσκει πρακτική εφαρμογή μέσω της πυκνομετρίας, του υπολογισμού δηλαδή του %BF μέσω του προσδιορισμού της σύστασης της μάζας του σώματος.

Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση της πυκνομετρίας είναι ο ποσοτικός υπολογισμός του όγκου του σώματος, όταν αυτό βρίσκεται σε βύθιση στο νερό. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην διαφορετική πυκνότητα που έχουν οι FM και FFM, προκύπτοντας έτσι μια εξίσωση που εκφράζει σε ποσοστό επί τοις εκατό το σωματικό λίπος (Ζαφειρόπουλος 2015). Η μέθοδος αυτή λόγω της πολύπλοκης πρακτικής της είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε παιδιά και βρέφη. Ωστόσο πρόσφατες μελέτες, αναδεικνύουν μια μέθοδο ονόματι

bodpod, που αντί για βύθιση του ασθενούς σε νερό, χρησιμοποιεί αέρα έχοντας έτσι καλύτερη εφαρμογή σε παιδιατρικούς ασθενείς (Bentzur, Kravitz, & Lockner, 2008).

2.2.2.7 Μέθοδος Βιοηλεκτρικής Αντίστασης ή Εμπέδησης (BIA)

Μια ακόμη μέθοδος μέτρησης της σύστασης μάζας του σώματος είναι αυτή της Βιοηλεκτρικής Αντίστασης ή εμπέδησης. Στα αγγλικά αναφέρεται με τον όρο Bioelectrical Impedance Analysis, εξού και η συντομογραφία BIA. Η BIA αναπτύχθηκε περίπου το 1962 όταν ο ερευνητής Thomasset, υλοποίησε μελέτες βιοηλεκτρικής εμπέδησης που έδιναν πληροφορίες για το ολικό ύδωρ του TBW του σώματος των ασθενών.

Η μέθοδος αυτή όπως εξηγείται και από τους Kyle et al. (2004) βασίζεται στην ιδιότητα του λιπώδους ιστού να παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, σε αντίθεση με το εξωκυττάριο υγρό ICW που παρουσιάζει μικρή αντίσταση. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται καθώς το δεύτερο περιέχει ιόντα Na, K, C, κα, τα όποια είναι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Το αποτέλεσμα αυτών των ιδιοτήτων είναι να υπάρχει μια ανάλογη σχέση της ωμικής αντίστασης του ανθρώπινου σώματος με την ποσότητα σωματικού λίπους και αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το ποσοστό ενυδάτωσης των ιστών και εν συνεχεία με τον μυϊκό ιστό.

Η BIA είναι μια μη επεμβατική μέθοδος προσδιορισμού της σύστασης μάζας σώματος. Η διαδικασία επιτυγχάνεται καθώς ένα χαμηλής έντασης ρεύμα διαπερνά το ανθρώπινο σώμα μέσω τεσσάρων ηλεκτροδίων. Το ηλεκτρικό σήμα είναι αναμενόμενο να διέρχεται γρηγορότερα στον ενυδατωμένο μυϊκό ιστό, ενώ θα διαπερνά δυσκολότερα τον λιπώδη. Έτσι μέσω κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων προκύπτει η επεξεργασία δεδομένων και η ανάλυση της ΣΜΣ.

Η μέθοδος BIA χαρακτηρίζεται από καλή επαναληψιμότητα, καθώς έχει βρεθεί πως στο ίδιο άτομο για συνεχόμενες μετρήσεις την ίδια ημέρα η απόκλιση των αποτελεσμάτων είναι της τάξης του 1,2% και 2,4% για μετρήσεις σε διαφορετικές ημέρες. Ωστόσο η ακρίβεια της μεθόδου έχει τεθεί αρκετές φορές υπό αμφισβήτηση διότι, τα συστήματα εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων αποτελούν πηγή σφαλμάτων. Αλλά και η τοποθέτηση του ασθενή, η προετοιμασία του και οι συνθήκες εξέτασης (όπως π.χ θερμοκρασία), είναι εύκολο να μεταβληθούν και να επηρεάσουν την μέτρηση (Seirgi et al., 2016).

2.2.3 Κυτταρικό Επίπεδο

Τα κύρια στοιχεία του κυτταρικού επιπέδου, όπως οι Wang, Pierson & Heymsfield (1992), αναλύουν, είναι το εξωκυττάριο υγρό, το εξωκυττάριο στερεό και τα κύτταρα. Τα κύτταρα διακρίνονται σε επιθηλιακά, συνδετικά, μυϊκά, νευρικά και τα όμοια κύτταρα που συνεργάζονται για να εκτελέσουν μια λειτουργία, συνθέτουν έναν ιστό.

Μια ιδιαίτερη και εξαιρετικά σημαντική κατηγορία για την μελέτη της σύστασης μάζας σώματος είναι τα κύτταρα του λιπώδους ιστού ή αλλιώς τα λιποκύτταρα. Ο υπολογισμός της κυτταρικής μάζας δύναται να παρέχει πληροφορίες για την ημερήσια δαπάνη ενέργειας του οργανισμού σε ηρεμία, διότι κατά τον κυτταρικό επίπεδο μελέτης λαμβάνουν χώρα όλες οι μεταβολικές διεργασίες στον ανθρώπινο οργανισμό.

Τα εξωκυττάρια υγρά, κυρίως αποτελούνται από ύδωρ. Κατανέμονται στο αίμα μέσω του πλάσματος και στον περιβάλλοντα χώρο των κυττάρων. Τα εξωκυττάρια υγρά αποτελούν το μέσο της μεταφοράς θρεπτικών συστατικών προς τα κύτταρα και την αποβολή μεταβολικών προϊόντων από αυτά.

Τα εξωκυττάρια στερεά διαχωρίζονται σε οργανικά και ανόργανα. Τα ανόργανα αποτελούνται από τα οστικά άλατα και από τα ιόντα που βρίσκονται στα εξωκυττάρια υγρά, ενώ τα οργανικά συντίθενται κυρίως από κολλαγόνο, ελαστίνη και αμινοξέα. Έτσι προκύπτει πως η βασική εξίσωση που περιγράφει το κυτταρικό επίπεδο κατά την μελέτη της σύστασης μάζας του σώματος είναι η εξής: $BM = \text{εξωκυττάρια υγρά} + \text{εξωκυττάρια στερεά} + \text{κυτταρική μάζα}$.

Από τα στοιχεία της παραπάνω εξίσωσης τα εξωκυττάρια υγρά μπορούν να υπολογιστούν μέσω της μεθόδου της υδρομετρίας, ενώ η μέτρηση των εξωκυττάρων στερεών προκύπτει κυρίως μέσω του υπολογισμού του ολικού Ca και η ποσοτική εκτίμηση της κυτταρικής μάζας κυρίως μέσω του υπολογισμού του ολικού K.

2.2.4 Επίπεδο Ιστών

Το επόμενο επίπεδο της μέτρησης μάζας του σώματος είναι αυτό των ιστών. Ως ιστός ορίζεται το σύνολο των κυττάρων που συνεργάζονται και εκτελούν την ίδια λειτουργία. Οι ιστοί διακρίνονται σε επιθηλιακό, συνδετικό, μυϊκό και νευρικό. Ανάμεσα στους ιστούς υπάρχουν ορισμένοι που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην σύσταση μάζας του σώματος. Ένας εξ αυτών είναι ο λιπώδης ιστός, μια υποκατηγορία δηλαδή του συνδετικού ίσου, που αποτελείται από λιποκύτταρα, κολλαγόνο, τριχοειδή αγγεία και ινοβλάστες.

Η κύρια λειτουργία του λιπώδους ιστού είναι η αποθήκευση ενέργειας υπό την μορφή λίπους. Παράλληλα ο λιπώδης ιστός μπορεί να δρα δευτερογενώς παρέχοντας θερμομόνωση στο σώμα και μηχανική προστασία στα διάφορα όργανα αυτού. Μάλιστα προσφάτως επετεύχθη από ερευνητές η συσχέτιση του λιπώδους ιστού με ενδοκρινικές, παρακρινικές και αυτοκρινικές διαδικασίες καθώς είναι ο κύριος παράγοντας παραγωγής ορμονών όπως η ρεζιστίνη και η λεπτίνη. Η τοπολογική ταξινόμηση του λιπώδους ιστού στο σώμα σχετίζεται άρρηκτα με την επιστήμη της ιατρικής και τους παράγοντες υγείας.

Ο λιπώδης ιστός συναντάται στο σώμα ως υποδόριος, σπλαχνικός, διάμεσος, κίτρινος μυελός και ανάλογα με την θέση του στο σώμα έχει και έναν διαφοροποιημένο μεταβολικό ρόλο. Ένα ακόμη είδος ιστού με εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην μελέτη της σύστασης μάζας του σώματος είναι ο οστίτης ιστός. Ο ιστός αυτός βρίσκεται κατά αποκλειστικότητα στα οστά και αποτελείται από εξαιρετικά σκληρή μεσοκυττάρια ουσία. Η ουσία αυτή περιέχει, στις κοιλότητες της, ινίδια κολλαγόνου και άλατα, αλλά και τα κύτταρα του οστίτη ιστού (οστεοκύτταρα).

Καθίστανται λοιπόν εξαιρετικά σημαντικές οι μέθοδοι απεικόνισης που μπορούν να αναδείξουν τους ανωτέρω παράγοντες. Μέθοδοι όπως η υπολογιστική τομογραφία CT, η μέθοδος την απορροφησιομετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας DEXA, η μαγνητική τομογραφία MRI και η υπερηχογραφία US για την απεικόνιση των οργάνων.

2.2.5 Επίπεδο Σώματος

Το τελευταίο επίπεδο της μελέτης της σύστασης μάζας του σώματος είναι εκείνο που επικεντρώνεται στο σώμα ως ολότητα. Αφορά όλες εκείνες τις διαδικασίες που καταγράφουν τα βιομετρικά χαρακτηριστικά όπως το ύψος και το βάρος και τους συνδυασμούς τους (BMI). Επίσης αφορά την μέτρηση του μήκους και του εύρους διαφόρων τμημάτων του σώματος και τον προσδιορισμό της κατανομής του λίπους.

2.3 Μέθοδος DEXA

2.3.1 Ιστορικά Στοιχεία

Η μέθοδος την απορροφησιομετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας, που αλλιώς αναφέρεται ως DEXA εκ του (Dual Energy X-ray Absorptiometry), είναι μια απεικονιστική μέθοδος που θεωρείται ως πρότυπη για τον προσδιορισμό των μεταβολικών παθήσεων

των οστών (όπως η οστεοπόρωση, η παχυσαρκία και η σαρκοπενία.) Τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνικής DEXA είναι η εξαιρετικά χαμηλή δόση που λαμβάνει ο ασθενής σε σχέση με παρόμοιες μεθόδους, η ακρίβεια της και η ευκολία στην χρήση της. Επιπροσθέτως, μέσω της τεχνικής DXA ο προσδιορισμός του FM και του LBM αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη με πολύ αυξημένη ακρίβεια συγκριτικά με τεχνικές όπως η υπολογιστική τομογραφία και η μαγνητική τομογραφία. Ο προσδιορισμός της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος επιτυγχάνεται από την τεχνική της DXA μέσω του μοντέλου 3 επιπέδων.

Η απεικονιστική τεχνική DEXA αναπτύχθηκε περίπου το 1960 από τον καθηγητή R. John Cammeron και εκ τότε, αποτελεί την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική οστικής πυκνομετρίας στις ημέρες μας. Η μέθοδος αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ασθένεια της οστεοπόρωσης. Ως οστεοπόρωση ορίζεται η συστηματική σκελετική νόσος κατά την οποία τα οστά χαρακτηρίζονται από χαμηλή οστική μάζα και διαταραχή της μικροαρχιτεκτονικής του οστίτη ιστού τους (Lane, Russell & Khan, 2000). Ως συνέπεια των ανωτέρω είναι αύξηση της ευθραυστότητας των οστών και η ευαισθησία τους σε κατάγματα. Αρχικά η απώλεια της οστικής μάζας σε συνδυασμό με την αύξηση της ηλικίας διαπιστώθηκε από τον Sir Astley Cooper που παρατήρησε την συσχέτισή της με τα κατάγματα στις περιοχές των ισχίων των ασθενών. Παρόλα αυτά ο όρος οστεοπόρωση άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως τον 19ο αιώνα.

Κλινικά η οστεοπόρωση ως κύριο χαρακτηριστικό έχει την παρουσία καταγμάτων χαμηλής ενέργειας. Τα κατάγματα χαμηλής ενέργειας, δηλαδή όσα κατάγματα έχουν προκύψει από ήπιο τραυματισμό, σύμφωνα με τους Krappinger et al. (2010), πλεονεκτούν ανάμεσα σε άλλους διαγνωστικούς δείκτες ως αναγνωριστικό κριτήριο για την διάγνωση της οστεοπόρωσης καθώς είναι εύκολο να σχηματισθούν σε διαγνωστικούς αλγορίθμους. Εντούτοις, το μειονέκτημα που προκύπτει είναι η αδυναμία έγκαιρης διάγνωσης και πρόληψης των καταγμάτων αυτών. Το γεγονός αυτό οδήγησε τους επιστήμονες στο να χρησιμοποιήσουν την οστική πυκνομετρία για τον ορισμό και πρόληψη της οστεοπόρωσης, καθώς και ως ένα σημαντικό μη επεμβατικό εργαλείο της εκτίμησης της οστικής μάζας και του κινδύνου παρουσίας κατάγματος.

2.3.2 Κατανόηση της Μέτρησης Οστικής Πυκνομετρίας

Για την κατανόηση της μέτρησης της μεθόδου την απορροφησιομετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας ορθό είναι να γίνει η αποσαφήνιση των όρων της οστικής μάζας και της οστικής πυκνότητας. Η μέτρηση της οστικής μάζας (Bone Mineral Content (BMC) αφορά τον

υπολογισμό του ανόργανου μέρους των οστών που βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και μετριέται σε γραμμάρια (g). Ο υπολογισμός αυτός είναι εφικτός λαμβάνοντας υπ' όψιν τη διαφορετική απορρόφηση των ακτίνων X μεταξύ των μαλακών ιστών και των οστικών δομών. Η BMC μπορεί να μετρηθεί σε μια συγκεκριμένη θέση (δηλαδή, χέρι, πόδι, κ.λπ.) ή για ολόκληρο το σώμα. Η οστική πυκνότητα (BMD) υπολογίζεται αυτόματα απ το λογισμικό της DXA και ορίζεται ως το πηλίκο της BMC σε γραμμάρια (g) διαιρεμένο με το εμβαδόν της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) σε εκατοστά στο τετράγωνο (cm²).

Η χαμηλή οστική πυκνότητα (Bone Mineral Density(BMD) έχει θέση ως ένας από τους πιο ισχυρούς παράγοντες κινδύνου παρουσίας κατάγματος, καθώς όσο η οστική μάζα μειώνεται, τόσο η πιθανότητα κατάγματος αυξάνεται (Deng et al., 2002). Ωστόσο, παρά το γεγονός πως αποτελεί μια απόλυτη τιμή μέτρησης στην καθημερινή κλινική πράξη, δεν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της οστεοπόρωσης.

Αντί αυτού ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) έχει προσδιορίσει την απεικονιστική διάγνωση της οστεοπόρωσης με βάση την τιμή T-score. Η τιμή T-score δεν είναι απόλυτη τιμή μέτρησης και προκύπτει συγκρίνοντας την τιμή της BMD με μια προκαθορισμένη βάση δεδομένων, η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στο μηχάνημα της DXA. Εκφράζει τη διαφορά της τιμής BMD του εξεταζόμενου σε σχέση με τη μέση τιμή, ίδιου φύλου και εθνικότητας, εκφρασμένη σε μονάδες απόκλισης. Έτσι, για παράδειγμα, αν ένας ασθενής έχει T-score -1,0 σημαίνει ότι η οστική του πυκνότητα είναι 1 μονάδα σταθερής απόκλισης κάτω από τη μέση τιμή των νεαρών ατόμων.

Η τιμή T-score είναι ένα εργαλείο για τη διάγνωση της οστεοπόρωσης μόνο σε μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες και σε άντρες άνω των 50 ετών. Σε περίπτωση προεμμηνοπαυσιακών γυναικών, ανδρών κάτω από την ηλικία των 50 ετών και παιδιών χρησιμοποιείται η τιμή Z-score, η οποία υπολογίζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που υπολογίζεται και η τιμή T-score. Η τιμή Z-score εκφράζει τη διαφορά της τιμής BMD του εξεταζόμενου σε σχέση με τη μέση τιμή πληθυσμού αντίστοιχης ηλικίας, φυλής και φύλου.

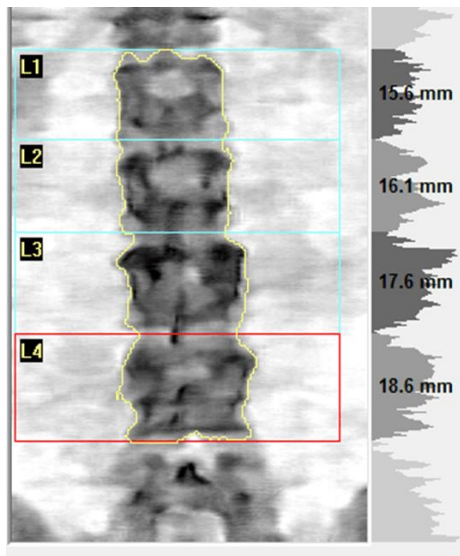
2.3.3 Οστεοπορωτικά Κατάγματα – Περιοχές Μέτρησης

Η αξιολόγηση της περιοχής του μη επικρατούντος ισχίου, παριστά πιθανόν την σημαντικότερη διαγνωστική δοκιμασία όσον αφορά την οστεοπόρωση και τον κίνδυνο εμφάνισης κατάγματος. Αυτό συμβαίνει καθώς έχει μελετηθεί από την ερευνήτρια Lane, (2006) πως το κάταγμα στην περιοχή του ισχίου συνδέεται περισσότερο με την χαμηλή τιμή BMD σε σχέση με άλλου είδους κατάγματα.

Τα κατάγματα αυτά αυξάνουν με εκθετικό ρυθμό και έχει παρατηρηθεί πως αφορούν κυρίως ηλικιωμένα άτομα, με τις γυναίκες να εμφανίζουν σχεδόν τα 3/4 αυτών. Επίσης, έχει παρατηρηθεί συμφωνά με μελέτες μια εκσεμασμένη γεωγραφική και εθνική διακύμανση του επιπολασμού του κατάγματος στο ισχίο, παγκοσμίως. Σημειώνεται πως έχει βρεθεί πως τα κατάγματα στην περιοχή του ισχίου παρουσιάζονται συχνότερα στην Σκανδιναβία σε λευκές γυναίκες σε σχέση με γυναίκες ίδιας ηλικίας στην Αμερική και τις ασιατικές χώρες. Ο ρυθμός εμφάνισης κατάγματος στην Ασία ήταν συνολικά μικρότερός όπως επίσης και στους μαύρους πληθυσμούς (Woolf & Cooper, 2009).

Τα αποτελέσματα αυτά έχουν καίριο ρόλο στην δημιουργία αλγορίθμων της εξέτασης DEXA καθώς το αποτέλεσμα εξαρτάται εκτός από την ηλικία και άλλους παράγοντες που αφορούν τον τρόπο ζωής του ασθενούς και από την φυλετική καταγωγή του. Επίσης η μέτρηση της BMD στην περιοχή της ΟΜΣΣ έχει ιδιαίτερη αξία διότι αρχικά αποτελεί και την περιοχή του σώματος με την μεγαλύτερη ευαισθησία στις θεραπείες.

Η περιοχική πυκνομετρική μέτρηση της σπονδυλικής στήλης (εικ. 1) αφορά τους οσφυϊκούς σπονδύλους και συγκεκριμένα από τον πρώτο οσφυϊκό έως και τον τέταρτο (Ο1-Ο4). Αρχικά παρέχονται πληροφορίες που σχετίζονται με τον ασθενή, (ονοματεπώνυμο, ημερομηνία γέννησης, φύλο, εθνικότητα) , ενώ στην συνέχεια αναγράφονται τα δεδομένα που αφορούν την ημερομηνία της εξέτασης (scan information). Τέλος παρέχονται όλες εκείνες οι πληροφορίες που προκύπτουν μετά από την μέτρηση και είναι οι αριθμητικές τιμές της BMC , της BMD αλλά και τις τιμές Z score και T score τόσο για κάθε σπόνδυλο μεμονωμένα όσο και για το σύνολο τους.



DXA Results Summary:

Region	Area (cm ²)	BMC (g)	BMD (g/cm ³)	T-score
L1	10.87	9.00	0.828	-1.5
L2	12.77	12.12	0.949	-0.7
L3	14.15	15.30	1.081	0.0
L4	16.69	15.79	0.946	-1.0

Εικόνα 1. Απεικόνιση σπονδυλικής στήλης


Η πυκνομετρική μέτρηση της περιοχής του ισχίου (εικ.2) επικεντρώνεται στην περιοχή του ισχίου συνολικά αλλά και συγκεκριμένα στον αυχένα του μηριαίου, καθώς έχει παρατηρηθεί ο έντονος συσχετισμός του με κατάγματα. Αρχικά παρέχονται πληροφορίες που σχετίζονται με τον ασθενή (ονοματεπώνυμο, ημερομηνία γέννησης, φύλο, εθνικότητα), ενώ στην συνέχεια αναγράφονται τα δεδομένα που αφορούν την ημερομηνία της εξέτασης (scan information).

Τέλος παρέχονται όλες εκείνες οι πληροφορίες που προκύπτουν μετά από την μέτρηση και είναι οι αριθμητικές τιμές της BMC, της BMD αλλά και τις τιμές Z score και T score τόσο ολόκληρη την περιοχή του ισχίου αλλά και για επιμέρους περιοχές, (αυχέννας του μηριαίου, μείζονας τροchanτήρας κ.α).

Telephone: 2872-1205 E-Mail: activihp@hku.hk Fax: 2817-1974

Name: XYZ	Sex: Male	Height: 168.0 cm
Patient ID:	Ethnicity: HK	Weight: XX.X kg
DOB: July 1, 19XX		Age: XX

Referring Physician:



Scan Information:
 Scan Date: April 23, 201X ID: A0423190A
 Scan Type: f Left Hip
 Analysis: April 23, 201X12:25 Version 13.6.0.5
 Hip
 Operator: CW
 Model: Horizon A (S/N 301169M)
 Comment:

DXA Results Summary:

Region	Area (cm ²)	BMC (g)	BMD (g/cm ³)	T-score	Z-score
Neck	5.85	4.39	0.750	-1.3	-1.2
Total	39.91	36.01	0.902	-0.9	-0.8

Εικόνα 2. Απεικόνιση ισχίου

2.3.4 Φυσικές αρχές και σύστημα DEXA

Η βασική φυσική αρχή που διέπει την DEXA είναι η εξασθένηση της ακτινοβολίας όταν διαπερνά το ανθρώπινο σώμα σε δύο διαφορετικές ενέργειες (40keV και 70 keV). Στην συνέχεια προκύπτουν δύο διαφορετικές εξισώσεις που η επίλυση τους οδηγεί στον υπολογισμό των οστικών αλάτων και του μαλακού ιστού, (FFM και LBM). Η επίτευξη της βαθμονόμησης του συστήματος επιτυγχάνεται μέσω ενός πρότυπου ανθρώπινου ομοιώματος (phantom) που έχει γνωστή σύσταση.

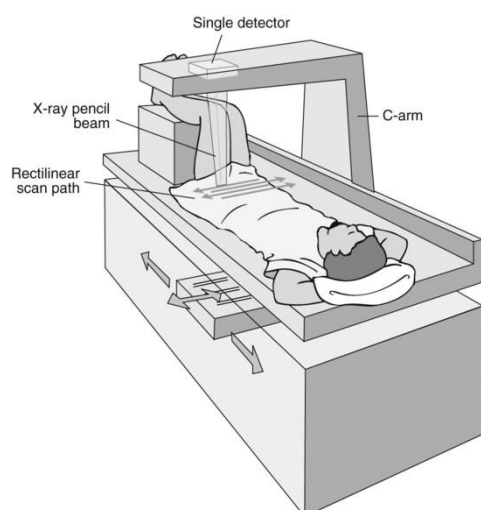
2.3.5 Δομή και λειτουργίες της DEXA

Η δομή των συστημάτων της μεθόδου DEXA κυρίως αποτελείται την πηγή που παράγει την ακτινοβολία σε δύο διαφορετικές ενέργειες και τον έναν ή πολλαπλούς ανιχνευτές που ακολουθούν την ίδια πορεία σάρωσης με την πηγή και καταγράφουν την εξασθένηση των δύο ενεργειών.

Επίσης ένα ολοκληρωμένο σύστημα DEXA (εικ. 3) αποτελείται από μια υπολογιστική μονάδα που ο ρόλος της είναι η επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων από το εξειδικευμένο προσωπικό. Το σύστημα της πηγής και το σύστημα των ανιχνευτών βρίσκονται σε αντίθετη θέση με την λυχνία να βρίσκεται συνήθως κάτω από το σώμα του εξεταζόμενου. Τα δύο αυτά συστήματα κινούνται παράλληλα εκτελώντας ελικοειδή σάρωση. Η δέσμη της ακτινοβολίας μπορεί εκπέμπεται ως pencil beam, (κυρίως από τα παλαιότερης τεχνολογίας συστήματα) δηλαδή ως μια ευθυγραμμισμένη δέσμη η οποία διέρχεται από το σώμα του εξεταζόμενου σε ένα σύστημα με έναν ανιχνευτή. Η δέσμη αυτή πρώτα διέρχεται μέσα από ένα κυκλικά βαθμονομημένο δίσκο που περιέχει υλικά με διαφορετικό συντελεστή εξασθένησης στις ακτίνες X. Αυτό αποτελεί τη βάση ενός εσωτερικού συστήματος βαθμονόμησης του μηχανήματος, το οποίο είναι απαραίτητο για την αντιστάθμιση των διακυμάνσεων στην παροχή της λυχνίας, καθώς και την μετατόπιση του φάσματος προς τα μικρότερα μήκη κύματος (Blake & Fogelman, 1997).

Η μετατόπιση του φάσματος προς τα μικρότερα μήκη κύματος που αλλιώς μπορεί να εκφραστεί ως η μετατόπιση του προς τις μεγαλύτερες συχνότητες συμβαίνει διότι οι μικρές συχνότητες των ακτίνων X απορροφούνται περισσότερο από τις μεγάλες και επομένως μετά τη διέλευσή τους από το σώμα, η ένταση του φάσματος των ακτίνων X στις μεγάλες συχνότητες υπερσχύει έναντι των μικρών, δηλαδή προκύπτει η αύξηση της διεισδυτικότητας (σκληρυνσης) της δέσμης. Χάριν όμως στις τεχνολογικές εξελίξεις πλέον τα συστήματα DEXA μπορούν να εκπέμπουν ακτινοβολία και με μορφή fan beam και

narrow fan beam. Σύμφωνα με τους Blake και Fogelman (1997), η τεχνολογία fan beam χρησιμοποιεί μια δέσμη σε σχήμα βεντάλιας, η οποία συνδυάζεται με πολλαπλούς ανιχνευτές, επιτρέποντας μικρότερους χρόνους σάρωσης με καλύτερες αναλύσεις εικόνας. Η πρώτη σάρωση με δέσμη ανεμιστήρα εισήχθη από την Hologic το 1993 με το πυκνόμετρο QDR-2000.



Εικόνα 3. Δομή Συστήματος DXA

2.3.6 DXA και σύσταση μάζας σώματος

Ταυτόχρονα, συνεχείς έρευνες και βελτιώσεις έθεσαν την απεικονιστική μέθοδο DEXA και ως μια αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης και άλλων μυοσκελετικών παραμέτρων, πλην της BMD. Η DXA παρέχει στους επιστήμονες υγείας την δυνατότητα του υπολογισμού της σύστασης μάζας του ανθρώπινου σώματος μέσω του μοντέλου τριών επιπέδων. Επεξηγηματικά η μέτρηση αυτή συμβαίνει, μέσω του υπολογισμού της FM της LBM αλλά και της BMC.

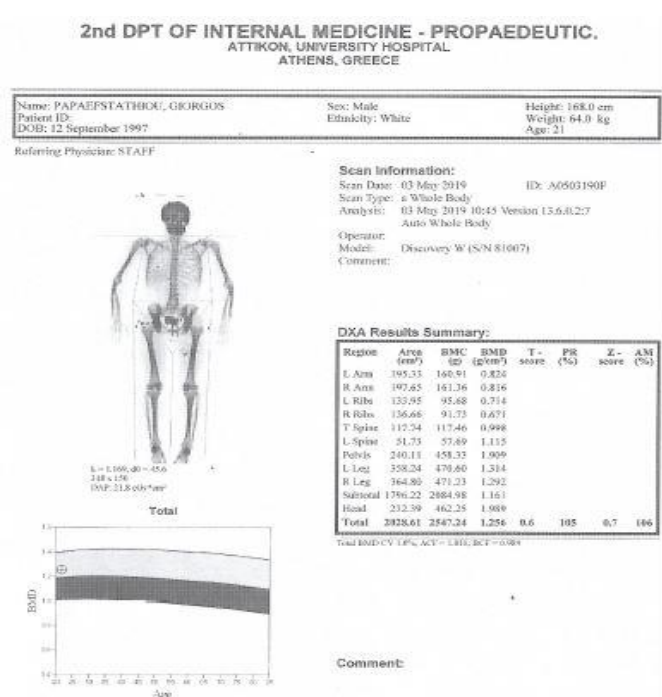
Η διαδικασία της ολόσωμης σάρωσης που οδηγεί στην ανάλυση της σύστασης μάζας σώματος περιλαμβάνει τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι αυτό της προετοιμασίας του ασθενούς, στην συνέχεια έπεται αυτό τοποθέτησης του στην εξεταστική τράπεζα, και τέλος λαμβάνει χώρα η διαδικασία της επεξεργασίας των εικόνων (Messina et al., 2020). Η σωστή προετοιμασία του ασθενούς έχει καίριο ρόλο στην διατήρηση της βιολογικής μεταβλητότητας της FM και της LBM όσο το δυνατόν πιο χαμηλές.

Σύμφωνα με τους ερευνητές Messina et al. (2020), η σύσταση της μάζας του σώματος δύναται να επηρεαστεί από το ποσοστό ενυδάτωσης, αλλά και από το περιεχόμενο του πεπτικού συστήματος. Επίσης η έντονη σωματική άσκηση πριν την εξέταση θα μπορούσε να αναδείξει αυξημένη LBM. Το FM σύμφωνα σύμφωνα με την ίδια μελέτη φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο από την σωματική άσκηση ή τα ληφθέντα

γεύματα του ασθενούς αλλά αντιθέτως δείχνει να εξαρτάται από τα επίπεδα ενυδάτωσης. Έτσι, σε περιπτώσεις υπερβολικής ενυδάτωσης ή οιδήματος έχει φανεί σε έρευνες πως το ποσοστό ενυδάτωσης της άλιπης μάζας του σώματος, που η τεχνολογία της DEXA θεωρεί περί στο 73%, να αποκλίνει έως και 5%. Επομένως, η συνιστώμενη από την βιβλιογραφία προετοιμασία του ασθενούς θεωρείται ορθό να γίνεται υπό επαναλαμβανόμενες συνθήκες ήπια άσκησης και λήψης τροφής. Μάλιστα υπάρχει αναφορά πως η ιδανική συνθήκη για την επίτευξη της επαναληψιμότητας της μεθόδου είναι η ολονύκτια νηστεία του ασθενούς πριν την εξέταση (Shepherd et al., 2017).

Η τοποθέτηση του ασθενούς (εικ. 4) ως ένας βασικός πυλώνας για την επαναληψιμότητα και ακρίβεια της μεθόδου είναι μια διαδικασία που θα πρέπει να γίνεται από το εκπαιδευμένο προσωπικό ακολουθώντας ορισμένα πρωτόκολλα. Αρχικά, θα πρέπει να αφαιρούνται από τον ασθενή τυχόν μεταλλικά αντικείμενα που θα μπορούσαν να προσδώσουν ψευδείς πληροφορίες στην εικόνα (δημιουργία artifacts). Στην συνέχεια ο ασθενής θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ύπτια θέση στο κέντρο της εξεταστικής τράπεζας. Τα άνω άκρα θα πρέπει να βρίσκονται κατά μήκος του σώματος με τις παλάμες των χεριών να βρίσκονται σε πρηνή θέση χωρία να ακουμπούν το υπόλοιπο σώμα.

Τα κάτω άκρα επίσης θα πρέπει να βρίσκονται σε φυσική θέση με μια ελαφρώς εσωτερική κλίση ώστε οι άκρες των ποδιών να εφάπτονται.



Εικόνα 4. Σωστή τοποθέτηση ασθενούς για ολόσωμη εξέταση DXA

2.3.7 DEXA σύγκριση με MRI/CT

Μέθοδοι όπως η μαγνητική τομογραφία (MRI) και η υπολογιστική τομογραφία (CT) θεωρούνται ως οι ιδανικές μέθοδοι για τον υπολογισμό της μυϊκής μάζας, διότι παρέχουν την δυνατότητα της ανάλυσης της σύστασης της μάζας σε διαφορετικά σημεία του σώματος (δέρμα, μύες, υποδόριος και σπλαχνικός ιστός).

Γίνεται αντιληπτό λοιπόν πως ενώ οι τιμές της DEXA για το FM σχετίζονται με το σύνολο των τριγλυκεριδίων, στην CT και την MRI και οι μετρήσεις MRI του λιπώδους ιστού αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο ανατομικό διαμέρισμα, το οποίο περιέχει λιποκύτταρα αλλά επίσης και άλλα συστατικά όπως κολλαγόνο, ινοβλάστες, και τριχοειδή αγγεία. Εν συνεχεία, οι μετρήσεις της FM τείνουν να έχουν μεγαλύτερες τιμές και της LBM μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους κατά την εξέταση με DEXA. Παρόλα αυτά, η MRI και η CT παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς κατά την καθημερινή ρουτίνα.

Αρχικά και οι δύο μέθοδοι είναι ιδιαίτερα κοστοβόρες και απαιτούν εξαιρετικά εκπαιδευμένο προσωπικό για την ορθή ολοκλήρωσή τους. Επίσης χρειάζονται περισσότερο χρόνο που συνεπάγεται τόσο την μεγαλύτερη πιθανότητα αθέμιτης κίνησης του ασθενούς και άρα την κακή ποιότητα εικόνας, αλλά και την εξαιρετικά περισσότερη δόση ακτινοβολίας στον ασθενή.

Αντιθέτως, η DEXA είναι μια μέθοδος με ελάχιστη επιβάρυνση ακτινοβολίας στον ασθενή που διαρκεί μερικά λεπτά έως ότου ολοκληρωθεί. Επίσης η τεχνική της DEXA, σύμφωνα με μελέτη των Kim et al. (2017), παρουσιάζει εξαιρετικά καλό συσχέτισμα αποτελεσμάτων με αυτά των μεθόδων MRI/CT και μάλιστα σύμφωνα και με μια ακόμα πειραματική μελέτη των τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και σε παιδιατρικούς ασθενείς.

Για όλους αυτούς του λόγους η επιστημονική κοινότητα αναδεικνύει την μέθοδο αυτή ως μια από τις πλέον χρήσιμες στην καθημερινή πρακτική και έτσι θεωρείται ως μια μέθοδος αναφοράς (gold standard method).

2.3.8 Δοσιμετρία

Η δόση της ακτινοβολίας για να κατανοηθεί καλύτερα, μπορεί να διαχωριστεί στην απορροφούμενη δόση (absorbed dose), την ισοδύναμη δόση (equivalent dose) και την αποτελεσματική δόση (effective dose).

Η απορροφούμενη δόση αναφέρεται στην ποσότητα της ακτινοβολίας που εναποτίθεται σε μια μάζα. Η μάζα μπορεί να είναι οτιδήποτε: νερό, βράχος, αέρας, άνθρωποι κ.λπ και εκφράζεται σε miligray (mGy). Η απορροφηθείσα δόση αναφέρεται σε

όλες τις ακτινοβολίες και αποτελεί μέτρηση της ολικής ενέργειας που απορροφά ένα δεδομένο τεμάχιο της ύλης ή οργανισμός. Δεν αποτελεί από μόνη της μέτρο των βιολογικών επιπτώσεων διότι τα βιολογικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται μόνο από τη δόση αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας.

Στην ισοδύναμη δόση μετράται η δόση της ακτινοβολίας που δέχεται ένας οργανισμός σε σχέση με της βιολογικές επιδράσεις αυτής. Η ισοδύναμη δόση ισούται με το γινόμενο της απορροφούμενης δόσης επί ένα συντελεστή ποιότητας που ονομάζεται Σχετική Βιολογική Δραστικότητα (RBE, Relative Biological Effectiveness), ο οποίος εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας. Η ισοδύναμη δόση υπολογίζεται σε millisilver (mSv). Η επίδραση των διάφορων ειδών ακτινοβολίας στα διάφορα όργανα ανθρώπινου σώματος μπορεί να διαφέρει. Οι διαφορές αυτές προσεγγίζονται με την βοήθεια ενός σταθμιστικού παράγοντα με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η ισοδύναμη δόση και έτσι προκύπτει η αποτελεσματική δόση.

Η αποτελεσματική δόση, εκφράζεται σε mSv και είναι εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την σύγκριση των διάφορων ακτινοβολιών που επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα και τα όργανα του με την φυσική ακτινοβολία που υπάρχει στο περιβάλλον (background dose). Σύμφωνα λοιπόν με τους Messina et al. (2020), κατά την διάρκεια μιας ολόσωμης εξέτασης με ένα σύστημα DEXA η δόση που δέχεται ο εξεταζόμενος ανέρχεται περίπου στα 4-5mSv , δηλαδή μικρότερη από την ακτινοβολία του περιβάλλοντος που ανέρχεται σε περίπου 6.7mSv/ημέρα. Η κατανόηση της ακτινοβολίας της DEXA γίνεται περισσότερο απτή σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, όπως αυτή της υπολογιστικής τομογραφίας (CT). Μια εξέταση CT εναποθέτει στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεσματική δόση περίπου 2mSv, που ισοδυναμεί με οκτώ μήνες έκθεσης στην ακτινοβολία περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, η δόση ακτινοβολίας των ασθενών που εκτελούν την εξέταση DXA εξαρτάται από παράγοντες όπως τα Kvρ και τα mA x sec (mAs) που χρησιμοποιούνται από το μηχάνημα μέτρησης. Αλλά και από το πάχος του ασθενούς ή το πλήθος των εξετάσεων που πρέπει να εκτελεστούν. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Κοινότητα Κλινικής Πυκνομετρίας η δόση στους ασθενείς θεωρείται αμελητέα με μόνη αντένδειξη να αποτελούν οι εγκυμονούσες γυναίκες (Laskey, 1996).

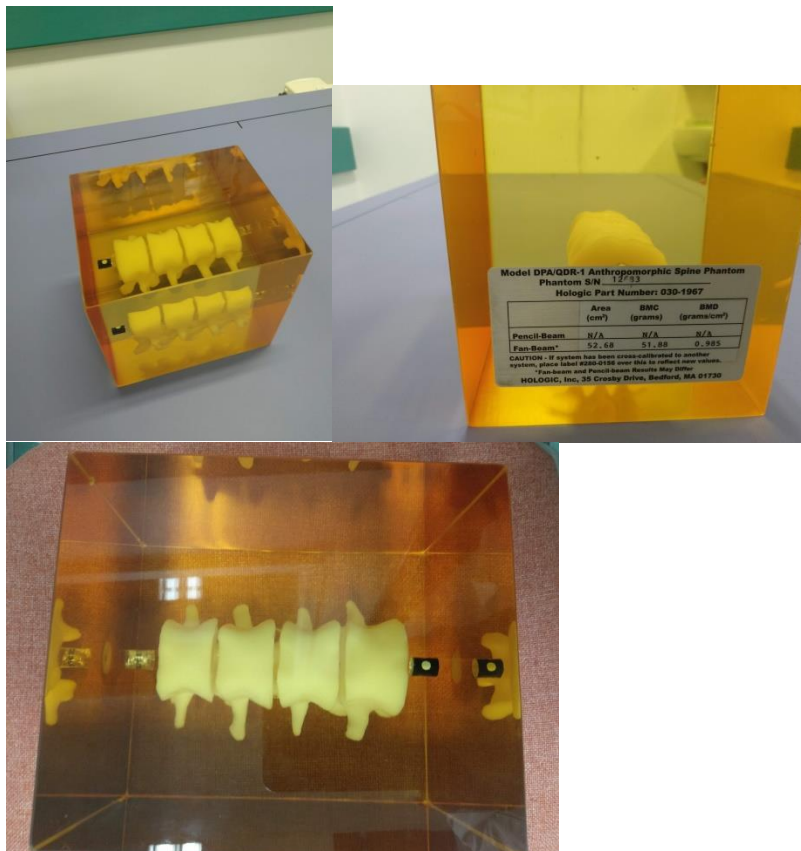
2.3.9 Ποιοτικός Έλεγχος DEXA

Οι απαραίτητες ενέργειες για την διαχείριση της ποιότητας της εικόνας κατά την εξέταση DEXA είναι μια ευθύνη των τεχνολόγων ακτινολογίας - ακτινοθεραπείας που διενεργούν τις εξετάσεις.

Η σημαντικότητα της καλής ποιότητας εικόνας κατά τον ακτινολογικό έλεγχο DEXA έγκειται στο γεγονός πως η ακρίβεια και η αξιοπιστία της εξέτασης θα πρέπει να είναι οι μέγιστες δυνατές, προκειμένου να μπορούν να ανιχνευθούν και οι ελάχιστες αλλαγές της BMD. Η διενέργεια του σωστού ποιοτικού ελέγχου από τον τεχνολόγο ακτινολόγο είναι αυτή που εξασφαλίζει όχι μόνο την επαναληψιμότητα και την ακρίβεια της μέτρησης αλλά και την διασφάλιση του χρόνου ζωής του μηχανήματος DEXA και του εξοπλισμού στο σύνολο του.

Η ποιοτική διασφάλιση της αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας της εξέτασης μπορούν να διασφαλιστούν αρχικά μέσω του καθημερινού ποιοτικού ελέγχου (daily quality control). Η διαδικασία του καθημερινού ποιοτικού ελέγχου, διενεργείται κάθε ημέρα από τον εξεταστή πριν από την εξέταση οποιουδήποτε ασθενή ρουτίνας.

Κατά την διαδικασία αυτή, χρησιμοποιείται ένα ειδικό πρόπλασμα σπονδυλικής στήλης phantom (εικ. 5) , που περιέχει τους σπονδύλους που μετρώνται φυσιολογικά και κατά την εξέταση (O1-O4). Το phantom φέρει προδιαγεγραμμένα από την κατασκευή του συγκεκριμένες τιμές αναφοράς για την BMD, την BMC άλλα και για τις τιμές T-score και Z-score. Εν συνεπεία μόνον εάν οι μετρηθείσες τιμές του phantom είναι εντός του προκαθορισμένου επιτρεπτού εύρους των τιμών αναφοράς είναι εφικτή η λειτουργία.



Εικόνα 5. Phantom

2.3.10 Αξιοπιστία επαναληψιμότητα και ακρίβεια (σφάλματα – ανομοιογένειες)

Η αξιολόγηση οποιασδήποτε απεικονιστικής μεθόδου όπως και της DXA προκύπτει μέσω του ελέγχου της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, της επαναληψιμότητας τους κατά το πέρας των μετρήσεων και της ακρίβειας τους. Η διττή φύση της εξέτασης της απορροφησιμετρίας ακτίνων Χ διπλής ενέργειας απαιτεί την προσέγγιση των ανωτέρω παραμέτρων ξεχωριστά.

2.3.10.1 Ακρίβεια

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μέτρησης DXA είναι το μέσο αξιολόγησης που αναφέρεται στην διαφορά του μέσου όρου των αποτελεσμάτων μιας σειράς μετρήσεων και της τιμής, που είναι αποδεκτή ως η ορθή.

Οι κύριοι περιορισμοί στην ακρίβεια προέρχονται είτε από τυχαία σφάλματα (random errors) είτε από συστηματικά σφάλματα (bias). Η ακρίβεια της μεθόδου είναι διαφορετική για τις παραμέτρους της. Τουτέστιν, η μέτρηση DXA ως μια μέθοδος μέτρησης των οστικών αλάτων και εκτίμησης της οστεοπόρωσης αποτελεί μια πρότυπη μέθοδο (gold standard), αλλά χωρίς αυτό να σημαίνει πως είναι επίσης μια πρότυπη μέθοδος για την μέτρηση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν είναι εύκολο να αξιολογηθεί η ακρίβεια της μεθόδου υπό αυτό το πρίσμα είναι πως η DXA είναι η μοναδική μέθοδος που μετράται ο άνευ λίπους μαλακός ιστός του σώματος. Για την εκτίμηση του %BF του σώματος είναι δυνατόν να υπάρξουν συστηματικά σφάλματα κατά την σύγκριση των αποτελεσμάτων της DXA με τις υπόλοιπες μεθόδους. Η πληθώρα αυτών των συστηματικών λαθών μπορεί να επηρεαστεί από τα διαφορετικά μηχανήματα DXA που υπάρχουν στο εμπόριο διαθέσιμα ή και από τις διαφορετικές καμπύλες πληθυσμών αναφοράς.

Επίσης σύμφωνα με τον Lohman (1992), το τυπικό σφάλμα ή αλλιώς η σταθερή απόκλιση πρόβλεψης του %BF πρέπει να μην υπερβαίνει το 3% για να θεωρηθεί μια μέθοδος ως πρότυπη ενώ αν υπερβαίνει το 4% παρουσιάζει περιορισμένη ισχύ. Η DXA έχει μελετηθεί πως βρίσκεται στο όριο μεταξύ του 3 και 4 τοις εκατό γεγονός που την κάνει μια μέθοδο καθολικά αποδεκτή, αν και ήδη πολλοί ερευνητές την θεωρούν μια πρότυπη μέθοδο (Ζαφειρόπουλος, 2015). Η ακρίβεια της εξέτασης DXA έχει παρατηρηθεί, σε πειραματικό επίπεδο πως δύναται να επηρεαστεί από τυχόν ανομοιογένειες στην σύσταση της μάζας των σωμάτων των πειραματόζων.

Σε μια μελέτη που οι Heymsfield et al. (2005) παρουσιάζουν γίνεται μια προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων της DXA με αυτά που προκύπτουν από τις χημικές αναλύσεις. Ως αποτέλεσμα η εξέταση DXA φέρεται να παρουσιάζει τυπική απόκλιση εντός των επιθυμητών ορίων (<3%) σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Ωστόσο, στις περιπτώσεις εκείνες που τα πειραματόζωα είχαν υποστεί ειδικές δίαιτες, ούτως ώστε να έχει επέλθει αλλαγή στην ομοιογένεια των συστατικών του σώματος τους, παρατηρήθηκαν μεμονωμένα σφάλματα πρόβλεψης του λίπους που έφτασαν έως και 25% (Lukaski et al., 2001) και σχετίζονταν με αφυδάτωση του σώματος ή το χάσιμο υπερβολικής μάζας. Η μεταβολή της αναλογίας του ποσοστού του λίπους στους μαλακούς ιστούς όπως συνεπάγεται λοιπόν πως μπορεί να αποτελέσει πηγή σφαλμάτων για την εξέταση DXA τόσο στην πυκνομετρική εξέταση όσο και στο %BF.

Παλαιότερες μελέτες σε πτώματα έχουν στο παρελθόν συσχετίσει την επίδραση της μεταβολής του λίπους στην εξέταση της σπονδυλικής στήλης μέσω σύγκρισης μετρήσεων αξονικής τομογραφίας και DXA όπως αναφέρουν οι Tothil, Weir & Loveland (2014). Η προαναφερθείσα ομάδα επιστημόνων μάλιστα το 2014 διεξήγαγε μια παρόμοια μελέτη χρησιμοποιώντας την ίδια φιλοσοφία, σε ισχία ασθενών που όλοι τους είχαν διαφορετική κατανομή λίπους. Αρχικά οι εξετάσεις υπολογιστικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκαν για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός του μέσου όρου του λιπώδους ιστού από τον οστίτη και λοιπό ιστό, τόσο στην περιοχή του συνολικού ισχίου, όσο και σε αυτή του αυχένα του μηριαίου. Παρατηρήθηκε στην συνέχεια ότι στις εξετάσεις υπολογιστικής τομογραφίας προέκυπταν σφάλματα εξαιτίας της ανομοιογένειας που παρουσίαζε το λίπος στον μυελό των οστών. Έπειτα μελετήθηκαν οι διαφορές που παρουσίαζαν οι δύο μέθοδοι και η επίδραση των σφαλμάτων στην οστική πυκνότητα μέσω πειράματος σε phantom.

2.3.10.2 Επαναληψιμότητα και Αξιοπιστία

Ο όρος της επαναληψιμότητας της εξέτασης αναφέρεται στο πόσο εύκολο είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν, και χαρακτηρίζονται από την ακρίβεια που αναφέρθηκε παραπάνω, να μπορούν να επαναλαμβάνονται χωρίς σημαντικές αποκλίσεις.

Η επαναληψιμότητα της DXA αξιολογείται τόσο σε άμεσο χρονικό διάστημα από την πρώτη μέτρηση, όσο και σε ένα βραχύ χρονικό διάστημα. Το άμεσο χρονικό διάστημα όπως αναφέρουν οι Lohman & Chen (2005), αφορά στην αξιολόγηση της επαναληπτικής μέτρησης εντός μερικών ημερών ενώ το έμμεσο κατά το πέρασ ορισμένων μηνών, στα ίδια άτομα. Η σταθερή απόκλιση στις επαναληπτικές μετρήσεις που εκτελούνται σε βραχύ χρονικό διάστημα στα ίδια άτομα και υπό τις ίδιες συνθήκες σύμφωνα με τους Kiezbak et

al.,(2000), φαίνεται να είναι της τάξης του -0.6% για την εκτίμηση των οστικών αλάτων και του $+1.9\%$ για την σύσταση μάζας σώματος, (%BF). Μάλιστα, φαίνεται πως και οι δύο μελέτες των Lohman and Chen (2005) και του Kiezbag (2005) συγκλίνουν στο ότι κατά την αξιολόγηση της επαναληψιμότητας και της αξιοπιστίας σε βραχύ χρονικό διάστημα παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα στην εκτίμηση των οστικών αλάτων από ό,τι στην εκτίμηση του %BF.

Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από τις μελέτες που έχουν ολοκληρώσει οι McIntyre et al. (2000), αλλά και οι Heymsfield et al. (2005), καθώς μέτρησαν επίσης παρόμοια επίπεδα αξιοπιστίας σε μηχανήματα DXA σύγχρονης τεχνολογίας (fan beam). Οι μακροπρόθεσμες επαναληπτικές μετρήσεις σύστασης μάζας σώματος στα ίδια άτομα και υπό τις ίδιες συνθήκες, όπως αναφέρουν οι Czartoryski et al. (2000), παρουσιάζονται με αρκετές διαφορές ως προς το % BF. Το γεγονός αυτό παρατηρήθηκε, κυρίως σε παχύσαρκα άτομα ή άτομα με έντονες μεταβολές στην σύσταση του σώματός τους και η επιστημονική σύσταση για την αποφυγή λαθών κατά τις μετρήσεις είναι η προσεκτική τοποθέτηση του ασθενούς στην εξεταστική τράπεζα.

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία – Υλοποίηση – Εφαρμογή

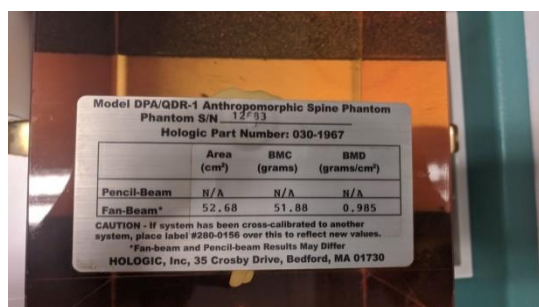
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας και των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Στόχος του συγγραφέα είναι να γίνει σαφής περιγραφή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του συστήματος DXA παρουσία παραγόντων ανομοιογένειας λίπους.

Η βασική ιδέα για την εφαρμογή του πειράματος είναι πως οι εξισώσεις εξασθένησης απλοποιούνται όταν η σύνθεση των υλικών των ιστών, που βρίσκονται πέριξ του οστού που ακτινοβολείται, θεωρείται πως είναι ίδια με των γειτονικών περιοχών όπου δεν υπάρχει οστό. Η ύπαρξη των ανομοιογενειών προκαλεί διαφορές στην σύνθεση των υλικών που γειτνιάζουν με το μετρούμενο οστό και έτσι εξετάζεται αν μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια της μεθόδου.

3.1 Σχέδιο Εργασιών

Το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την διενέργεια του πειράματος είναι το οστεοπυκνόμετρο DXA Hologic Discovery. Το μηχάνημα αυτό είναι τεχνολογίας fanbeam και η αναλυτική περιγραφή των αρχών λειτουργίας του γίνεται στο κεφάλαιο δύο. Το βασικότερο υλικό που έγινε χρήση του για την ολοκλήρωση του πειράματος είναι το phantom σπονδυλικής στήλης, ένα πρόπλασμα (εικ. 6), δηλαδή που εξομοιώνει την σπονδυλική στήλη του ανθρώπου.

Ο ρόλος του στην καθημερινή ρουτίνα των εξετάσεων είναι αυτός του ποιοτικού ελέγχου και βαθμονόμησης του συστήματος DXA και σε συγκεκριμένο σημείο του αναγράφονται οι τιμές BMD που θα πρέπει να προκύπτουν κατά τον καθημερινό ποιοτικό έλεγχο από το προσωπικό.

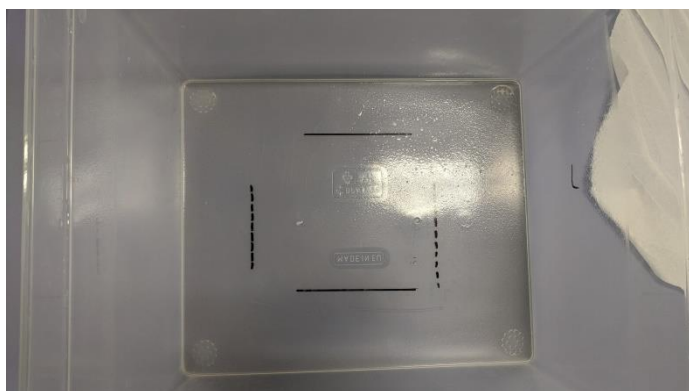


Εικόνα 6. Phantom-Τιμές

Το phantom ακτινοβολήθηκε σε διαδοχικές μετρήσεις διαφορετικών συνθηκών παρουσία ανομοιογενειών και στην συνέχεια ακολούθησε η στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος excel.

Η διαδικασία του πειράματος περιελάμβανε συγκεκριμένα βήματα. Αρχικά για την υλοποίηση των εργασιών πραγματοποιήθηκε η εμβάπτιση του phantom σε νερό. Ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ένα δοχείο (εικ. 7) που να μην περιέχει ως στοιχείο το πολυτετραφθοροαιθυλένιο ή αλλιώς με εμπορική ονομασία Teflon ή οποιοδήποτε άλλο οργανικό πολυμερές. Τα υλικά αυτά συχνά χρησιμοποιούνται ως επικάλυψη αντικειμένων και ως συστατικό των πλαστικών αντικειμένων και θα μπορούσαν να επηρεάζουν τις μετρήσεις λόγω της αλληλεπίδρασης τους με τους αλγόριθμους της DXA.

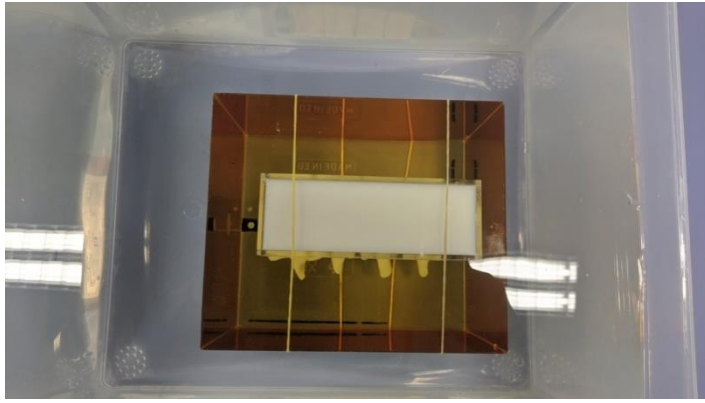
Ακόμα δόθηκε προσοχή έτσι ώστε το δοχείο να σηματοδοτηθεί σε συγκεκριμένα σημεία, για να επιτευχθεί η επαναληψιμότητα στην θέση του phantom και να βρίσκεται πάντοτε εμβαπτισμένο στο νερό με 2 εκατοστά ύδατος να περιβάλλονται ανάμεσα στην κορυφή του δοχείου και το ανώτερο σημείο του phantom.



Εικόνα 7. Δοχείο-σήμανση

Το νερό επίσης τοποθετήθηκε στο δοχείο με τέτοιο τρόπο που να μην επιτρέπει την δημιουργία φυσαλίδων αέρα, διότι θα μπορούσαν να παρεμβληθούν στις συνθήκες του πειράματος και να επιδράσουν στα αποτελέσματά του. Ο παράγοντας ανομοιογένειας που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα είναι το λίπος χοιρινής προέλευσης.

Η επιλογή αυτού του υλικού έγινε καθώς η σύσταση του είναι αρκετά όμοια με αυτή του ανθρώπινου λίπους, αλλά και γιατί η εύρεση του στο εμπόριο και η επεξεργασία του είναι μια προσιτή διαδικασία. Το χοιρινό λίπος μετρήθηκε με δύο διαφορετικές τοποθετήσεις στο phantom της σπονδυλικής στήλης. Η πρώτη θέση (εικ.8) που στους πίνακες του πειράματος παρουσιάζεται ως “narrow fat position” περιελάμβανε το λίπος τοποθετημένο ακριβώς πάνω από τους σπονδύλους του προπλάσματος.



Εικόνα 8. Narrow Fat position

Η δεύτερη θέση τοποθέτησης του λίπους (εικ.9), “wide fat position” είχε γίνει ούτως ώστε εκτός από την περιοχή που παρουσιάζονται οι σπόνδυλοι να περιλαμβάνει και έναν χώρο 2x2 εκ περίξ τους.

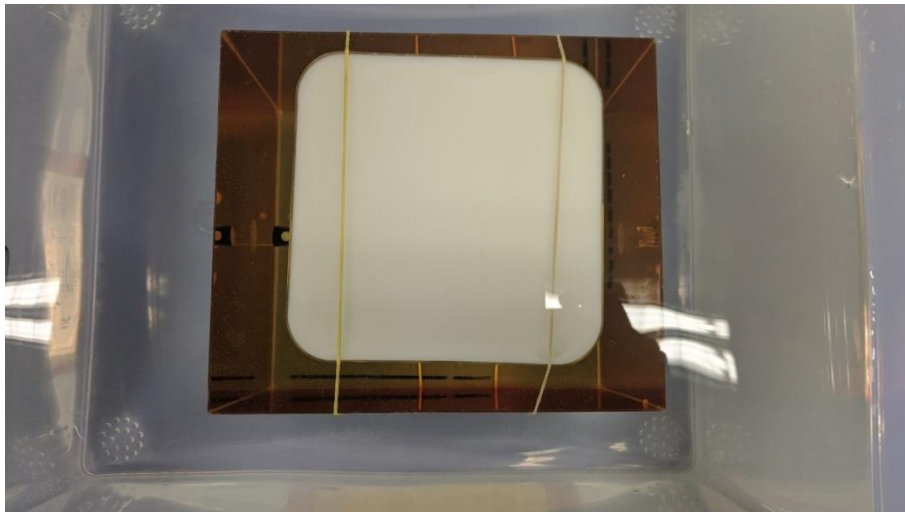


Figure 9. Wide Fat position

Η επαναληψιμότητα της θέσης του λίπους επετεύχθη μέσω της χρήσης δύο καλουπιών από υλικό plexiglas.

3.2 Περιγραφή Υλοποίησης – Εφαρμογής

Η υλοποίηση του πειράματος περιελάμβανε διαδοχικές μετρήσεις του phantom παρουσία νερού και στην συνέχεια λίπους. Η συνέχεια της διαδικασίας περιελάμβανε την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, την παρουσίαση τους σε πίνακες και την διενέργεια στατιστικών ελέγχου υποθέσεων.

Αρχικά, το phantom υπό την επίδραση μόνο του ατμοσφαιρικού αέρα μετρήθηκε εικοσιτέσσερις διαδοχικές φορές. Ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε έτσι ώστε η θέση του κάθε φορά να είναι η ίδια. Στην συνέχεια το χοιρινό λίπος τοποθετήθηκε στα δύο καλούπια που είχαν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι διαστάσεις του καλουπιού για το narrow fat position να είναι ακριβώς ίδιες με τις διαστάσεις που καταλαμβάνουν οι σπόνδυλοι στο phantom και οι διαστάσεις το wide fat position να καλύπτουν μια επιφάνεια 2x2cm περίξ των σπονδύλων.

Οι δύο κατασκευές που παρουσιάζονται στις εικ. 8 και εικ. 9 ακτινοβολήθηκαν για 9 διαδοχικές φορές η καθεμία και στην συνέχεια έγινε η συλλογή των αποτελεσμάτων.

3.3 Στατιστική Ανάλυση

Η επόμενη διαδικασία που έλαβε χώρα κατά για την υλοποίηση του πειράματος περιελάμβανε την συγκέντρωση των αποτελεσμάτων και την στατιστική τους ανάλυση. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν και ομαδοποιήθηκαν ανά περίπτωση σε έναν πίνακα.

Ο πίνακας περιελάμβανε όλες τις μετρήσεις της BMD, της BMC καθώς επίσης των T-Score και Z-score που μετρήθηκαν. Τα δεδομένα διαπιστώθηκε πως ακολουθούν την κανονική κατανομή, η οποία αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μία συνεχή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Χρησιμοποιείται ως μία πρώτη προσέγγιση για να περιγραφούν τυχαίες μεταβλητές πραγματικών τιμών, οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια μέση τιμή.

Η κανονική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας διότι την ακολουθούν με μεγάλη προσέγγιση τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα. Στην συνέχεια της στατιστικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος excel, η εκτίμηση της στατιστικής σημασίας της διαφοράς μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων μέσω του ελέγχου υποθέσεων T-Student σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο τέσσερα αφιερώνεται αρχικά στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πειράματος. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, στην συνέχεια ομαδοποιήθηκαν και παρουσιάζονται σε πίνακες Excel. Έπειτα, ακολουθεί η εξαγωγή των μέσων όρων και των τυπικών αποκλίσεων των μετρήσεων προκειμένου να επιτευχθεί ο στατιστικός έλεγχος υποθέσεων T-Student σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Την αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων διαδέχεται το υποκεφάλαιο της συζήτησης επί των βασικών σημείων και συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, με έμφαση στα οφέλη, τα μειονεκτήματα της εργασίας αλλά και τις μελλοντικές προοπτικές για τυχόν επέκτασή της.

4.1 Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα αρχικά διαχωρίζονται σε δύο πίνακες. Ο πίνακας 4 φέρει όλες τις τιμές που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις χωρίς την παρουσία των ανομοιογενειών του λίπους. Στην συνέχεια οι μετρήσεις αυτές ομαδοποιούνται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη υποκατηγορία που στον πίνακα απεικονίζεται με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζει τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει όταν το phantom μετρήθηκε για εικοσιτέσσερις διαδοχικές φορές παρουσία μόνο του ατμοσφαιρικού αέρα. Στα αποτελέσματα, αναφέρονται οι τιμές των BMD, BMC και της περιοχής που λαμβάνει χώρα η κάθε μέτρηση η όποια αναγράφεται ως area και ως μονάδα μέτρησης έχει το cm.

Επίσης οι τιμές που ακολουθούν ακριβώς μετά από την BMD είναι αυτές των z-score και t-score. Στην δεύτερη υποκατηγορία που απεικονίζεται με κυανό χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν όταν το phantom ήταν εμβαπτισμένο σε νερό δύο εκατοστά από το ανώτερο σημείο του.

Πίνακας 4. Δεδομένα πειράματος χωρίς ανομοιογένεια

χωρίς νερό					Σε νερό				
AREA	BMC	BMD	T score	Z score	AREA	BMC	BMD	T score	Z score
a	b	c	d	e	α	β	γ	δ	ε
53.41	52.88	0.99	-0.5	-0.4	53.83	51.25	0.952	-0.9	-0.8
53.67	53.36	0.944	-0.5	-0.4	52.89	50.44	0.954	-0.8	-0.8
53.69	52.54	0.979	-0.6	-0.5	52.95	50.62	0.956	-0.8	-0.7
53.3	51.68	0.97	-0.7	-0.6	53.02	50.48	0.952	-0.9	-0.8
53.44	51.86	0.971	-0.7	-0.6	53.33	51.66	0.696	-0.7	-0.6
53.29	53.59	0.987	-0.5	-0.5	53.61	51.76	0.966	-0.7	-0.7
53.99	52.62	0.975	-0.7	-0.6	53.09	51.04	0.961	-0.8	-0.7
53.6	51.96	0.969	-0.7	-0.6	53.72	52.72	0.981	-0.6	-0.5
53.71	52.98	0.987	-0.5	-0.5	53.5	51.69	0.966	-0.7	-0.7
53.59	52.78	0.985	-0.6	-0.5	53.73	51.33	0.955	-0.8	-0.8
53.73	53.52	0.978	-0.6	-0.6	53	50.62	0.955	-0.8	-0.8
53.46	51.86	0.97	-0.7	-0.5	53.16	50.98	0.959	-0.8	-0.7
54.21	53.53	0.987	-0.5	-0.5	53.4	51.28	0.96	-0.8	-0.7
53.59	52.76	0.985	-0.6	-0.5	53.9	52.07	0.977	-0.6	-0.6
53.83	52.99	0.984	-0.6	-0.5	52.97	50.8	0.959	-0.8	-0.7
53.42	52.43	0.981	-0.6	-0.5	53.33	51.09	0.958	-0.8	-0.7
53.98	53.14	0.984	-0.6	-0.5	53.67	51.59	0.961	-0.8	-0.7
53.84	52.71	0.979	-0.6	-0.5	53.13	53.13	0.965	-0.7	-0.7
54.08	53.92	0.978	-0.6	-0.4	52.73	50.6	0.948	-0.9	-0.8
54	53.76	0.995	-0.5	-0.6	53.38	50.66	0.956	-0.8	-0.8
53.7	52.35	0.975	-0.7	-0.7	53	50.52	0.949	-0.9	-0.8
53.26	51.57	0.968	-0.6	-0.4	53.23	50.74	0.963	-0.8	-0.7
53.29	53	0.995	-0.5	-0.5	52.67	51.35	0.958	-0.8	-0.7
53.71	53.06	0.988	-0.5	-0.5	53.59	50.87	0.965	-0.7	-0.7

Παρατηρείται πως για τις εικοσιτέσσερις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί υπό την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα ο μέσος όρος για τον τομέα "area" που αντιστοιχεί στον χώρο που ακτινοβολείται, είναι 53,65 cm. Επίσης οι μέσοι όροι των BMD, BMC για την ίδια υποκατηγορία προκύπτει πως είναι 0,97 και 52,78 αντίστοιχα. Τέλος οι μέσοι όροι των μετρήσεων για το T και Z score είναι -0,59 και -0,51.

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι τυπικές αποκλίσεις (SD) και οι διακυμάνσεις (CV) για όλες τις τιμές και βρέθηκαν ως εξής:

Για area: SD= 0.26 CV=0, για BMC: SD= 0.66 CV=0.01. Η τυπική απόκλιση για την BMD υπολογίστηκε SD=0.01 και η διακύμανση CV=0.01. Τέλος για T και Z score SD Tscore=0.07 και CV Tscore=-0.13 ενώ SD Z score=0.07 και CV Zscore=-0.14.

Συνεχίζοντας με τον υπολογισμό των μέσων όρων, των τυπικών αποκλίσεων και των διακυμάνσεων για την δεύτερη υποκατηγορία, δηλαδή κατά την μέτρηση σε ύδωρ, οι όροι

αυτοί προκύπτουν ως εξής: Παρατηρείται πως για τις εικοσιτέσσερις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί υπό την επίδραση του ύδατος ο μέσος όρος για τον τομέα "area" που αντιστοιχεί στον χώρο που ακτινοβολείται, είναι 53,28 cm. Επίσης οι μέσοι όροι των BMD, BMC για την ίδια υποκατηγορία προκύπτει πως είναι 0,94 και 51,22 αντίστοιχα. Τέλος οι μέσοι όροι των μετρήσεων για το T και Z score είναι -0,77 και -0,71.

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι τυπικές αποκλίσεις (SD) και οι διακυμάνσεις (CV) για όλες τις τιμές και βρέθηκαν ως εξής:

Για area: SD= 0.35 CV=0, για BMC: SD= 0.69 CV=0.01. Η τυπική απόκλιση για την BMD υπολογίστηκε SD=0.08 και η διακύμανση CV=0,05. Τέλος για T και Z score SD T score=0.08 και CV T score=-0.1 ενώ SD Z score=0.07 και CV Z score=-0.1. Τον υπολογισμό των ανωτέρω παραμέτρων ακολούθησε ο έλεγχος T student για την εκτίμηση της στατιστικής σημασίας της διαφοράς μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων των BMD τους.

Η BMD αποτελεί για το συγκεκριμένο πείραμα τον σημαντικότερο παράγοντα διότι προκύπτει από το πηλίκο της BMC προς την area και για τον έλεγχο σε επίπεδο σημαντικότητας 5% προέκυψε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους διότι ο ενδεικτικός δείκτης p value υπολογίστηκε 0,01 .

Η συνέχεια της παρουσίασης των αποτελεσμάτων απαιτεί την παρουσίαση του πίνακα 5.

Πίνακας 5. Δεδομένα πειράματος με ανομοιογένεια

wide in water					narrow in water				
AREA	BMC	BMD	T score	Z score	AREA	BMC	BMD	T score	Z score
a"	b"	c"	d"	e"	α"	β"	γ"	δ"	ε"
54.1	52.74	0.975	-0.7	-0.6	51.66	47.76	0.925	-1.1	-1
53.67	53.02	0.988	-0.5	-0.5	50.92	47.42	0.931	-1.1	-1
53.88	52.83	0.98	-0.6	-0.5	51.51	47.84	0.929	-1.1	-1
53.51	53.11	0.993	-0.5	-0.4	51.64	47.33	0.917	-1.2	-1.1
53.88	52.98	0.983	-0.6	-0.5	51.64	47.88	0.927	-1.1	-1
53.15	53.25	1.002	-0.4	-0.3	51.24	48.17	0.94	-1	-0.9
52.97	52.87	0.998	-0.4	-0.4	51.69	47.62	0.921	-1.1	-1.1
53.71	52.83	0.984	-0.6	-0.5	51.49	46.94	0.912	-1.2	-1.2
52.95	51.82	0.979	-0.6	-0.5	50.97	47.41	0.93	-1.1	-1
53.54	53.37	0.997	-0.5	-0.4	51.48	47.75	0.928	-1.1	-1

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εννέα μετρήσεων που το Phantom ακτινοβολήθηκε εμβαπτισμένο σε νερό, με τον παράγοντα ανομοιογένειας (χοιρινό λίπος) να επιδρά σε αυτό. Η πρώτη υποκατηγορία του πίνακα που απεικονίζεται με πράσινο χρώμα αναφέρεται στην θέση wide fat position και η δεύτερη υποκατηγορία που

εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στην θέση narrow fat position. Έπειτα εξήχθησαν ξανά οι μέσοι όροι, οι τυπικές αποκλίσεις και οι διακυμάνσεις για τις μετρήσεις υπό την επίδραση του χοιρινού λίπους έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί στατιστικός έλεγχος T test μεταξύ των μετρήσεων χωρίς παρουσία λίπους και υπό την παρουσία του τόσο σε narrow fat position , όσο και σε wide fat position.

Τα αποτελέσματα για την θέση που το χοιρινό λίπος τοποθετήθηκε έτσι ώστε να καλύπτει 2x2 εκατοστά την περιοχή της σπονδυλικής στήλης του phantom, wide fat position, ευρέθησαν όπως φαίνονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα Wide Fat position

	wide fat position				
	AREA	BMC	BMD	T score	Z score
M.O	53.54	52.882	0.988	-0.54	-0.46
SD	0.397	0.4227	0.009	0.09	0.08
CV	0.007	0.008	0.009	0.09	-0.1833

Τέλος τα αποτελέσματα για την θέση που το χοιρινό λίπος τοποθετήθηκε έτσι ώστε να καλύπτει ακριβώς την περιοχή της σπονδυλικής στήλης του phantom, narrow fat position, ευρέθησαν όπως φαίνονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα Narrow Fat position

	AREA	BMC	BMD	T score	Z score
M.O	51.42	47.61	0.926	-1.11	-1.03
SD	0.285	0.347	0.008	0.0568	0.0823
CV	0.006	0.007	0.008	-0.051	-0.08

4.2 Ερμηνεία αποτελεσμάτων και έλεγχος υποθέσεων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τον παράγοντα ανομοιογένειας έδειξαν πως η μέση BMD που μετρήθηκε με την θέση “wide fat position” είναι 0,988 ενώ με την θέση “narrow fat position” 0,926. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ξανά έλεγχος υποθέσεων

για την για την εκτίμηση της στατιστικής σημασίας της διαφοράς μεταξύ των μέσων των δύο δειγμάτων ανομοιογένειας όσον αφορά τις BMD τους.

Η σύγκριση σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ανέδειξε πως υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά διότι ο δείκτης P-value υπολογίστηκε να είναι 0. Επίσης διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε το χοιρινό λίπος ως παράγοντας ανομοιογένειας και στην περίπτωση που δεν υπήρξε χρήση του. Ο έλεγχος t student test μεταξύ του wide fat position και της μέτρησης του phantom στο ύδωρ σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, ανέδειξε δείκτη p value= 0.002 αναδεικνύοντας σημαντική στατιστική διαφορά, ενώ ο έλεγχος του narrow fat position με την μέτρηση σε ύδωρ ανέδειξε p-value=0.775 χωρίς να αναδείξει σημαντική στατιστική διαφορά.

4.3 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με κύριο στόχο να ερευνηθεί εάν τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την εξέταση σπονδυλικής στήλης (Lumbar Spine), μέσω της απορροφησιομετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας, μπορούν να επηρεαστούν από τις διαφορετικές συνθήκες που επιδρούν στο αντικείμενο μέτρησης.

Η ολοκλήρωση των μετρήσεων στις συνθήκες που συνηθίζεται να εκτελείται η εξέταση, δηλαδή υπό την επίδραση μόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, αποτέλεσε το σημείο αναφοράς του συγκεκριμένου πειράματος. Η επιλογή αυτή συνέβη διότι υπό αυτές τις συνθήκες εκτελείται και η εξέταση DXA όταν υπάρχει ένας πραγματικός ασθενής. Ο στατιστικός έλεγχος που πραγματοποιήθηκε με τον παράγοντα ανομοιογένειας (χοιρινό λίπος), σε σχέση με την συνθήκη αναφοράς ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Γενικά, όλες η μέθοδος απορροφησιομετρίας ακτίνων X διπλής ενέργειας έχουν υψηλή ειδικότητα αλλά χαμηλή ευαισθησία. Η ευαισθησία ποικίλει ανάλογα με την τιμή που επιλέγουμε να θέσουμε ως το όριο εκείνο πέραν του οποίου θα ορίζεται η περιοχή του υψηλού κινδύνου. Πολλές προοπτικές μελέτες κάθετης διατομής του πληθυσμού δείχνουν πως ο κίνδυνος κατάγματος αυξάνει περίπου 1,5 με 3 φορές για κάθε πτώση της BMD κατά μία μονάδα σταθερής απόκλισης (SD).

Η δυνατότητα της BMD να προβλέψει ένα κάταγμα είναι συγκρίσιμη με αυτή της αρτηριακής πίεσης στην πρόβλεψη ενός αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου και αρκετά καλύτερη από αυτή των επιπέδων της χοληστερόλης στην πρόβλεψη του οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου. Η ακρίβεια πρόβλεψης βελτιώνεται μετρώντας απευθείας

την BMD σε συγκεκριμένες περιοχές ιδιαίτερου κλινικού ενδιαφέροντος όπως π.χ. η μέτρηση της BMD στο ισχίο προβλέπει ακριβέστερα ένα μελλοντικό κάταγμα ισχίου. Στον άμεσα μετεμνηνοπαυσιακό πληθυσμό, μετρήσεις σε οποιοδήποτε σημείο του σκελετού (ισχίο, σπονδυλική στήλη, πηχεοκαρπική άρθρωση) μπορεί να προβλέψει εξίσου καλά οποιοδήποτε κάταγμα χαμηλής ενέργειας, αυξάνοντας 1,5 φορά τον καταγματικό κίνδυνο για κάθε πτώση της BMD κατά 1 μονάδα τυπικής απόκλισης.

Η παρούσα μελέτη λοιπόν ανέδειξε, ενισχύοντας και προηγούμενες έρευνες, ότι ανομοιογένειες λίπους που μπορεί να υπάρχουν στο σώμα του ασθενούς είναι δυνατόν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα BMD της εξέτασης. Κατά την καθημερινή ρουτίνα εξετάσεων είναι σύνηθες να παρουσιάζονται ασθενής με λιποίδημα.

Το λιποίδημα είναι μια νοσογόνος κατάσταση αφορά σχεδόν αποκλειστικά το γυναικείο φύλο, και ορίζεται ως η ασύμμετρη κατανομή και εντοπισμένη συσσώρευση υπερβολικού λίπους στα κάτω άκρα του σώματος, κυρίως στους γλουτούς, τους μηρούς και τις γάμπες. Συνήθως δεν ανταποκρίνεται στις παραδοσιακές μεθόδους απώλειας βάρους και επιδεινώνεται με την ηλικία. Εκτός από την αισθητική διαταραχή με ανομοιογενείς διογκώσεις λίπους στα κάτω άκρα, οι γυναίκες περιγράφουν επίσης οίδημα και πόνο στα κάτω άκρα, ιδιαίτερα κατά την πίεση, καθώς και εύκολους μώλωπες. Δεν είναι συνήθης διαταραχή, αλλά αφορά περίπου το 11% του γυναικείου πληθυσμού (1 στις 9 γυναίκες) με τυπική έναρξη κατά την εφηβεία, την εγκυμοσύνη ή την εμμηνόπαυση είτε μετά από γυναικολογικές επεμβάσεις.

Επίσης, ασθενείς που λαμβάνουν συγκεκριμένα σχήματα φαρμακευτικών αγωγών, όπως οι αντιρετροϊκές αγωγές, έχει παρατηρηθεί πως είναι δυνατόν να παρουσιάσουν έντονες ανομοιογένειες στην κατανομή του λιπώδους ιστούς τους.

Αυτή η έρευνα έχει μεγαλύτερο και αμεσότερο αντίκρισμα σε αυτές τις περιπτώσεις ασθενών, στους οποίους για την καλύτερη και άρτια εξέταση τους είναι προτιμότερο να εκτελείται η εξέταση σε παραπάνω από ένα αντιπροσωπευτικά σημεία (σπονδυλική στήλη, μη επικρατές ισχίο, πηχαιοκαρπική άρθρωση).

Αυτή η πρακτική είναι αρτιότερο να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την εξέταση που προσδιορίζει την σύσταση της μάζας του σώματος τους, που συχνά αναφέρεται ως whole body test, προκειμένου να προσδιορίζεται η κατανομή του λιπώδους ιστού (Fat Mass) αλλά και του μη λιπώδους ιστού (Lean Body Mass) του σώματος τους.

4.4 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η παρούσα έρευνα η οποία πραγματοποιείται μόνο στο συγκεκριμένο μοντέλο DXA Hologic Discovery QDR Series, θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλα είδη μοντέλων, διότι έχουν βρεθεί στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα διαφορετικά μοντέλα μηχανημάτων DXA.

Ενδιαφέρον επίσης θα ήταν, να ερευνηθούν η αξιοπιστία και η επαναληψιμότητα της εξέτασης σε συνθήκες in vivo και πιο συγκεκριμένα σε ομάδες ασθενών που παρουσιάζουν ανομοιογένειες στην κατανομή του λιπώδους ιστού τους. Αυτό θα προϋπέθετε την συναίνεση των ασθενών στην διαδικασία της μελέτης, στην χρήση των προσωπικών τους στοιχείων και των βιομετρικών τους χαρακτηριστικών.

Τέλος, θα ήταν ενδιαφέρον και χρήσιμο, μια μελλοντική έρευνα να εστιάζει και σε άλλους παράγοντες ανομοιογένειας εκτός του λίπους. Ένας τέτοιος παράγοντας θα μπορούσε να είναι το κολλαγόνο, το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο των οστών του ανθρώπου, καθώς στο σώμα μας υπάρχουν 28 διαφορετικά είδη κολλαγόνου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνικές

Ζαφειρόπουλος, Β. (2015). *Μέτρηση της Σύνστασης του Ανθρώπινου Σώματος*. Κάλλιπος, Ανοιχτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Ξενόγλωσσες

Bentzur, K. M., Kravitz, L., & Lockner, D. W. (2008). Evaluation of the BOD POD for estimating percent body fat in collegiate track and field female athletes: a comparison of four methods. *Journal of strength and conditioning research*, 22(6), 1985–1991.

Blake, G. M., & Fogelman, I. (1997). Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. *Seminars in nuclear medicine*, 27(3), 210–228.

Choi K. M. (2016). Sarcopenia and sarcopenic obesity. *The Korean journal of internal medicine*, 31(6), 1054–1060.

Cooper C., Woolf A. (2009). *Osteoporosis*. Best Practice & Research Compendium.

Czartoryski, P. ., Garcia, J. ., Manimaleth, R. ., Napolitano, P. ., Watters, H. ., Weber, C., Alvarez-Beaton, A. ., C. Nieto, A. ., Patel, A. ., Peacock, C. ., Banks, J., Tartar, J., & Antonio, J. . (2021). Body Composition Assessment: A Comparison of the DXA, InBody 270, and Omron. *Journal of Exercise and Nutrition*, 3(1).

Deng, H. W., Xu, F. H., Davies, K. M., Heaney, R., & Recker, R. R. (2002). Differences in bone mineral density, bone mineral content, and bone areal size in fracturing and non-fracturing women, and their interrelationships at the spine and hip. *Journal of bone and mineral metabolism*, 20(6), 358–366.

Gyamfi, D., Ofori, O., Owusu, A, S., (2019). The Molecular Nutrition of Fats, *Academic Press,2019* ,P 201-212,

Heymsfield, S. B., Lichtman, S., Baumgartner, R. N., Wang, J., Kamen, Y., Aliprantis, A., & Pierson, R. N., Jr (1990). Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *The American journal of clinical nutrition*, 52(1), 52–58.

Heymsfield, S. B., Wang, Z., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (1997). Human body composition: advances in models and methods. *Annual review of nutrition*, 17, 527–558.

- Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment* (No. Ed. 2). Human Kinetics.
- Kiebzak, G.M., Leamy, L.J., Pierson, L.M., Nord, R.H. and Zhang, ZY., 2000. Measurement precision of body composition variables using the lunar DPX-L densitometer. *Journal of Clinical Densitometry*, 3(1), pp. 35-41
- Kim, T. N., Park, M. S., Lee, E. J., Chung, H. S., Yoo, H. J., Kang, H. J., Song, W., Baik, S. H., & Choi, K. M. (2017). Comparisons of three different methods for defining sarcopenia: An aspect of cardiometabolic risk. *Scientific reports*, 7(1), 6491.
- Krappinger, D., Kammerlander, C., Hak, D. J., & Blauth, M. (2010). Low-energy osteoporotic pelvic fractures. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 130(9), 1167–1175.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M., Pichard, C., & Composition of the ESPEN Working Group (2004). Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(5), 1226–1243.
- Lane N. E. (2006). Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *American journal of obstetrics and gynecology*, 194(2 Suppl), S3–S11.
- Lane, J. M., Russell, L., & Khan, S. N. (2000). Osteoporosis. *Clinical orthopaedics and related research*, (372), 139–150.
- Laskey M. A. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 12(1), 45–51.
- Lohman, T.G. and Chen, Z., 2005. Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. In: S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z.M. Wang and S.B. Going, eds. 2005. *Human Body Composition*. 2nd ed. Champaign, IL: Human kinetics. pp. 63-77.
- Lukaski, H. C., Hall, C. B., Marchello, M. J., & Siders, W. A. (2001). Validation of dual x-ray absorptiometry for body-composition assessment of rats exposed to dietary stressors. *Nutrition*, 17(7-8), 607-613.
- Messina, C., Albano, D., Gitto, S., Tofanelli, L., Bazzocchi, A., Olivieri, F. M., Guglielmi, G., & Sconfienza, L. M. (2020). Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quantitative imaging in medicine and surgery*, 10(8), 1687–1698.
- Oliveros, E., Somers, V. K., Sochor, O., Goel, K., & Lopez-Jimenez, F. (2014). The concept of normal weight obesity. *Progress in cardiovascular diseases*, 56(4), 426–433.

- Piché, M. E., Tchernof, A., & Després, J. P. (2020). Obesity Phenotypes, Diabetes, and Cardiovascular Diseases. *Circulation research*, *126*(11), 1477–1500.
- Rothman K. J. (2008). BMI-related errors in the measurement of obesity. *International journal of obesity (2005)*, *32* Suppl 3, S56–S59.
- Sergi, G., De Rui, M., Stubbs, B., Veronese, N., & Manzato, E. (2017). Measurement of lean body mass using bioelectrical impedance analysis: a consideration of the pros and cons. *Aging clinical and experimental research*, *29*(4), 591–597.
- Shepherd, J. A., Ng, B. K., Sommer, M. J., & Heymsfield, S. B. (2017). Body composition by DXA. *Bone*, *104*, 101–105.
- Tothill, P., Weir, N., & Loveland, J. (2014). Errors in dual-energy X-ray scanning of the hip because of nonuniform fat distribution. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, *17*(1), 91–96.
- Wang, Z. M., Pierson, R. N., Jr, & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American journal of clinical nutrition*, *56*(1), 19–28.
- Weir, C. B., & Jan, A. (2021). BMI Classification Percentile And Cut Off Points [Internet]. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*.
- Witkowska, E., Szczepaniak, K., & Biziuk, M.K. (2005). Some applications of neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, *265*, 141-150.
- Park, S. S., Lim, S., Kim, H., & Kim, K. M. (2021). Comparison of Two DXA Systems, Hologic Horizon W and GE Lunar Prodigy, for Assessing Body Composition in Healthy Korean Adults. *Endocrinology and metabolism (Seoul, Korea)*, *36*(6), 1219–1231.