



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σχεδίαση και υλοποίηση σοβαρού παιχνιδιού για την εκπαίδευση παιδιών με Σακχαρώδη Διαβήτη τύπου 1

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Ν. ΤΣΕΚΟΥΡΑ

Επιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σχεδίαση και υλοποίηση σοβαρού παιχνιδιού για την εκπαίδευση παιδιών με Σακχαρώδη Διαβήτη τύπου 1

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Ν. ΤΣΕΚΟΥΡΑ

Επιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21 Οκτωβρίου, 2016.

.....

Κωνσταντίνα Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....

Γεώργιος Στάμου

Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Ανδρέας-Γεώργιος Σταφυλοπάτης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

.....

Διονύσιος Ν. Τσεκουράς

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright Διονύσιος Ν. Τσεκουράς

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης (ΣΔ) αποτελεί χρόνια ασθένεια διαταραχής του μεταβολισμού και χαρακτηρίζεται από την μειωμένη έκκριση (ΣΔ τύπου 1 – ΣΔΤ1) και/ή την ανεπαρκή δράση (ΣΔ τύπου 2 – ΣΔΤ2, ΣΔ κύησης - ΣΔΚ) της ινσουλίνης, ορμόνης που συμμετέχει στον μεταβολισμό της γλυκόζης. Η τρέχουσα αντιμετώπιση του ΣΔΤ1 συνίσταται στη μέτρηση της γλυκόζης πριν από την λήψη γεύματος, τον ύπνο ή τη φυσική άσκηση καθώς και στην εξωγενή χορήγηση ινσουλίνης. Ο ΣΔΤ1 εμφανίζεται συνήθως στην παιδική ή εφηβική ηλικία και η έγκαιρη εκπαίδευση των νεαρών ασθενών θεωρείται καθοριστική προκειμένου να επιτυγχάνεται ορθή διαχείριση της ασθένειας.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη σοβαρού παιχνιδιού με στόχο την εκπαίδευση και τη συμμόρφωση παιδιών με ΣΔΤ1. Καθορίστηκε πρωτότυπο εννοιολογικό πλαίσιο ώστε οι χρήστες, μέσω της ενασχόλησής τους με το σοβαρό παιχνίδι, να κατανοούν και να αποδέχονται την ασθένειά τους, να αντιλαμβάνονται τα οφέλη του ορθού γλυκαιμικού ελέγχου και να εξοικειώνονται με τη διαδικασία διαχείρισης της νόσου. Η εξαιρετικά σημαντική πρόκληση της συνύπαρξης ισχυρού επιστημονικού υπόβαθρου και ελκυστικότητας αντιμετωπίστηκε μέσω της δημιουργίας τριών διαφορετικών επιπέδων: (i) προσομοίωση ημέρας, όπου ο χρήστης καλείται να πάρει αποφάσεις ως προς τον τρόπο ζωής ενός βασικού χαρακτήρα του σοβαρού παιχνιδιού (διατροφή, φυσική άσκηση), τις χρονικές στιγμές που θα λάβει μέτρηση γλυκόζης και δόσεις ινσουλίνης καθώς και τις τιμές χορηγούμενης ινσουλίνης, (ii) δράσης, όπου ανάλογα με το βαθμό επίτευξης γλυκαιμικού ελέγχου κατά το σενάριο της ημέρας, ο βασικός χαρακτήρας επιβραβεύεται μέσω της μεταφοράς του σε έναν φανταστικό κόσμο με ιδιαίτερες ικανότητες, και (iii) ανασκόπησης, όπου παρουσιάζονται οι λανθασμένες αποφάσεις που ελήφθησαν κατά το σενάριο της ημέρας. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε κυρίως στην υλοποίηση του επιπέδου προσομοίωσης της ημέρας, το οποίο αποτελεί το εκπαιδευτικό τμήμα του σοβαρού παιχνιδιού και περιλαμβάνει προσομοίωση της καθημερινότητας. Ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα επιλογών τροφών με διαφορετικές ποσότητες υδατανθράκων, τη δυνατότητα χορήγησης ινσουλίνης (bolus/basal), το στοιχείο της φυσικής άσκησης καθώς και τη δυνατότητα μέτρησης της γλυκόζης. Με μεγάλο βαθμό καινοτομίας, η συμπεριφορά του μεταβολισμού γλυκόζης-ινσουλίνης του βασικού χαρακτήρα προσομοιώνεται από τον προσομοιωτή UVa/Padova T1DM (έκδοση S2008), που έχει λάβει έγκριση από τον αμερικανικό φορέα Food & Drug Administration (FDA) ως υπολογιστικό μοντέλο υποκατάστασης προκλινικών δοκιμών σε ζώα για την αξιολόγηση αλγορίθμων ελέγχου γλυκόζης. Η υλοποίηση του σοβαρού παιχνιδιού πραγματοποιήθηκε εξολοκλήρου με τη χρήση του περιβάλλοντος δημιουργίας διδιάστατων παιχνιδιών GameMaker: Studio.

Λέξεις κλειδιά:

Σακχαρώδης Διαβήτης τύπου 1, Σοβαρά Παιχνίδια, Γλυκόζη, Ινσουλίνη, Φυσική Άσκηση

Abstract

Diabetes Mellitus (DM) is a chronic metabolic disorder characterized by reduced secretion (Type 1 DM - T1DM) and/or deficiency (Type 2 DM –T2DM, gestational diabetes - GDM) of insulin, which is a hormone that participates in the glucose metabolism. Current treatment approaches to T1DM involve regular measurements of blood glucose before meal ingestions, sleep or physical activity and external insulin administration. T1DM is usually diagnosed in children and adolescents while early education of the young patients is considered essential for achieving proper management of the disease.

The objective of the present diploma thesis is the design and development of a serious game with the ultimate goal to educate and support compliance of children with T1DM. An innovative conceptual framework has been specified in order to drive the users towards understanding and accepting their disease, realizing the benefits of achieving optimal glycemic control and getting familiar with the process of managing T1DM. The important challenge of combining an accurate scientific background on glucose-insulin metabolism with attractiveness has been addressed through the creation of three different levels: (i) simulation of daily habits, where the user receives decisions regarding the main character's lifestyle (e.g. diet, physical activity), time of glucose measurements and insulin injections, along with the amount of the administered insulin, (ii) action-based, where depending on the level of achieving glycemic control during the daily habits simulation scenario the main character is rewarded by being transferred to an imaginary world with special skills, and (iii) review, where the user is presented with his wrong decisions. This diploma thesis is mainly focused on the implementation of the simulation of daily habits level, which is the educative part of the serious game involving a simulation of the reality. A wide range of food choices with different amounts of carbohydrates is incorporated, along with the ability to administer insulin(bolus/basal), to choose physical activities and to measure plasma glucose. This is the first work proposing the use of the UVa/Padova T1DM Simulator (version S2008), which has received Food & Drugs Administration (FDA) approval as a substitute of preclinical trials in animals, in order to simulate the main character's glucose-insulin metabolism. The serious game has been implemented in GameMaker: Studio, a 2-d game creation system.

Keywords:

Type 1 Diabetes Mellitus, Serious Games, Glucose, Insulin, Physical Activity

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην καθηγήτριά μου κα. Κωνσταντίνα Νικήτα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο σημαντικό, καινοτόμο και ενδιαφέρον ερευνητικό θέμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την διδάκτορα κα. Κωνσταντία Ζαρκογιάννη καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες κ. Κωνσταντίνο Μήτση και κα. Μαρία Αθανασίου για τις συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους κατά την εκπόνηση της εργασίας καθώς επίσης και για το ευχάριστο εργασιακό περιβάλλον που μου παρείχαν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τις αδελφές μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή τους σε κάθε μου βήμα.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Νησίδια του Langerhans	1
Εικόνα 2 Πάγκρεας και νησίδια Langerhans.....	2
Εικόνα 3 Φυσιολογική λειτουργία γλυκαγόνης και ινσουλίνης	3
Εικόνα 4 Συγκέντρωση γλυκόζης σε υγιές άτομο (επάνω) και σε άτομο με ΣΔ (κάτω)	4
Εικόνα 5 Όργανα στα οποία μπορεί να επιφέρει επιπλοκές ο ΣΔ.....	7
Εικόνα 6 Τιμές εξετάσεων σύμφωνα με American Diabetes Association	10
Εικόνα 7 Πλήθος ατόμων σε ΣΔ στον κόσμο.....	11
Εικόνα 8 Ποσοστό θανάτων λόγω του ΣΔ σε άτομα κάτω των 60 ετών.....	12
Εικόνα 9 Θάνατοι λόγω ΣΔ, AIDS, φυματίωσης και μαλάριας για το έτος 2015.....	12
Εικόνα 10 Ποσοστών θανάτων λόγω ΣΔ ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για διάφορα οικονομικά στρώματα	13
Εικόνα 11 Χώρες στις οποίες υπάρχει έλεγχος risk factors για τον ΣΔ.....	14
Εικόνα 12 Ποσοστό δαπανών για τον ΣΔ.....	15
Εικόνα 13 Ποσό που δαπανήθηκε για τον ΣΔ το 2015 ανά χώρα	15
Εικόνα 14 Τέσσερις γενεές συμβατικών μετρητών γλυκόζης.....	17
Εικόνα 15 Χρήση συμβατικού μετρητή γλυκόζης.....	17
Εικόνα 16 Αισθητήρας γλυκόζης Gluco Wise.....	18
Εικόνα 17 Αισθητήρας γλυκόζης Gluco Watch	19
Εικόνα 18 Επεμβατικός αισθητήρας γλυκόζης από την Dexcom	19
Εικόνα 19 Διάφορα συλό ινσουλίνης	20
Εικόνα 20 Συνδυασμός ΔΣΜΓ με αντλία έγχυσης ινσουλίνης από την Medtronic	21
Εικόνα 21 Τρεις διαφορετικοί τρόποι έγχυσης ινσουλίνης. Από αριστερά προς τα δεξιά: συλό ινσουλίνης, έγχυση σε μορφή πίδακα υψηλής πίεσης και αντλία έγχυσης.....	21
Εικόνα 22 Σχηματικό διάγραμμα τεχνητού παγκρέατος	22
Εικόνα 23 Σύνθεση H [∞] προβλήματος	24

Εικόνα 24 Σχέση παιχνιδιών, παιχνιδοποίησης και σοβαρών παιχνιδιών	25
Εικόνα 25 Θεωρητικό μοντέλο στόχων Packy & Marlon	29
Εικόνα 26 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), ένδειξη υψηλής γλυκόζης (πάνω δεξιά), μηχανισμός μέτρησης γλυκόζης (κάτω αριστερά), μηχανισμός χορήγησης ινσουλίνης (κάτω δεξιά).....	29
Εικόνα 27 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), επιλογή τροφής (πάνω δεξιά), μηχανισμός φυσικής άσκησης (κάτω αριστερά), ένδειξη υψηλής γλυκόζης (κάτω δεξιά)	30
Εικόνα 28 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), μενού επιλογών (πάνω δεξιά), προσθήκη νέας εγγραφής (κάτω αριστερά), ημερολόγιο μετρήσεων (κάτω δεξιά).....	31
Εικόνα 29 Καρτέλα ασθενούς (πάνω αριστερά), μενού εξετάσεων (πάνω δεξιά), ερώτηση εξέτασης (κάτω αριστερά), συνταγογράφηση (κάτω δεξιά)	32
Εικόνα 30 Εννοιολογικό πλαίσιο σοβαρού παιχνιδιού	36
Εικόνα 31 Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του προσομοιωτή UVa/Padova T1DM	39
Εικόνα 32 Υποσύστημα γλυκόζης	40
Εικόνα 33 Υποσύστημα ινσουλίνης	41
Εικόνα 34 Σημασία συντελεστών της μεθόδου Runge Kutta 4ης τάξης.....	46
Εικόνα 35 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 1»	49
Εικόνα 36 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 5»	50
Εικόνα 37 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 10»	50
Εικόνα 38 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 1»	51
Εικόνα 39 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 5»	51
Εικόνα 40 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 10»	52
Εικόνα 41 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 1».....	52
Εικόνα 42 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 2».....	53
Εικόνα 43 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 5».....	53
Εικόνα 44 Αρχική οθόνη παιχνιδιού	55
Εικόνα 45 Επίπεδο προσομοίωσης - ημέρας.....	55
Εικόνα 46 Μενού περιπτέρου	56

Εικόνα 47 Μενού παύσης	57
Εικόνα 48 Μηχανισμός μέτρησης γλυκόζης	57
Εικόνα 49 Μηχανισμός χορήγησης ινσουλίνης	58
Εικόνα 50 Μηχανισμός σακιδίου για αποθήκευση τροφών	58
Εικόνα 51 Σχολείο	59
Εικόνα 52 Επιλογή δραστηριότητας για το διάλλειμα του σχολείου	59
Εικόνα 53 Επιλογή απογευματινής δραστηριότητας	60
Εικόνα 54 Επεξήγηση μηχανισμού τηλεμεταφοράς κατά την εκκίνηση του επιπέδου δράσης.	61
Εικόνα 55 Επεξήγηση μηχανισμού διπλού άλματος κατά την εκκίνηση του επιπέδου δράσης	61
Εικόνα 56 Επίπεδο δράσης	62

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Δείκτες μεταξύ των δύο προσομοιωτών	54
---	----

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Σακχαρώδης Διαβήτης	1
1.1: Ομοίωση Γλυκόζης.....	1
1.1.1: Ινσουλίνη.....	2
1.1.2: Γλυκαγόνη	3
1.2: Τύποι-Επιπλοκές	4
1.2.1: Τύποι	4
1.2.2: Επιπλοκές	6
1.3: Διάγνωση.....	9
1.4: Στατιστικά – Επιδημιολογικά στοιχεία	10
1.5: Γλυκαιμικός Έλεγχος	16
1.5.1: Διατάξεις Μέτρησης Γλυκόζης.....	16
1.5.2: Μέθοδοι εξωγενούς χορήγησης ινσουλίνης	20
1.5.3: Τεχνητό Πάγκρεας.....	22
Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία σοβαρών παιχνιδιών	25
2.1: Ορισμός, σκοπός και τομείς εφαρμογής	25
2.2: Εφαρμογές στον τομέα της υγείας	26
2.3: Εφαρμογές στον Σακχαρώδη Διαβήτη.....	28
2.4: Ερευνητικές Προκλήσεις.....	33
Κεφάλαιο 3: Υλοποίηση σοβαρού παιχνιδιού για την εκπαίδευση παιδιών με ΣΔΤ1	35
3.2: Εννοιολογικό Πλαίσιο - Conceptual framework	35
3.3: Επίπεδο προσομοίωσης/ημέρα.....	37
3.4: UVa/Padova T1DM Simulator	38
3.4.1: Εξισώσεις μοντέλου	39
3.4.2: Υλοποίηση του μοντέλου στο σοβαρό παιχνίδι	44
3.5: Επίπεδο δράσης.....	46
3.6: Επίπεδο ανασκόπησης.....	47
3.7: Αναμενόμενα οφέλη	47
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα	49
4.1: Αξιολόγηση του υλοποιημένου προσομοιωτή στο GameMaker: Studio	49
4.2: Διεπιφάνειες επαφής με τον χρήστη.....	54

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα.....	63
5.1: Συμπεράσματα.....	63
5.2: Μελλοντική έρευνα.....	64
Βιβλιογραφία	67

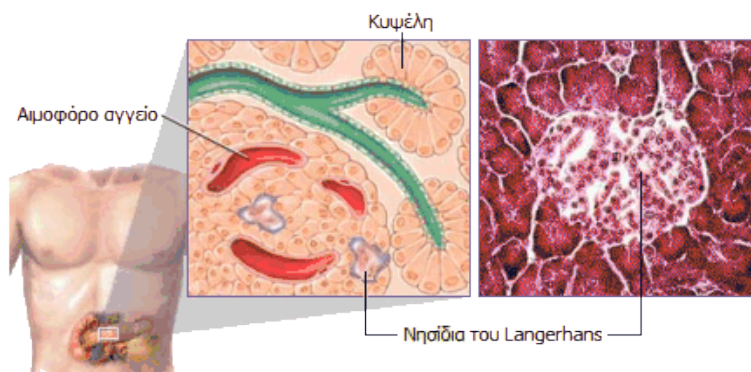
Κεφάλαιο 1: Σακχαρώδης Διαβήτης

Η γλυκόζη αποτελεί την σημαντικότερη πηγή ενέργειας για τα κύτταρα του ανθρώπινου και όχι μόνο οργανισμού. Είναι επίσης το μοναδικό θρεπτικό συστατικό που χρησιμοποιείται υπό φυσιολογικές συνθήκες από τα εγκεφαλικά κύτταρα και το κεντρικό νευρικό σύστημα [1]. Αποτελεί συστατικό των τροφών που λαμβάνουμε καθημερινά και περνάει στο αίμα μετά την διάσπασή του στο έντερο. Εναλλακτική πηγή γλυκόζης είναι η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης, κατά την οποία το αποθηκευμένο γλυκογόνο στο ήπαρ και τους μυϊκούς ιστούς διασπάται σε γλυκόζη. Στην συνέχεια με την βοήθεια της πεπτιδικής ορμόνης ινσουλίνης, η γλυκόζη εισέρχεται στα κύτταρα όπου χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Η ασθένεια που σχετίζεται με την μειωμένη δράση ή/και παραγωγή ινσουλίνης ονομάζεται Σακχαρώδης Διαβήτης. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία μεταβολισμού της γλυκόζης, η παθοφυσιολογία του σακχαρώδους διαβήτη καθώς και τις επιπλοκές τις οποίες μπορεί να προκαλέσει. Επίσης παρουσιάζονται μέθοδοι διάγνωσης και στατιστικά στοιχεία για την ασθένεια. Τέλος παρουσιάζονται οι τεχνολογικές λύσεις που συμβάλλουν στον έλεγχο της συγκέντρωσης της γλυκόζης.

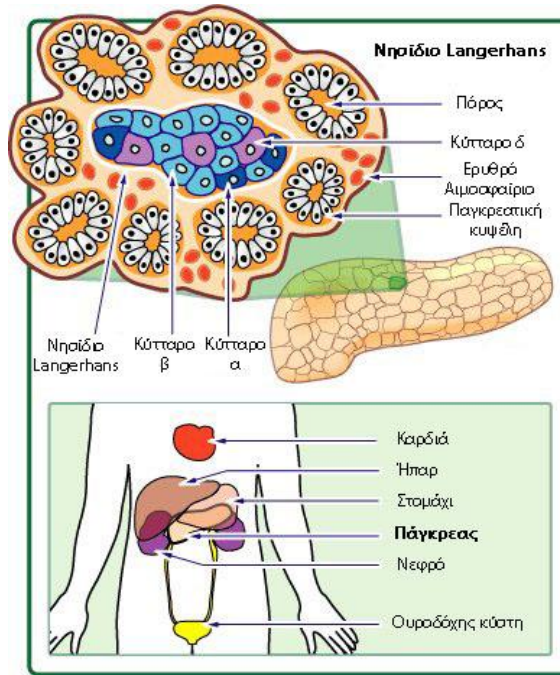
1.1 : Ομοιόσταση Γλυκόζης

Ομοιόσταση ονομάζεται η διατήρηση ενός σταθερού περιβάλλοντος στο εσωτερικό ενός οργανισμού. Ο ανθρώπινος οργανισμός προσπαθεί να κρατάει το επίπεδο γλυκόζης των κυττάρων και κατ' επέκταση του αίματος σταθερό. Αν υπάρχει κάποια χρονική στιγμή περίσσεια γλυκόζης, αυτή αποθηκεύεται στο ήπαρ και στους μύες με την μορφή γλυκογόνου το οποίο είναι πολυσακχαρίτης που αποτελείται από γλυκόζη.

Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν υπάρχει έλλειψη γλυκόζης, ο οργανισμός χρησιμοποιεί την αποθηκευμένη, σε μορφή γλυκογόνου, γλυκόζη και διεγείρει το άτομο να καταναλώσει τροφή. Η παρακολούθηση των επιπέδων της γλυκόζης γίνεται από τις νήσους Langerhans που βρίσκονται στο πάγκρεας. Για την επίτευξη του ελέγχου της ομοιόστασης της γλυκόζης, το πάγκρεας χρησιμοποιεί δύο ορμόνες με αντίθετη δράση. Οι δύο αυτές ορμόνες είναι η ινσουλίνη, η οποία παράγεται από τα β-κύτταρα του παγκρέατος, και η γλυκαγόνη που παράγεται από τα α-κύτταρα. Η δράση των δύο αυτών ορμονών παρουσιάζεται στην συνέχεια.



Εικόνα 1 Νησίδα του Langerhans



Εικόνα 2 Πάγκρεας και νησίδια Langerhans

1.1.1: Ινσουλίνη

Η ινσουλίνη παράγεται από τα β-κύτταρα των παγκρεατικών νησίδων, στην ενδοκρινή μοίρα του παγκρέατος και παίζει πρωτεύοντα ρόλο στον μεταβολισμό των υδατανθράκων ενός οργανισμού. Είναι μία πρωτεΐνη που αποτελείται από δύο πολυπεπτιδικές αλυσίδες με 51 αμινοξέα. Η ινσουλίνη είναι απαραίτητη σχεδόν για όλα τα κύτταρα του οργανισμού, αλλά οι βασικοί της στόχοι είναι τα κύτταρα του ήπατος, των μυών και τα λιπώδη κύτταρα. Ο κύριος σκοπός της είναι η απομάκρυνση της γλυκόζης από το κυκλοφορικό σύστημα. Ο τρόπος που δρα είναι ο εξής [2]:

- 1) Βοηθά τα μυϊκά, λιπώδη και ηπατικά κύτταρα να απορροφήσουν γλυκόζη από το κυκλοφορικό σύστημα, μειώνοντας έτσι το επίπεδο της γλυκόζης.
- 2) Διεγείρει τους ηπατικούς και μυϊκούς ιστούς να αποθηκεύσουν την πλεονάζουσα γλυκόζη σε μορφή γλυκογόνου.
- 3) Τέλος χαμηλώνει το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα μειώνοντας την παραγωγή γλυκόζης στο ήπαρ.

Σε έναν υγιή άνθρωπο οι παραπάνω ενέργειες είναι αρκετές για να διατηρήσουν τη γλυκόζη σε κανονικό επίπεδο. Η ινσουλίνη εκκρίνεται όταν παρατηρηθούν υψηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα μετά από γεύματα και πιο συγκεκριμένα όταν η συγκέντρωση της γλυκόζης είναι μεγαλύτερη από 3.3 mmol/lit. Αν η γλυκόζη παραμείνει σε υψηλά επίπεδα τότε συνεχίζεται και η έκκριση ινσουλίνης. Τέλος να σημειωθεί ότι παρόλο που η γλυκόζη είναι το βασικό ερέθισμα για την έκκριση ινσουλίνης, υπάρχουν άλλοι παράγοντες την προκαλούν όπως οι GLP-1 και GIP που εκκρίνονται από το έντερο κατά την διάρκεια του γεύματος.

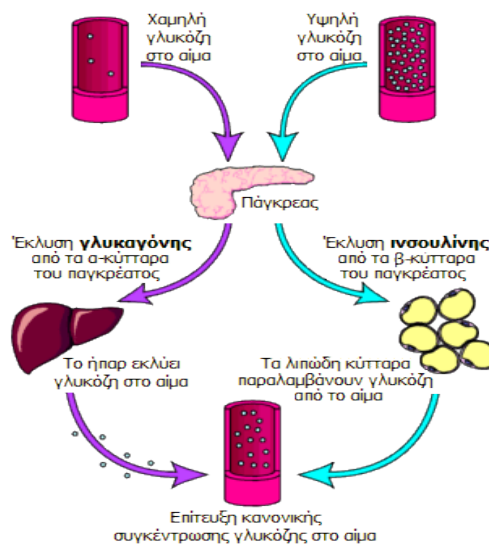
1.1.2: Γλυκαγόνη

Η γλυκαγόνη παράγεται από τα α-κύτταρα των παγκρεατικών νησίδων και αποτελείται από 29 αμινοξέα. Δρα στα ίδια κύτταρα με την γλυκόζη αλλά έχει αντίθετη δράση. Παίζει ενεργό ρόλο στο να επιτρέπει στο σώμα να ελέγχει την εκμετάλλευση της γλυκόζης και των λιπών. Εκκρίνεται όταν το επίπεδο γλυκόζης στο κυκλοφορικό σύστημα είναι χαμηλό όπως σε περιόδους νηστείας και κατά την διάρκεια καταστάσεων που ο οργανισμός χρειάζεται επιπλέον γλυκόζη όπως παραδείγματος χάριν κατά την διάρκεια φυσικής άσκησης. Η έκκριση της γλυκαγόνης [3]:

- 1) Διεγείρει το ήπαρ να διασπάσει γλυκογόνο το οποίο θα ελευθερωθεί το αίμα ως γλυκόζη.
- 2) Ενεργοποιεί την διαδικασία της γλυκονογένεσης, δηλαδή της μετατροπής αμινοξέων σε γλυκόζη.
- 3) Διασπάει αποθηκευμένα, σε μορφή λίπους, τριγλυκερίδια σε λιπαρά οξέα για να χρησιμοποιηθούν ως «καύσιμο» από τα κύτταρα.

Η γλυκαγόνη δηλαδή αυξάνει το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα αντίθετα με την ινσουλίνη που το χαμηλώνει.

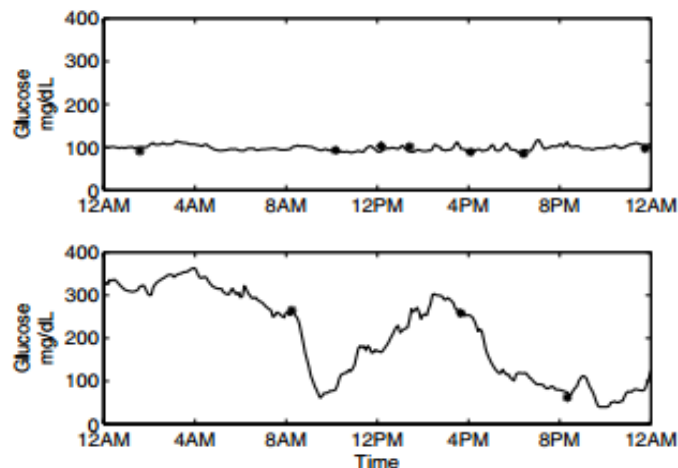
Καθημερινό παράδειγμα αυτού του μηχανισμού είναι ότι κατά την διάρκεια γεύματος το πάγκρεας παράγει ινσουλίνη για να μεταφερθούν τα αμινοξέα και η γλυκόζη στα κύτταρα ενώ παύει την έκκριση γλυκαγόνης. Όταν η γλυκόζη στο αίμα έρθει ξανά σε φυσιολογικά επίπεδα σταματάει και η έκκριση ινσουλίνης. Στην συνέχεια μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα από την λήψη τροφής, δηλαδή σε περίοδο νηστείας, η γλυκόζη στο αίμα θα έχει μειωθεί αισθητά οπότε θα εκκριθεί γλυκαγόνη η οποία με τις ενέργειες που αναφέρθηκαν παραπάνω θα προσπαθήσει να ανεβάσει το επίπεδο της γλυκόζης. Υπό φυσιολογικές δηλαδή συνθήκες ο οργανισμός χρησιμοποιεί την ινσουλίνη και την γλυκαγόνη για να κρατηθεί η γλυκόζη σε φυσιολογικό επίπεδο. Φυσικά και άλλες ορμόνες συμβάλλουν στην ομοίωση της γλυκόζης όπως η αμυλίνη, η GLP-1 και η GIP.



Εικόνα 3 Φυσιολογική λειτουργία γλυκαγόνης και ινσουλίνης

1.2 : Τύποι-Επιπλοκές

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης(ΣΔ) είναι η ασθένεια η οποία σχετίζεται με την αδυναμία του οργανισμού να διατηρήσει το επίπεδο της γλυκόζης εντός φυσιολογικών ορίων και κατατάσσεται στα νοσήματα διαταραχής του μεταβολισμού. Τα άτομα που πάσχουν από ΣΔ έχουν αυξημένη ποσότητα γλυκόζης στο αίμα (υπεργλυκαιμία). Οι βασικές αιτίες της υψηλής συγκέντρωσης γλυκόζης είναι η μειωμένη ή καθόλου παραγωγή ινσουλίνης και η μη σωστή λειτουργία των ιστών που λαμβάνουν την ινσουλίνη με αποτέλεσμα η γλυκόζη να μην μπορεί να εισαχθεί στα κύτταρα και να παραμένει στο κυκλοφορικό σύστημα. Στην εικόνα 4 φαίνεται η συγκέντρωση της γλυκόζης σε ένα υγιές και ένα άτομο με ΣΔ στην διάρκεια μιας ημέρας.



Εικόνα 4 Συγκέντρωση γλυκόζης σε υγιές άτομο (επάνω) και σε άτομο με ΣΔ (κάτω)

1.2.1: Τύποι

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ΣΔ, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

- **Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 1 (ΣΔΤ1)**

Ο ΣΔΤ1 (ή ινσουλινοεξαρτώμενος ή νεανικός διαβήτης) εμφανίζεται συνήθως από την παιδική ή εφηβική ηλικία και αυτός είναι ο λόγος που ονομάζεται και νεανικός διαβήτης [4], μπορεί όμως να προσβάλει και ενήλικες. Συναντάται στο 5-10% των ανθρώπων που πάσχουν από ΣΔ [5]. Ο ΣΔΤ1 είναι αυτοάνοσο νόσημα στο οποίο το ανοσοποιητικό σύστημα του οργανισμού επιτίθεται εσφαλμένα στα β-κύτταρα του παγκρέατος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μη παραγωγή ινσουλίνης άρα και η μη μεταφορά της γλυκόζης στο εσωτερικό των κυττάρων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση γλυκόζης στο κυκλοφορικό σύστημα, δηλαδή την υπεργλυκαιμία. Χαρακτηριστικό του τύπου αυτού είναι ότι ο ασθενής είναι εξαρτημένος από εξωτερική χορήγηση ινσουλίνης ώστε να μειώνει την συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα αλλά και να επιτρέπει στα κύτταρα να λάβουν την πηγή ενέργειάς τους. Επιπρόσθετα ο ΣΔΤ1 δεν μπορεί να αποφευχθεί και δεν υπάρχει θεραπεία [6], [7] ενώ δεν έχει επαληθευτεί η συσχέτισή του με κληρονομικούς παράγοντες. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά τον καθιστούν τον πιο επικίνδυνο τύπο ΣΔ.

- **Σακχαρώδης Διαβήτης Τύπου 2 (ΣΔΤ2)**

Ο ΣΔΤ2 (ή ινσουλινο-ανεξάρτητος) είναι η πιο συχνή περίπτωση ΣΔ και εμφανίζεται συνήθως σε ενήλικα άτομα άνω των 40 ετών. Συσχετίζεται με την παχυσαρκία, την αύξηση της ηλικίας και το οικογενειακό ιστορικό. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ο συνδυασμός της μειωμένης έκκρισης ινσουλίνης με την μειωμένη ευαισθησία των κυττάρων (κυρίως τα κύτταρα του μυϊκού και λιπώδους ιστού) στην ινσουλίνη. Ο ΣΔΤ2 αναπτύσσεται με το πέρασμα των χρόνων. Όσο περνάει ο καιρός τα κύτταρα αποκτούν όλο και μεγαλύτερη ανοσία στην ινσουλίνη. Αρχικά το πάγκρεας προσπαθεί να αυξήσει την ποσότητα της εκκρινόμενης ινσουλίνης αλλά τελικά δεν καταφέρνει να ανταποκριθεί στην απαιτούμενη ποσότητα οπότε η γλυκόζη συσσωρεύεται στο αίμα. Λόγω της προσπάθειας αυτής του παγκρέατος να παράγει επιπλέον ινσουλίνη αρκετά β-κύτταρα καταστρέφονται. Η διάγνωση της νόσου στα αρχικά της στάδια είναι δύσκολη, γεγονός που δυσχεραίνει και την αντιμετώπιση της. Αποτέλεσμα αυτού είναι μέχρι να εμφανίσει ο ασθενής ΣΔΤ2 έχουν απομείνει μόνο το 50-70% των κυττάρων του παγκρέατος [8]. Ο ΣΔΤ2 μπορεί να αντιμετωπισθεί με φυσική άσκηση και προσεγμένη διατροφή ενώ σε πιο προχωρημένες περιπτώσεις οι ασθενείς λαμβάνουν καταποσίμα φάρμακα ή/και ενέσεις ινσουλίνης.

- **Σακχαρώδης Διαβήτης κύησης**

Ο ΣΔΚ [9], [10] εμφανίζεται πρώτη φορά κατά τον τοκετό (συνήθως γύρω στην 24^η εβδομάδα [11]) και υποχωρεί μετά από αυτόν. Ο συγκεκριμένος τύπος ΣΔ εμφανίζεται στο 3-5% των κυήσεων. Οι ορμονικές αλλαγές και η πρόσληψη βάρους κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης αυξάνουν την αντίσταση των κυττάρων απέναντι στην ινσουλίνη [12] έτσι ώστε να υπάρχει περισσότερη γλυκόζη για το έμβρυο. Αν το πάγκρεας δεν καταφέρει να παράξει αυξημένη ποσότητα ινσουλίνης όταν χρειαστεί, τότε εμφανίζεται ο ΣΔΚ. Η αυξημένη συγκέντρωση γλυκόζης είναι επιβλαβής και για την εγκυμονούσα μητέρα αλλά και για το παιδί και είναι σημαντικό να ανιχνευτεί και να αντιμετωπιστεί γρήγορα έτσι ώστε να μην υπάρξουν επιπλοκές στην κύηση. Ο ΣΔΚ μπορεί να μετριαστεί με υγιεινή διατροφή και φυσική άσκηση, όμως περίπου 10-20% των γυναικών θα χρειαστούν επιπλέον ινσουλίνη [13]. Οι γυναίκες με ΣΔΚ βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο να εμφανίσουν ΣΔΤ2. Επίσης τα παιδιά τους έχουν αυξημένη πιθανότητα να γίνουν παχύσαρκα όπως και να αναπτύξουν και αυτά ΣΔΤ2.

- **Άλλοι τύποι ΣΔ**

Επιπλέον αναφέρονται ονομαστικά επιπλέον τύποι ΣΔ οι οποίοι εμφανίζονται σπανιότερα.

- Maturity Onset Diabetes of the Young (MODY)
- ΣΔ που οφείλεται σε γενετικές διαταραχές που συνδέονται με τη μη λειτουργικότητα των β-κυττάρων
- ΣΔ που οφείλεται σε γενετικές διαταραχές που συνδέονται με την δράση της ινσουλίνης
- ΣΔ που οφείλεται σε νόσους της εξωκρινούς μοίρας του παγκρέατος
- ΣΔ που οφείλεται σε έκθεση σε φάρμακα, χημικές ουσίες, τοξίνες κ.ά.

1.2.2: Επιπλοκές

Ο ΣΔ μπορεί να έχει βραχυπρόθεσμες(ή οξείες) αλλά και μακροπρόθεσμες(ή χρόνιες) επιπλοκές στην υγεία του ασθενή. Πολλοί παράγοντες όπως το κάπνισμα, τα αυξημένα επίπεδα χοληστερόλης, η παχυσαρκία, η αρτηριακή υπέρταση καθώς και η καθιστική ζωή οξύνουν τις επιπλοκές αυτές [14]. Εκτός από τις σωματικές όμως επιπλοκές ο ΣΔ ασκεί επίσης μεγάλη ψυχολογική πίεση στους ασθενείς και μπορεί να τους οδηγήσει στην κατάθλιψη [15].

- **Βραχυπρόθεσμες ή οξείες επιπλοκές**

Αυτές οι επιπλοκές μπορούν να εμφανιστούν καθόλη τη διάρκεια της ζωής του ασθενή και πρέπει η αντιμετώπισή τους να είναι άμεση.

1. Διαβητική κετοξέωση -ΔΚΟ [16], [17]

Η ΔΚΟ είναι μία επικίνδυνη, για την ζωή του ατόμου, επιπλοκή. Συναντάται κυρίως στους ασθενείς που πάσχουν από ΣΔΤ1 αλλά μπορεί να εμφανιστεί και σε ασθενείς με ΣΔΤ2 κάτω από ειδικές συνθήκες. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι η πρώτη εκδήλωση του ΣΔΤ1 στον ασθενή. Η ΔΚΟ δημιουργείται σε συνθήκες μεγάλης ανεπάρκειας ινσουλίνης και υπερέκκρισης ανταγωνιστικών ορμονών όπως της γλυκαγόνης. Για να αντιμετωπίσει αυτήν την κατάσταση ο οργανισμός καίει λιπαρά οξέα και παράγει κετόνες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγές ενέργειας. Ο ασθενής που πάσχει από ΔΚΟ έχει ανεβασμένο σάκχαρο, αφυδάτωση, πιθανούς πόνους στην κοιλιακή χώρα και εμετούς ενώ μπορεί αν δεν αντιμετωπισθεί να πέσει σε διαβητικό κώμα. Παρόλα τα σοβαρά αποτελέσματα που έχει, με έγκαιρη θεραπεία μπορεί να αντιμετωπισθεί πλήρως.

2. Υπερωσμωτική Υπεργλυκαιμική Κατάσταση – ΥΥΚ [18], [19]

Παλαιότερα γνωστή ως «υπερωσμωτικό μη κετωτικό κώμα» ή «υπερωσμωτική μη κετωτική υπεργλυκαιμία». Η ΥΥΚ παρόλο που συναντάται πιο συχνά σε ασθενείς με ΣΔΤ2, ειδικότερα σε αυτούς που έχουν μεγάλη ηλικία, έχει αρκετά κοινά με την ΔΚΟ. Στην ΥΥΚ έχουμε πολύ υψηλά επίπεδα σακχάρου(>600 mg/dl) τα οποία ο οργανισμός προσπαθεί να χαμηλώσει αποβάλλοντας γλυκόζη μέσω της ούρησης. Αυτό οδηγεί σε αφυδάτωση και αύξηση της ωσμωτικότητας του αίματος. Και σε αυτήν την περίπτωση αν δεν υπάρξει άμεση αντιμετώπιση ο ασθενής θα πέσει σε διαβητικό κώμα.

3. Υπογλυκαιμία [20], [21]

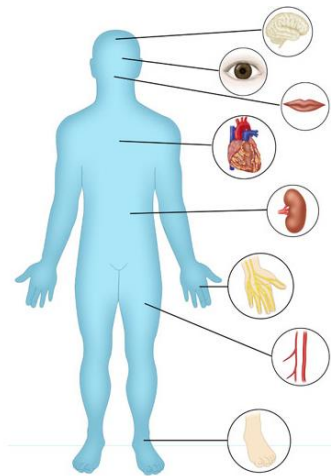
Επεισόδια υπογλυκαιμίας συμβαίνουν λόγω της πολύ χαμηλής συγκέντρωσης(<45-50 mg/dl) της γλυκόζης στο αίμα. Συνήθως οφείλεται σε μη τήρηση της συνιστώμενης δίαιτας, σε αύξηση της δόσης της ινσουλίνης καθώς και στην έντονη φυσική άσκηση. Σε αυτήν την περίπτωση ο οργανισμός δεν έχει την απαραίτητη γλυκόζη για να τροφοδοτήσει τα κύτταρα και ως αποτέλεσμα ο ασθενής εμφανίζει συμπτώματα όπως ιδρώτα, πονοκέφαλο, υπερκόπωση, νευρικότητα, χλόμιασμα, τρεμούλα, ταχυπαλμία, πείνα, μεταβολές διάθεσης, θαμπή όραση, ζαλάδα κ.ά.. Αν δεν αντιμετωπισθεί ο ασθενής μπορεί να πέσει και σε κώμα. Η υπογλυκαιμία μπορεί να αντιμετωπισθεί με χορήγηση γλυκόζης είτε με την μορφή ενδοφλέβιας ένεσης σε σοβαρές περιπτώσεις ή σε πιο ελαφριές περιπτώσεις με την μορφή ζαχαρούχου ποτού ή φαγητού.

4. Άλλες επιπλοκές [22]

Άλλες βραχυπρόθεσμες επιπλοκές που μπορεί να προκαλέσει ο ΣΔ είναι στυτική δυσλειτουργία, αναπνευστικές λοιμώξεις και οδοντικές παθήσεις.

- **Μακροπρόθεσμες ή χρόνιες επιπλοκές**

Οι χρόνιες μεταβολές του επιπέδου της γλυκόζης μπορούν να οδηγήσουν σε βλάβες των αιμοφόρων αγγείων [22]. Οι χρόνιες επιπλοκές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις μικροαγγειακές και τις μακροαγγειακές.



Εικόνα 5 Όργανα στα οποία μπορεί να επιφέρει επιπλοκές ο ΣΔ

Η πλειονότητα των επιπλοκών φαίνεται στην εικόνα 5 και αναλύονται συνοπτικά παρακάτω. Στις μικροαγγειακές επιπλοκές ανήκουν [14], [22]:

1. Διαβητική μυοκαρδιοπάθεια [23]

Παρουσιάζεται βλάβη στο μυοκάρδιο που προκαλεί διαστολική δυσλειτουργία και τελικά οδηγεί στην ανικανότητα της καρδιάς να κυκλοφορήσει το αίμα στο σώμα, δηλαδή καρδιακή ανεπάρκεια. Δυστυχώς μέχρι στιγμής δεν έχει βρεθεί κάποια συγκεκριμένη αντιμετώπιση για την διαβητική μυοκαρδιοπάθεια.

2. Διαβητική νεφροπάθεια [24]

Παρουσιάζεται απώλεια σωστής λειτουργίας των νεφρών και μπορεί να οδηγήσει σε νεφρική ανεπάρκεια. Η διαβητική νεφροπάθεια για αρκετά χρόνια δεν έχει συμπτώματα με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να ανιχνευτεί. Όταν αρχίζει να εκδηλώνεται ο ασθενής νιώθει κούραση, πονοκεφάλους, ναυτία, φαγούρα κ.ά.. Όταν τα νεφρά πάψουν να λειτουργούν ο ασθενής πρέπει να υποβάλλεται τακτικά σε αιμοκάθαρση ή να προβεί σε μεταμόσχευση νεφρού.

3. Διαβητική νευροπάθεια [24]

Στην διαβητική νευροπάθεια υπάρχει καταστροφή νευρών λόγω της υψηλής συγκέντρωσης γλυκόζης. Προσβάλλονται τα νεύρα του κεντρικού αλλά και του περιφερικού νευρικού συστήματος. Συχνότερα εμφανίζεται πρόβλημα στο περιφερικό σύστημα που προκαλεί προβλήματα στα άκρα όπως μουδιάσματα, τσιμπήματα και καψίματα ενώ μπορεί να προκαλέσει απώλεια της αίσθησης της αφής και του πόνου. Τα προβλήματα στο κεντρικό σύστημα μπορεί να προκαλέσουν ναυτία, διάρροια, λιποθυμία κ.ά. όμως είναι σπανιότερα.

4. Διαβητική ρετινοπάθεια/αμφιβληστροειδοπάθεια [24], [25]

Στην περίπτωση της διαβητικής ρετινοπάθειας ή αμφιβληστροειδοπάθειας έχουμε σταδιακή πρόκληση ζημιάς στον αμφιβληστροειδή χιτώνα η οποία μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στην τύφλωση αν δεν αντιμετωπισθεί εγκαίρως. Σε βάθος χρόνου εμφανίζεται στην πλειονότητα των ατόμων με ΣΔ αλλά δεν έχει εμφανή συμπτώματα οπότε πρέπει ο ασθενής να επισκέπτεται προληπτικά τον οφθαλμίατρο ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

5. Διαβητική εγκεφαλοπάθεια [26]

Στην συγκεκριμένη επιπλοκή έχουμε πρόκληση ζημιάς στον εγκέφαλο λόγω του ΣΔ. Η διαβητική εγκεφαλοπάθεια έχει και σωματικές αλλά και νοητικές επιπτώσεις. Οι σημαντικότερες νοητικές επιπτώσεις είναι έκπτωση των γνωστικών λειτουργιών, αλλαγές στην προσωπικότητα, κενά μνήμης ακόμα και άνοια. Οι σημαντικότερες σωματικές είναι τρέμουλο, έλλειψη προσανατολισμού ακόμα και επιληπτικές κρίσεις.

6. Διαβητικό πόδι [27]

Το διαβητικό πόδι είναι αποτέλεσμα διαβητικής νευροπάθειας στο περιφερειακό νευρικό σύστημα σε συνδυασμό με κάποιον τραυματισμό. Η επιπλοκή αυτή είναι σοβαρή και οδηγεί σε έλκος αλλά και σε ακρωτηριασμό στο 25-50% των περιπτώσεων. Ο ασθενής συνήθως δενιώθει πόνο στο συγκεκριμένο άκρο με αποτέλεσμα να τραυματίζει περαιτέρω το πόδι του εν αγνοία του.

Σημαντικότερες επιπλοκές είναι όμως οι μακροαγγειοπάθειες καθώς αφορούν βλάβες στις αρτηρίες που περνάνε από την καρδιά και τον εγκέφαλο. Συνήθως εκδηλώνονται ως [14] , [24] :

- Στεφανιαία νόσος, δηλαδή την αθηροσκλήρυνση των στεφανιαίων αρτηριών, που μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα [28].
- Αγγειακή εγκεφαλική νόσος, δηλαδή την διακοπή της παροχής του αίματος στον εγκέφαλο, που οδηγεί σε εγκεφαλικό επεισόδιο.
- Νόσος των περιφερειακών αγγείων, δηλαδή την διακοπή της παροχής του αίματος στα άκρα που έχει σαν αποτέλεσμα πόνους, έλκος και ενδεχόμενες μολύνσεις που μπορεί να οδηγήσουν μέχρι και σε ακρωτηριασμό του μέλους.

1.3: Διάγνωση

Η έγκαιρη διάγνωση του ΣΔ αποτελεί μείζον ζήτημα έτσι ώστε με κατάλληλες ενέργειες να αποφευχθούν πολλές από τις επιπλοκές πριν εμφανιστούν. Παρόλα αυτά ένα στα δύο άτομα που πάσχουν από ΣΔ δεν έχει διαγνωσθεί [29].

Τα σημαντικότερα συμπτώματα του ΣΔ είναι η συχνουρία, η αυξημένη δίψα και η δίχως λόγο απώλεια βάρους τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ένδειξη του ΣΔ. Η διάγνωση του ΣΔ γίνεται μέσα από μια σειρά εξετάσεων [30], [31]. Καθεμία από τις παρακάτω εξετάσεις είναι σε θέση να δείξει αν ο ασθενής πάσχει από ΣΔ αλλά δεν είναι όλα εξίσου αποτελεσματικά για τα διάφορα είδη ΣΔ. Οι τρεις πιο συχνές εξετάσεις είναι οι εξής:

- Μέτρηση της γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης (HbA1C) [32], [33]

Αντικατοπτρίζει το μέσο επίπεδο γλυκόζης στο αίμα τους τελευταίους δύο με τρεις μήνες. Χρησιμοποιείται για την διάγνωση του ΣΔΤ2 καθώς και για να φανεί πόσο αποτελεσματική είναι η διαχείριση του ΣΔ από τον ασθενή. Η διάγνωση του ΣΔΤ1 καθώς και του διαβήτη κύησης δεν είναι δυνατή με την συγκεκριμένη εξέταση. Η μέτρηση αυτή βασίζεται στην ένωση της γλυκόζης με την αιμοσφαιρίνη, την πρωτεΐνη δηλαδή που μεταφέρει οξυγόνο στα κόκκινα αιμοσφαίρια. Τα κόκκινα αιμοσφαίρια πεθαίνουν και αντικαθίστανται περίπου κάθε 3 μήνες, οπότε από την μέτρηση της HbA1C εκτιμάται η ποσότητα της γλυκόζης που κυκλοφορεί στο αίμα. Σύμφωνα με τον Ε.Ο.Φ. [31] φυσιολογικές τιμές HbA1C θεωρούνται από 4% μέχρι 6% ενώ πάνω από 7% θεωρείται ότι το άτομο πάσχει από ΣΔΤ2. Οι ενδιαμέσες τιμές αναφέρονται ως προδιαβήτη (προδιαβητικό στάδιο), δηλαδή δεν πάσχουν από ΣΔ αλλά έχουν μεγάλη πιθανότητα να αναπτύξουν στο μέλλον.

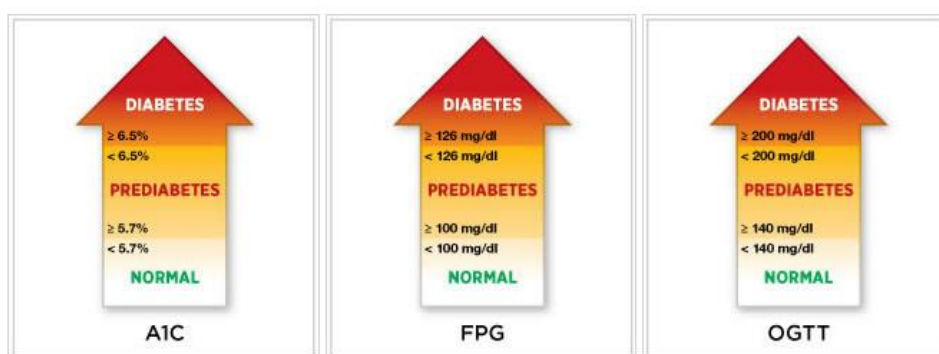
- Μέτρηση της γλυκόζης πλάσματος νηστείας(Fasting Plasma Glucose - FPG) [34]

Για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης εξέτασης απαιτείται η μη κατανάλωση τροφής και ποτού (εκτός από νερό) τις προηγούμενες 8 ώρες γι' αυτό συνήθως πραγματοποιείται το πρωί. Αυτή η μέτρηση έχει επίσης την δυνατότητα να διαγνώσει ΣΔ αλλά και προδιαβήτη. Όταν η τιμή της γλυκόζης πλάσματος ξεπερνάει τα 126 mg/dl σύμφωνα με τον Ε.Ο.Φ. [31] το άτομο πάσχει από ΣΔ, ενώ μεταξύ 100 και 125 mg/dl βρίσκεται σε προδιαβητικό στάδιο.

- Δοκιμασία ανοχής γλυκόζης(Oral Glucose Tolerance Test - OGTT) [35], [36]

Η δοκιμασία αυτή ελέγχει κατά πόσο το σώμα του ατόμου έχει δυσκολίες στον μεταβολισμό προσλαμβάνουσας γλυκόζης. Η δοκιμασία χρησιμοποιείται για την διάγνωση του ΣΔΤ2, του ΣΔΚ και του προδιαβήτη. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της δοκιμασίας αλλά όλες είναι παρόμοιες. Η εξέταση αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά μετριέται η γλυκόζη πλάσματος νηστείας. Στην συνέχεια το άτομο καταναλώνει 75g γλυκόζης σε διάστημα πέντε λεπτών. Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται δόσεις 50 ή 100 γραμμαρίων γλυκόζης αλλά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization – WHO) συνιστά 75g. Μετά από δύο ώρες λαμβάνεται ξανά μέτρηση της τιμής της γλυκόζης πλάσματος. Και εδώ υπάρχουν εναλλακτικές όπως η μέτρηση στην μία ή στις τρεις ώρες καθώς και η μέτρηση κάθε 30 λεπτά. Σύμφωνα με τον Ε.Ο.Φ. [31] τιμή γλυκόζης πάνω από 200 mg/dl, δύο ώρες μετά την λήψη γλυκόζης 75g υποδεικνύει άτομο που πάσχει από ΣΔ.

Προδιαβήτης υποδεικνύεται όταν η γλυκόζη νηστείας είναι μικρότερη του 126 mg/dl ενώ η γλυκόζη πλάσματος δύο ώρες μετά την λήψη 75g γλυκόζης είναι μεταξύ 140 mg/dl και 200 mg/dl.



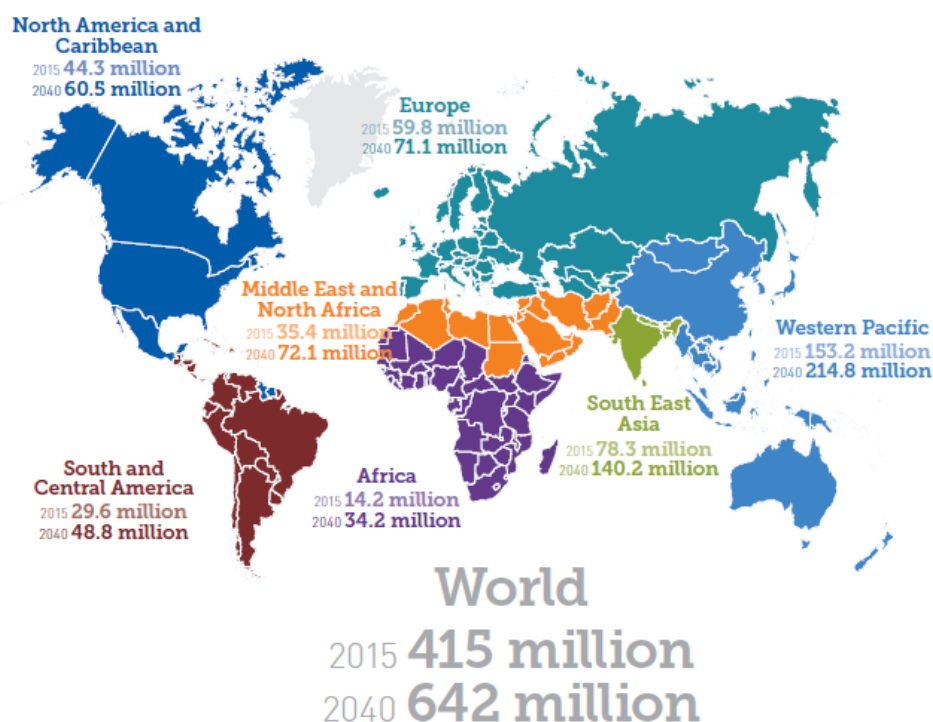
Εικόνα 6 Τιμές εξετάσεων σύμφωνα με American Diabetes Association

1.4: Στατιστικά – Επιδημιολογικά στοιχεία

Ο ΣΔ είναι μια ασθένεια που αναπτύσσεται με μεγάλους ρυθμούς παγκοσμίως ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Σήμερα εκτιμάται ότι πάσχουν 415 εκατομμύρια ενήλικες από ΣΔ σε όλο τον κόσμο, δηλαδή αναλογικά 1 στους 11 ενήλικες. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να φτάσει τα 642 εκατομμύρια, δηλαδή να αυξηθεί κατά 55%, μέχρι το 2040. Στην εικόνα 7 φαίνεται ο αριθμός των ανθρώπων που πάσχουν από ΣΔ σε παγκόσμια κλίμακα ανά περιοχή καθώς και ο αναμενόμενος αριθμός το 2040.

Όπως φαίνεται σε αρκετές περιοχές αναμένεται υπερδιπλασιασμός των κρουσμάτων. Συγκεκριμένα στις χώρες τις βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής σήμερα υπάρχουν 44,3 εκατ. πάσχοντες από ΣΔ, στην κεντρική και νότια Αμερική 29,9 εκατ., στην βόρεια Αφρική και Μέση Ανατολή 35,4 εκατ., στην υπόλοιπη Αφρική 14,2 εκατ., στην Ευρώπη και τις χώρες τις κεντρικής και βόρειας Ασίας 59,8 εκατ., στην νοτιοανατολική Ασία 78,3 εκατ. και τέλος στις χώρες του δυτικού Ατλαντικού 153,2 εκατ.. Μέχρι το 2040 αναμένεται αύξηση αυτών των αριθμών κατά 27% στις χώρες της βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής, κατά 65% στην κεντρική και νότια Αμερική, κατά 104% στην βόρεια Αφρική και Μέση Ανατολή, κατά 141% στην υπόλοιπη Αφρική, κατά 19% στην Ευρώπη και τις χώρες τις κεντρικής και βόρειας Ασίας, κατά 79% στην νοτιοανατολική Ασία και τέλος κατά 40% στις χώρες του δυτικού Ατλαντικού.

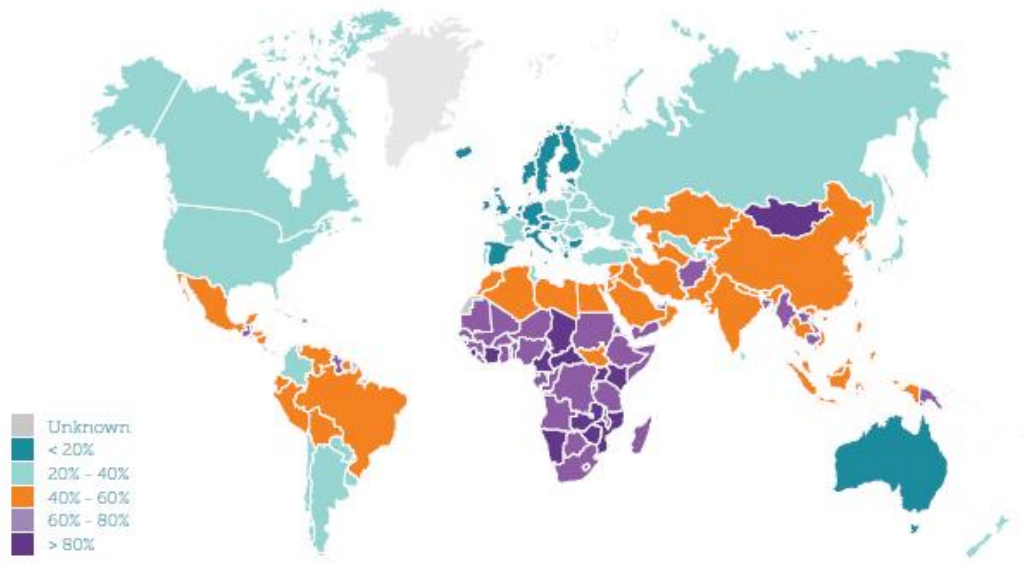
Οι δέκα χώρες που παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό ενηλίκων ατόμων που πάσχουν από ΣΔ είναι [29] η Κίνα (109,6 εκατ.), η Ινδία (69,2 εκατ.), οι Η.Π.Α. (29,3 εκατ.), η Βραζιλία (14,3 εκατ.), η Ρωσία (12,1 εκατ.), το Μεξικό (11,5 εκατ.), η Ινδονησία (10 εκατ.), η Αίγυπτος (7,8 εκατ.), η Ιαπωνία (7,2 εκατ.) και το Μπαγκλαντές (7,1 εκατ.).



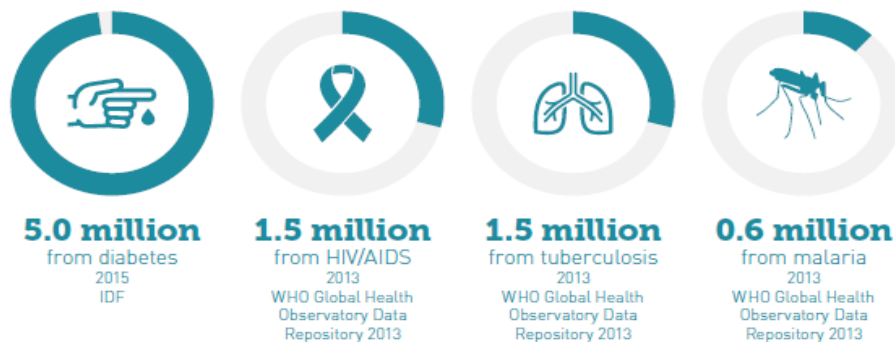
Εικόνα 7 Πλήθος ατόμων σε ΣΔ στον κόσμο

Ο αριθμός των παιδιών ηλικίας 0-14 ετών που πάσχουν από ΣΔΤ1 κατά το έτος 2015 εκτιμάται ότι είναι 542.000 [29], ξεπερνώντας πρώτη φορά το φράγμα των 500.000. Οι δέκα χώρες με τον μεγαλύτερο αριθμό παιδιών με ΣΔ είναι οι Η.Π.Α (84,1 χιλ.), η Ινδία (70,2 χιλ.), η Βραζιλία (30,9 χιλ.), η Κίνα (30,5 χιλ.), το Ηνωμένο Βασίλειο (19,8 χιλ.), η Ρωσία (18,5 χιλ.), η Σαουδική Αραβία (16,1 χιλ.), η Γερμανία (15,8 χιλ.), η Νιγηρία (14,4 χιλ.) και το Μεξικό (13,5 χιλ.).

Η ασθένεια του ΣΔ είναι πολύ επικίνδυνη καθώς μετράει πολύ περισσότερους θανάτους ενηλίκων ατόμων απ' ότι άλλες ασθένειες όπως το AIDS, η φυματίωση και η μαλάρια. Το 2015 υπολογίζεται ότι 5 εκατομμύρια άνθρωποι έχασαν την ζωή τους λόγω του ΣΔ [29], δηλαδή ένα άτομο κάθε 6 δευτερόλεπτα. Η Παγκόσμια Ομοσπονδία Διαβήτη εκτιμά ότι ο ΣΔ ευθυνόταν για το 14,5% των θανάτων παγκοσμίως για το έτος 2015., το 46,6% των οποίων αφορούν άτομα κάτω των 60 ετών. Στις Η.Π.Α. ο ΣΔ ήταν η 7^η αιτία θανάτου το 2010 [37]. Επίσης ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτιμά ότι η υψηλή συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα είναι ο τρίτος υψηλότερος παράγοντας κινδύνου για πρόωρο θάνατο μετά την υψηλή αρτηριακή πίεση και το κάπνισμα.

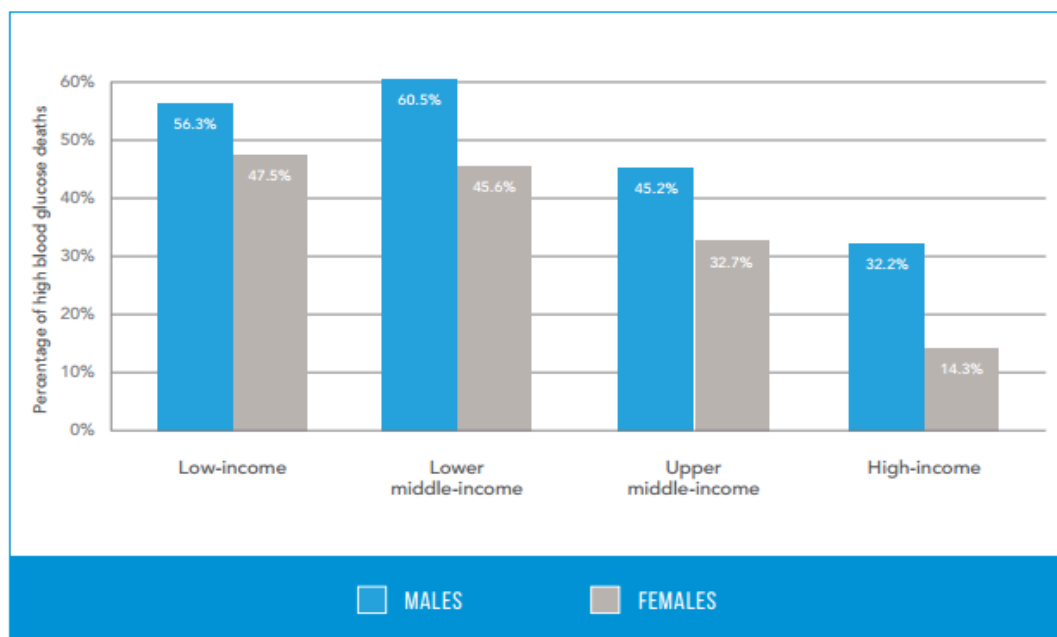


Εικόνα 8 Ποσοστό θανάτων λόγω του ΣΔ σε άτομα κάτω των 60 ετών



Εικόνα 9 Θάνατοι λόγω ΣΔ, AIDS, φυματίωσης και μαλάριας για το έτος 2015

Οι θάνατοι που προκαλούνται από την νόσο του ΣΔ φαίνονται αυξημένοι κατά πολύ στις χώρες με χαμηλά εισοδήματα. Αυτό δείχνει ότι υπάρχουν τρόποι να αποφευχθούν πολλοί θάνατοι με την κατάλληλη μέριμνα.



Εικόνα 10 Ποσοστών θανάτων λόγω ΣΔ ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες για διάφορα οικονομικά στρώματα

Στις χώρες με υψηλό εισόδημα, περίπου το 87% με 91% όλων των ανθρώπων με ΣΔ πάσχουν από ΣΔΤ2, το 7% με 12% από ΣΔΤ1 και το 1% με 3% από άλλους τύπους διαβήτη. Το ποσοστό των ατόμων που πάσχουν από ΣΔΤ1 αυξάνεται κάθε χρόνο κατά 3% σε σχέση με αυτό του ΣΔΤ2. Ο ΣΔΤ2 έχει αυξηθεί πολύ περισσότερο σε χώρες που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όπως γήρανση του γενικού πληθυσμού, αυξημένη αστικοποίηση, μειωμένη φυσική άσκηση και κακές διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού. Στα αστικά κέντρα εκτιμάται ότι ζουν 269,7 εκατομμύρια άνθρωποι με ΣΔ σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές που ζουν 145,1 εκατομμύρια. Στις χώρες μεσαίου και χαμηλού εισοδήματος ο αριθμός των ανθρώπων με ΣΔ στα αστικά κέντρα εκτιμάται 186,2 εκατομμύρια ενώ στις αγροτικές περιοχές 126,7 εκατομμύρια. Η ίδια εκτίμηση δείχνει ότι η «ψαλίδα» αυτή θα ανοίξει και άλλο μέχρι το 2040 καθώς 477,9 εκατομμύρια άνθρωποι με ΣΔ θα μένουν σε αστικά κέντρα σε σχέση με τα 163,9 εκατομμύρια ανθρώπων με ΣΔ που θα μένουν σε αστικές περιοχές.

Όσον αφορά την ηλικιακή κατανομή των ασθενών, για το έτος 2015 υπολογίζεται ότι 320,5 εκατομμύρια άτομα βρίσκονται μεταξύ 20 και 64ων ετών ενώ 94,2 εκατομμύρια άτομα μεταξύ 65 και 79 ετών.

Επίσης 193 εκατομμύρια άνθρωποι, κατά το έτος 2015, δεν γνώριζαν ότι πάσχουν από ΣΔ. Ο αριθμός αυτός αποτελεί το 46,5% των συνολικών ανθρώπων που πάσχουν από ΣΔ, δηλαδή ένα στα δύο άτομα περίπου δεν γνωρίζει ότι νοσεί. Η πλειοψηφία αυτών των περιπτώσεων αφορά ΣΔΤ2 καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις περνούν αρκετά χρόνια μέχρι να εκδηλωθούν τα πρώτα εμφανή συμπτώματα. Αυτό οδηγεί στην επιδείνωση της κατάστασης του ασθενούς καθώς δεν λαμβάνει μέτρα για την προστασία του. Σημαντικό παράγοντα παίζει και η χώρα στην οποία ζει ο ασθενής αφού το 81,1% των ατόμων που πάσχουν αλλά δεν το γνωρίζουν κατοικεί σε χώρες χαμηλού

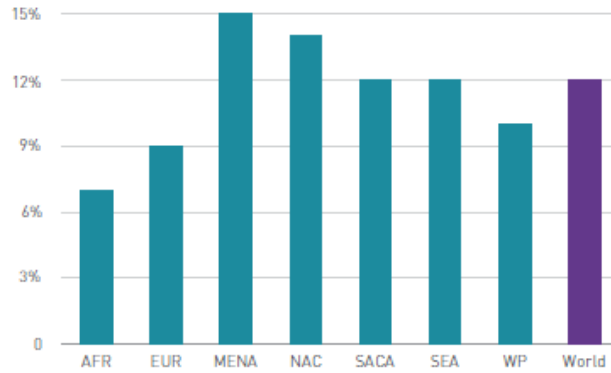
ή μεσαίου εισοδήματος. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό των ατόμων που πάσχουν από ΣΔΤ2 ενώ δεν το γνωρίζουν είναι 29,9%(13,3 εκατ.) στις χώρες της βόρειας Αμερικής και της Καραϊβικής, 39%(11,5 εκατ.) στην κεντρική και νότια Αμερική, 40,6%(14,4 εκατ.) στην βόρεια Αφρική και Μέση Ανατολή, 66,7%(9,5 εκατ.) στην υπόλοιπη Αφρική, 39,3%(23,5 εκατ.) στην Ευρώπη και τις χώρες τις κεντρικής και βόρειας Ασίας, 52,1%(40,8 εκατ.) στην νοτιοανατολική Ασία και τέλος 52,1%(79,8 εκατ.) στις χώρες του δυτικού Ατλαντικού [29].

Τα τελευταία χρόνια 32 χώρες σε όλον τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, έχουν συλλέξει δεδομένα για να εκτιμήσουν τον κίνδυνο που έχει κάποιος να αναπτύξει ΣΔΤ2 [38] δεδομένων του γένους, της ηλικίας, της καταγωγής, του ιστορικού του ΣΔ στην οικογένεια, το μέγεθος της μέσης, του ύψους, του βάρους και της αρτηριακής πίεσης [39], [40]. Με αυτόν τον τρόπο ο καθένας με ένα από διαδικτυακό τεστ μπορεί να είναι υποψιασμένος αν υπάρχει κίνδυνος να αναπτύξει ΣΔΤ2 έτσι ώστε να τον προλάβει στα αρχικά στάδιά του.



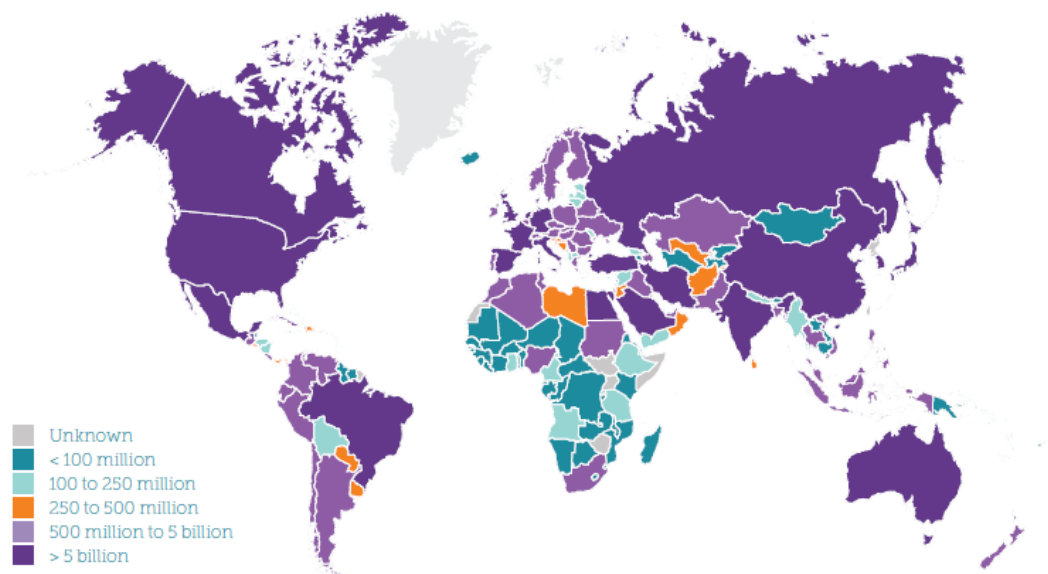
Εικόνα 11 Χώρες στις οποίες υπάρχει έλεγχος risk factors για τον ΣΔ

Ο ΣΔ αποτελεί μεγάλο οικονομικό βάρος για τους πάσχοντες, τις οικογένειές τους αλλά και για ολόκληρα τα κράτη. Τα ιατρικά έξοδα ενός ανθρώπου που πάσχει σε χώρες όπως η Γερμανία υπολογίζονται υπερδιπλάσια από έναν άνθρωπο χωρίς ΣΔ [41]. Ο ΣΔ αποτελεί επίσης το 12% των παγκόσμιων δαπανών που σχετίζονται με την υγεία [29]. Μόνο το 2015 υπολογίζεται ότι δαπανήθηκαν 673 δισεκατομμύρια λόγω του διαβήτη [29].



Εικόνα 12 Ποσοστό δαπανών για τον ΣΔ

Πιο συγκεκριμένα μόνο οι Η.Π.Α ξόδεψαν περίπου 320 δισεκατομμύρια USD λόγω του διαβήτη το έτος 2015. Οι υπόλοιπες χώρες που συμπληρώνουν τις 10 χώρες με τις μεγαλύτερες δαπάνες λόγω του ΣΔ είναι η Κίνα (51 δις. USD), η Γερμανία (35 δις. USD), η Ιαπωνία (29 δις. USD), η Βραζιλία (22 δις. USD), η Γαλλία (19 δις. USD), ο Καναδάς (17 δις. USD), η Ρωσία (14 δις. USD), το Ηνωμένο Βασίλειο (13 δις. USD) και η Ιταλία (12 δις. USD). Το ποσό που δαπάνησαν οι τρεις πρώτες χώρες αφορά το 60% της δαπάνης για τον ΣΔ παγκοσμίως.



Εικόνα 13 Ποσό που δαπανήθηκε για τον ΣΔ το 2015 ανά χώρα

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μόνο το 19% της παγκόσμιας δαπάνης για τον ΣΔ δαπανήθηκε σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, ενώ το 75,4% των ανθρώπων με ΣΔ διαμένουν εκεί.

Όσον αφορά τις νεαρές ηλικίες (κάτω των 15 ετών) υπολογίζεται ότι υπάρχουν 542 χιλιάδες ασθενείς με ΣΔΤ1 καθώς και 86 χιλιάδες νέα κρούσματα κάθε χρόνο. Πιο συγκεκριμένα οι χώρες με τα περισσότερα παιδιά με ΣΔΤ1 το έτος 1015 ήταν οι Η.Π.Α. (84.100), η Ινδία (70.200), η Βραζιλία (30.900), η Κίνα (30.500), το Ηνωμένο Βασίλειο (19.800), η Ρωσία (18.500), η Σαουδική Αραβία (16.200), η Γερμανία (15.800), η Νιγηρία (14.400) και το Μεξικό (13.500). Ενώ οι χώρες με τα περισσότερα νέα κρούσματα (ανά 100.000 κατοίκους) είναι η Φινλανδία (62,3), η Σουηδία (43,2), το Κουβέιτ (37,1), η Νορβηγία (32,5), η Σαουδική Αραβία (31,4), το Ηνωμένο Βασίλειο (28,2), η Ιρλανδία (26,8), ο Καναδάς (25,9), η Δανία (25,1) και οι Η.Π.Α. (23,7).

1.5: Γλυκαιμικός Έλεγχος

Όλες οι επιπλοκές του ΣΔ μπορούν να προληφθούν μέσω σωστού γλυκαιμικού ελέγχου. Ο όρος γλυκαιμικός έλεγχος αναφέρεται στην τακτική μέτρηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης στο αίμα και στη ρύθμισή της, όταν χρειάζεται, με χορήγηση ινσουλίνης ή πρόσληψη επιπλέον γλυκόζης [42]. Τα φυσιολογικά επίπεδα διακύμανσης της γλυκόζης νηστείας είναι από 72-108 mg/dl, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, στο πλαίσιο καλού ελέγχου της γλυκόζης πρέπει η γλυκοζυλιωμένη αιμοσφαιρίνη (HbA1c) να είναι μικρότερη από 6 και το εύρος της συγκέντρωσης της γλυκόζης, δύο ώρες μετά το γεύμα, να είναι 90-144 mg/dl [1]. Η διατήρηση της γλυκόζης σε αποδεκτά επίπεδα είναι ένα σύνθετο πρόβλημα για τα άτομα με ΣΔ καθώς εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Τέτοιες παράμετροι μπορεί να είναι τόσο εξωγενείς όπως η χορηγούμενη ινσουλίνη, η διατροφή, η φυσική άσκηση και το άγχος όσο και ενδογενείς όπως η λειτουργία του ήπατος, του εγκεφάλου, των μυών, των νεφρών και του εντέρου.

1.5.1: Διατάξεις Μέτρησης Γλυκόζης

Οι διατάξεις μέτρησης γλυκόζης που είναι εμπορικά διαθέσιμες χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες, στις συμβατικές διατάξεις μέτρησης γλυκόζης (fingersticks) και στις Διατάξεις Συνεχούς Μέτρησης Γλυκόζης (ΔΣΜΓ). Τελευταία έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και μη επεμβατικοί αισθητήρες [43].

- Συμβατικές διατάξεις μέτρησης γλυκόζης [44]

Οι συμβατικές διατάξεις μέτρησης γλυκόζης βασίζονται στην χημική και φωτομετρική ανάλυση μικρής ποσότητας τριχοειδικού αίματος. Η λήψη του αίματος γίνεται μέσω κάποιας μορφής βελόνας από την άκρη του δαχτύλου, για αυτόν τον λόγο η συγκεκριμένη μέθοδος μέτρησης γλυκόζης θεωρείται επεμβατική. Το δείγμα έπειτα τοποθετείται σε ειδική ταινία μιας χρήσης η οποία είναι καλυμμένη με χημικές ενώσεις που αντιδρούν με την γλυκόζη του αίματος. Στην συνέχεια η ειδική ταινία εισάγεται στην συσκευή και υπολογίζεται άμεσα η συγκέντρωση της γλυκόζης. Υπάρχουν δύο μέθοδοι υπολογισμού γλυκόζης, στην πρώτη γίνεται μέτρηση της ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να περάσει από το αίμα ενώ στην δεύτερη γίνεται μέτρηση της ποσότητας της ανακλώμενης ακτινοβολίας από το δείγμα. Οι πιο σύγχρονες συσκευές διαθέτουν ενσωματωμένο λογισμικό για την αποθήκευση και ανάλυση μετρήσεων και παρέχουν την δυνατότητα σύνδεσης με Η/Υ.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ευκολία και η ταχύτητα πραγματοποίησης των μετρήσεων. Βασικό μειονέκτημα είναι το ότι η διαδικασία μπορεί να είναι επώδυνη λόγω της χρήσης βελόνας και λόγω του μεγάλου αριθμού νευρικών απολήξεων στην άκρη των δαχτύλων. Για να εξαλειφθεί αυτό το μειονέκτημα γίνονται προσπάθειες η λήψη του αίματος να γίνεται από εναλλακτικά σημεία όπως ο ανώτερος βραχίονας, η βάση του αντίχειρα και ο μηρός. Οι μετρήσεις αυτές θεωρούνται ακόμα αναξιόπιστες καθώς οι αλλαγές στην συγκέντρωση της γλυκόζης στα συγκεκριμένα σημεία εμφανίζονται πολύ αργότερα από τα ακροδάχτυλα παρόλα αυτά κυκλοφορούν συσκευές, με την έγκριση του αμερικανικού φορέα Food & Drug Administration(FDA), που δέχονται δείγματα από τα συγκεκριμένα σημεία [45].



Εικόνα 14 Τέσσερις γενεές συμβατικών μετρητών γλυκόζης



Εικόνα 15 Χρήση συμβατικού μετρητή γλυκόζης

- **Διατάξεις Συνεχούς Μέτρησης Γλυκόζης (ΔΣΜΓ)**

Οι συμβατικές διατάξεις μέτρησης παρόλο που προσφέρουν γρήγορο και έγκυρο αποτέλεσμα δεν επιτρέπουν την παρακολούθηση των διακυμάνσεων της γλυκόζης κατά την διάρκεια μέρας και νύχτας. Αυτήν την ανάγκη έρχονται να καλύψουν οι ΣΔΜΓ.

Οι ΔΣΜΓ διαχωρίζονται με βάση τη βιοχημική διαδικασία που εφαρμόζουν για την μέτρηση γλυκόζης καθώς και με το αν οι αισθητήρες είναι επεμβατικοί ή όχι.

• **Μη Επεμβατικοί Αισθητήρες Γλυκόζης**

Οι αισθητήρες αυτοί δεν χρειάζονται πρόσβαση στο αίμα για να μετρήσουν το επίπεδο της γλυκόζης. Οι μη επεμβατικοί αισθητήρες χωρίζονται σε δύο επιπλέον κατηγορίες:

1. Οπτικοί [1], [46]

Η μέτρηση με οπτικούς αισθητήρες πραγματοποιείται με εστίαση μια δέσμης φωτός σε κάποιο σημείο του οργανισμού. Το φως τροποποιείται από τον ιστό κατά την μετάδοσή του διαμέσου της εστιαζόμενης περιοχής, ενώ η διάχυσή του δημιουργεί συγκεκριμένο αποτύπωμα της σύστασης του ιστού. Η απορρόφηση του φωτός από το δέρμα εξαρτάται από τα χημικά συστατικά του δέρματος, ένα από τα οποία είναι και η γλυκόζη. Η συγκέντρωση της γλυκόζης μπορεί να καθοριστεί από την ανάλυση των μεταβολών του οπτικού συστήματος. Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται είναι οι εξής:

- Φασματοσκόπηση με ακτίνες κοντά στην συχνότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Υπέρυθρη φασματοσκοπία
- Φασματοσκοπία Ράμαν
- Φωτοακουστική φασματοσκοπία
- Μέτρηση της διάχυσης του σκεδαζόμενου φωτός
- Αλλαγές της πόλωσης

2. Δερματικοί [46]

Αυτή η κατηγορία αισθητήρων πραγματοποιεί μέτρηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης στο αίμα ή το μεσοκυττάριο υγρό, χωρίς να παραβιάζει το φράγμα του δέρματος. Στο σημείο μέτρησης μεταβάλλονται προσωρινά οι ιδιότητες του δέρματος και υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης ερεθισμού. Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται είναι οι εξής:

- Αντίστροφος ιονισμός
- Χρήση υπερήχων
- Φασματοσκόπηση της αντίστασης των ιστών



Εικόνα 16 Αισθητήρας γλυκόζης Gluco Wise



Εικόνα 17 Αισθητήρας γλυκόζης Gluco Watch

- **Επεμβατικοί Αισθητήρες Γλυκόζης**

Ένας τυπικός επεμβατικός αισθητήρας γλυκόζης αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

1. έναν μια χρήσης αισθητήρα γλυκόζης που τοποθετείται λίγο κάτω από το δέρμα ο οποίος αντικαθίσταται κάθε μερικές μέρες
2. μία σύνδεση από τον αισθητήρα σε ένα μη-εμφυτεύσιμο πομπό που επικοινωνεί με δέκτη ραδιοφωνικών συχνοτήτων
3. έναν ηλεκτρονικό δέκτη που τοποθετείται σαν βομβητής και δείχνει το επίπεδο της γλυκόζης με συνεχείς ενημερώσεις, καθώς επίσης και το αν η τάση είναι ανοδική ή καθοδική

Επεμβατικοί αισθητήρες γλυκόζης θεωρούνται οι εξής:

- Βιοαισθητήρες που χρησιμοποιούν το ένζυμο οξειδάση της γλυκόζης
- Αισθητήρες με βάση την τεχνική μικροδιάλυσης
- Εμφυτεύσιμοι αισθητήρες



Εικόνα 18 Επεμβατικός αισθητήρας γλυκόζης από την Dexcom

1.5.2: Μέθοδοι εξωγενούς χορήγησης ινσουλίνης

Η εξωγενής χορήγηση ινσουλίνης είναι ζήτημα μείζονος σημασίας για τα άτομα με ΣΔ. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι οι ημερήσιες πολλαπλές ενέσιμες δόσεις ινσουλίνης και οι αντλίες έγχυσης ινσουλίνης.

- **Ημερήσιες πολλαπλές ενέσιμες δόσεις ινσουλίνης [46], [47]**

Οι ενέσιμες δόσεις ινσουλίνης γίνεται κυρίως με συσκευές που ονομάζονται στυλό ινσουλίνης (insulin pens) και σπανιότερα με την χρήση συστήματος έγχυσης ινσουλίνης σε μορφή πίδακα υψηλής πίεσης. Τα στυλό ινσουλίνης αποτελούνται από το φυσίγγιο ινσουλίνης και ένα όργανο ένδειξης των μετρήσεων της δόσης. Ο ασθενής προσαρμόζει στη συσκευή τη βελόνα και, αφού καθορίσει την δόση, πιέζει το έμβολο για την χορήγηση. Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το μικρό μέγεθος της συσκευής, η ακρίβεια και η ευκολία στην χορήγηση της δόσης καθώς και το ότι η διαδικασία είναι σχετικά ανώδυνη.

Τα συστήματα έγχυσης ινσουλίνης σε μορφή πίδακα υψηλής πίεσης δεν χρησιμοποιούν βελόνα για την έγχυση ινσουλίνης καθώς η ινσουλίνη χορηγείται διαδερμικά. Αυτά τα συστήματα δεν χρησιμοποιούνται ευρέως καθώς παρουσιάζουν σημαντικά μειονεκτήματα όπως η πρόκληση πόνου και τοπικού ερεθισμού μεγαλύτερου από εκείνου των στυλό, ανάλωση χρόνου για τον καθαρισμό και την προετοιμασία αλλά και υψηλό κόστος.



Εικόνα 19 Διάφορα στυλό ινσουλίνης

- **Αντλίες έγχυσης ινσουλίνης**

Αποτελούν το πιο σύγχρονο μέσο εξωγενούς χορήγησης ινσουλίνης καθώς παρέχουν συνεχή ροή ινσουλίνης όλο το 24ωρο και η λειτουργία τους προσομοιάζει αυτήν του παγκρέατος [48]. Μία τυπική αντλία έγχυσης ινσουλίνης αποτελείται από: την αντλία (συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου, του συστήματος επεξεργασίας και των μπαταριών), ένα μιας χρήσης δοχείο ινσουλίνης (που βρίσκεται εντός της αντλίας) και ένα μιας χρήσης σετ έγχυσης, συμπεριλαμβανομένου του καθετήρα για υποδόρια εισαγωγή και ενός συστήματος σωληνώσεων διασύνδεσης του δοχείου ινσουλίνης με τον καθετήρα.

Οι αντλίες έγχυσης παρουσιάζουν τα εξής κλινικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συσκευές πολλαπλών ενέσεων [47]:

- Καλύτερο μεταβολικό έλεγχο (βελτίωση τιμής γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης, μείωση κινδύνου σοβαρής υπογλυκαιμίας, μικρότερες διακυμάνσεις γλυκόζης).
- Καλύτερη ποιότητα ζωής (αποφυγή επώδυνων ενέσεων, βελτίωση αίσθησης καλής υγείας, φυσιολογικότερη καθημερινότητα).

Τέλος σημαντικό βήμα στην τεχνολογία των αντλιών έγχυσης ινσουλίνης είναι η ενσωμάτωση ΣΔΜΓ σε αυτές [49], καθώς και η διασύνδεση του συνολικού συστήματος με ηλεκτρονικές πλατφόρμες για απομακρυσμένη διαχείριση και παρακολούθηση [50], [51], [52], [53]. Τα ολοκληρωμένα αυτά συστήματα δίνουν επιπρόσθετα πλεονεκτήματα στον χρήστη όπως [1]:

- Απαλλαγή από τις τακτικές μετρήσεις γλυκόζης από το δάχτυλο
- Προγραμματιζόμενος βασικός 24-ωρος ρυθμός
- Ασύρματη επικοινωνία αισθητήρα καταγραφής γλυκόζης(πομπού) με αντλία(δέκτη), με δυνατότητα ειδοποίησης σε περιπτώσεις υπεργλυκαιμίας και υπογλυκαιμίας
- Δυνατότητα εμφάνισης σε πραγματικό χρόνο των επιπέδων γλυκόζης ανά 5 λεπτά και γραφημάτων ή/και βέλων που εμφανίζουν τις τάσεις της γλυκόζης



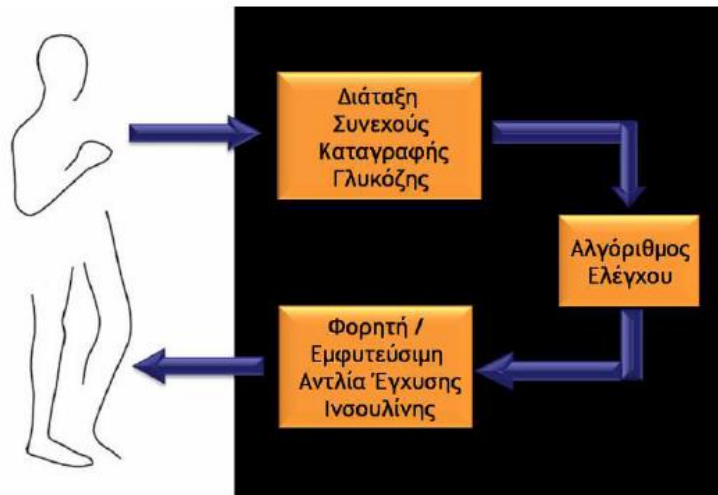
Εικόνα 20 Συνδυασμός ΔΣΜΓ με αντλία έγχυσης ινσουλίνης από την Medtronic



Εικόνα 21 Τρεις διαφορετικοί τρόποι έγχυσης ινσουλίνης. Από αριστερά προς τα δεξιά: στυλό ινσουλίνης, έγχυση σε μορφή πίδακα υψηλής πίεσης και αντλία έγχυσης

1.5.3: Τεχνητό Πάγκρεας

Εδώ και πολλά χρόνια έχει ξεκινήσει προσπάθεια ανάπτυξης αλγορίθμων για τον έλεγχο και την αυτόματη εύρεση του βέλτιστου ρυθμού έγχυσης ινσουλίνης. Οι αλγόριθμοι αυτοί σε συνδυασμό με τις ΣΔΜΓ και τις αντλίες έγχυσης ινσουλίνης καθιστούν ρεαλιστική την ανάπτυξη «τεχνητού παγκρέατος», δηλαδή ενός συστήματος κλειστού βρόχου που είναι σε θέση να αντικαταστήσει πλήρως την λειτουργία του παγκρέατος στην ομοίωση της γλυκόζης [1], [54].



Εικόνα 22 Σχηματικό διάγραμμα τεχνητού παγκρέατος

Όπως φαίνεται στην εικόνα 22 μία ΔΣΜΓ καταγράφει συνεχώς την συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα του ασθενούς. Οι τιμές αυτές αποστέλλονται, συνήθως ασύρματα, σε ένα ειδικό υπολογιστικό σύστημα που εκτελεί τον αλγόριθμο ελέγχου για να υπολογίσει τον ιδανικό ρυθμό έγχυσης και δίνει εντολή στην αντλία έγχυσης ινσουλίνης. Ο αλγόριθμος ελέγχου εκτός από την γλυκόζη πλάσματος ελέγχει και εξωτερικές διαταραχές όπως η πρόσληψη γεύματος και η φυσική άσκηση καθώς και την ταχύτητα δράσης της ινσουλίνης.

Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί χωρίς εξωτερική παρέμβαση από χρήστη ή ιατρό, είναι σημαντικό ο ελεγκτής να είναι ακριβής καθώς ακόμα και μικρά λάθη στην χορήγηση ινσουλίνης είναι δυνατό να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στον ασθενή.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετοί ελεγκτές που προσπαθούν να κλείσουν τον βρόχο μεταξύ ΣΔΜΓ και αντλιών έγχυσης ινσουλίνης [55], [56]. Οι ελεγκτές αυτοί παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω [1], [46]. Στους ελεγκτές αυτούς τα τελευταία χρόνια γίνεται η χρήση νευρωνικών δικτύων για να επιτευχθεί εξατομίκευση αλλά και πιο ακριβή αποτελέσματα [57], [58], [59].

- **Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός έλεγχος(ΑΟΔ)**

Είναι ο πιο κλασσικός και διαδεδομένος τύπος ελεγκτή και περιγράφεται από την σχέση:

$$u(t) = u_0 + k_c[e(t) + \frac{1}{t_i} \int e(t)dt + t_D \frac{de(t)}{dt}]$$

Ο ελεγκτής αυτός αποτελείται από ένα αναλογικό, ένα ολοκληρωματικό και ένα διαφορικό τμήμα όπως φαίνεται και από το όνομά του. Οι παράμετροι K_c , t_D και t_i αντιπροσωπεύουν το αναλογικό κέρδος, το ολοκληρωματικό κέρδος και το διαφορικό κέρδος αντίστοιχα. Η επιλογή των συγκεκριμένων παραμέτρων καθορίζει την συμπεριφορά του ΑΟΔ. Η συνάρτηση $e(t)$ αποτελεί την απόκλιση της εξόδου από την επιθυμητή τιμή και u_0 είναι σταθερός όρος. Στην περίπτωση εφαρμογής του ΑΟΔ για αλγορίθμους ελέγχου γλυκόζης ο αναλογικός όρος σχετίζεται με την δόση της ινσουλίνης, ο διαφορικός όρος βασίζεται στο ρυθμό μεταβολής της γλυκόζης και ο ολοκληρωτικός όρος σχετίζεται με την εξέλιξη της γλυκόζης για ένα χρονικό διάστημα.

- **Έλεγχος βασισμένος σε μοντέλο πρόβλεψης**

Ο έλεγχος που βασίζεται σε μοντέλο πρόβλεψης αποτελεί μια προηγμένη τεχνική ελέγχου. Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι για να εξαχθεί η το αποτέλεσμα λαμβάνονται υπ' όψη όχι μόνο τις παρελθοντικές τιμές αλλά και τις μελλοντικές τιμές εξόδου. Αυτό γίνεται με τη χρήση ενός μοντέλου πρόβλεψης της εξόδου του συστήματος για την παραγωγή προβλέψεων εντός καθορισμένου ορίζοντα πρόβλεψης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα του ελέγχου που βασίζεται σε μοντέλο πρόβλεψης είναι ότι μπορεί να χειριστεί και χρονικές καθυστερήσεις, χαρακτηριστικό που τον κάνει ιδανικό για χρήση σε ελεγκτές πρόβλεψης γλυκόζης. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο πρόβλεψης εξάγει τις προβλέψεις γλυκόζης και αυτές εισάγονται σε έναν βελτιστοποιητή που δίνει τους βέλτιστους ρυθμούς έγχυσης ινσουλίνης, ελαχιστοποιώντας μια συνάρτηση κόστους. Για την σχεδίαση ελεγκτών γλυκόζης βασισμένους σε μοντέλα πρόβλεψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραμμική ή μη γραμμική προσέγγιση (με χρήση διαμερισματικών μοντέλων ή νευρωνικών δικτύων) [60], [61].

- **Έλεγχος βασισμένος σε ασαφή λογική**

Η χρήση της ασαφούς λογικής για την υλοποίηση ελεγκτών γλυκόζης οφείλεται στην απλότητα, της αποδοτικότητα και την ευκολία τροποποίησης των παραγόμενων μοντέλων. Η ασαφής λογική βασίζεται στην λήψη αποφάσεων σε περιβάλλον αβεβαιότητας και αντικατοπτρίζει τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης. Με την συγκεκριμένη τεχνική δεν θεωρείται δεδομένο αν ένα στοιχείο ανήκει απόλυτα σε κάποιο σύνολο αλλά ανήκει με κάποιο βαθμό συμμετοχής. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης ασαφούς λογικής είναι το γεγονός ότι υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης της γνώσης και της εμπειρίας των ειδικών για τα συστήματα. Συνήθης τακτική είναι η χρήση ασαφούς λογικής σε νευρωνικά δίκτυα [62], [63], [64].

- **Αυτοσυντονιζόμενος έλεγχος**

Αυτός ο ελεγκτής είναι αρκετά διαδεδομένος γιατί επιφέρει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται συνήθως για έλεγχο συστημάτων που περιλαμβάνουν άγνωστες ή συνεχώς

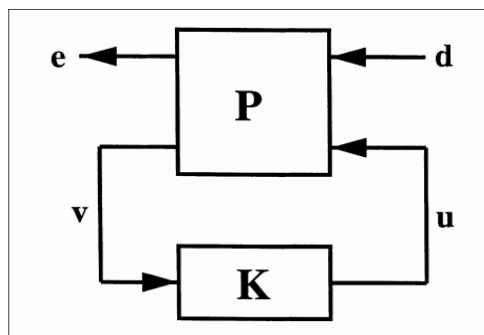
μεταβαλλόμενες παραμέτρους. Αποτελείται από έναν αλγόριθμο εκτίμησης των μεταβαλλόμενων άγνωστων παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, έναν νόμο ελέγχου που μπορεί να είναι μια απλή συνάρτηση κόστους ή ένας ΑΟΔ ελεγκτής και το σύστημα στο οποίο είσοδος είναι η έξοδος του ελεγκτή. Ο συγκεκριμένος ελεγκτής είναι ικανός να διαχειριστεί τις διαφοροποιήσεις του μεταβολισμού της γλυκόζης μεταξύ διαφόρων ατόμων με ΣΔ [65], [66].

- **Βέλτιστος γραμμικός έλεγχος**

Ο βέλτιστος γραμμικός έλεγχος χαρακτηρίζεται από πολυμεταβλητότητα καθώς είναι σε θέση να αντιμετωπίσει συστήματα με πολλές εισόδους και εξόδους. Εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που απαιτείται ελαχιστοποίηση κάποιου κριτηρίου κόστους, η οποία οδηγεί σε σχεδιασμό κατάλληλου νόμου ελέγχου. Αποτελείται από ένα σύνολο διαφορικών εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν την δυναμική εξέλιξη των μεταβλητών ελέγχου που ελαχιστοποιούν μια συνάρτηση κόστους του συστήματος.

- **H^∞ ελεγκτής**

Ο H^∞ ελεγκτής είναι κατάλληλος για την αντιμετώπιση συστημάτων που υπόκεινται σε διαταραχές και αβεβαιότητα ως προς τις παραμέτρους. Μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις πολυμεταβλητών συστημάτων αλλά παρουσιάζει το μειονέκτημα πως απαιτεί καλή μαθηματική διατύπωση του προβλήματος. Για την χρήση του ελεγκτή το πρόβλημα πρέπει να διατυπωθεί στην μορφή που φαίνεται στην εικόνα 23.



Εικόνα 23 Σύνθεση H^∞ προβλήματος

Το σύστημα P έχει δύο εισόδους και δύο εξόδους: η είσοδος d είναι η εξωγενής είσοδος που αποτελείται από το σήμα αναφοράς και τις διαταραχές που δρουν στο σύστημα, η είσοδος u είναι το σήμα ελέγχου μέσω του οποίου ελαχιστοποιείται η επίδραση της διαταραχής, η έξοδος v είναι το μετρούμενο σήμα εξόδου του συστήματος με βάση το οποίο επιλέγεται το σήμα ελέγχου και e είναι η έξοδος του συστήματος. Ο ελεγκτής H^∞ είναι σε θέση να διαχειρίζεται γεύματα, φυσική άσκηση καθώς και υπογλυκαιμικά επεισόδια κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία σοβαρών παιχνιδιών

Όπως φάνηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ο ΣΔ είναι μία ασθένεια που αφορά ένα μεγάλο ποσοστό ανθρώπων παγκοσμίως και έχει μεγάλο αντίκτυπο στις οικογένειες και στις χώρες των ανθρώπων αυτών. Όπως αναφέρθηκε σημαντικός παράγοντας για την ελαχιστοποίηση των επιπλοκών σε άτομα με ΣΔ, είναι η συμμόρφωσή τους με τις αγωγές που χορηγούν οι ιατροί. Ένας τρόπος προσέγγισης των ασθενών αυτών τις τελευταίες δεκαετίες είναι μέσω ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά γίνεται αναφορά στις προϋποθέσεις που πρέπει να έχει ένα ψηφιακό παιχνίδι για να θεωρηθεί «σοβαρό». Στην συνέχεια παρουσιάζονται διάφοροι τομείς στους οποίους έχουν εφαρμογή τα σοβαρά παιχνίδια. Από αυτούς τους τομείς δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον τομέα της υγείας και ειδικότερα στα σοβαρά παιχνίδια που αφορούν ασθενείς που πάσχουν από ΣΔ.

2.1: Ορισμός, σκοπός και τομείς εφαρμογής

Δύο έννοιες που συχνά συγχέονται είναι αυτές της παιχνιδοποίησης και των σοβαρών παιχνιδιών. Με τον όρο παιχνιδοποίηση αναφερόμαστε σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν στοιχεία παιχνιδιών, με στόχο να προσελκύσουν τον χρήστη να τις χρησιμοποιήσει. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν εφαρμογές που χρησιμοποιούν άτομα που τρέχουν για να καταμετρούν απόσταση, χρόνο άσκησης και θερμίδες. Σε αυτές τις εφαρμογές υπάρχουν έπαθλα, achievements, high scores και άλλα τα οποία αποτελούν στοιχεία παιχνιδιών [67].

Τα σοβαρά παιχνίδια από την άλλη πλευρά είναι ολοκληρωμένα ψηφιακά παιχνίδια. Ο ορισμός της έννοιας σοβαρό παιχνίδι είναι κάτι που έχει αναλυθεί πολύ αλλά δεν έχει εξαχθεί κάποιο τελικό συμπέρασμα [68]. Αυτό που είναι κοινά αποδεκτό από όλους είναι το ότι η ενασχόληση με ένα σοβαρό παιχνίδι έχει ως στόχο όχι μόνο την ψυχαγωγία αλλά και την εκμάθηση του χρήστη σε έναν ή περισσότερους τομείς.



Εικόνα 24 Σχέση παιχνιδιών, παιχνιδοποίησης και σοβαρών παιχνιδιών

Οι σημαντικότεροι τομείς στους οποίους τα σοβαρά παιχνίδια βρίσκουν εφαρμογή είναι [68], [69], [70] η υγεία, ο στρατός και η εκπαίδευση.

Στην υγεία οι σημαντικότερες εφαρμογές, έχουν σαν στόχο να ενημερώσουν τους ασθενείς για την πάθησή τους και πως μπορούν να την αντιμετωπίσουν αλλά και να συλλέξουν δεδομένα για διάφορες παθήσεις. Μεγάλο ρόλο στον τομέα της υγείας διαδραματίζουν και τα σοβαρά παιχνίδια που έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε ασθενείς με ψυχολογικά προβλήματα, όπως το μετατραυματικό στρες [71], την παχυσαρκία και τον ΣΔ. Μεγαλύτερη ανάλυση για τα σοβαρά παιχνίδια τον τομέα της υγείας γίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Ένας άλλος τομέας που επενδύει πολλά χρήματα στην ανάπτυξη τέτοιων παιχνιδιών είναι ο στρατός. Σοβαρά παιχνίδια χρησιμοποιούνται κυρίως για εκμάθηση των νέων τεχνολογιών, ανάπτυξη ανταντακλαστικών των χρηστών και προσομοίωση σχεδίων δράσης. Η σημαντικότερη εφαρμογή είναι οι προσομοιώσεις καταστάσεων πολέμου όπου οι παίχτες αναλαμβάνουν ρόλους που θα αναλάβουν και στην πραγματικότητα σε παρόμοιες καταστάσεις [72]. Στα συγκεκριμένα σοβαρά παιχνίδια οι παίχτες εκτελούν διαταγές και τακτικές που βασίζονται σε πραγματικές καταστάσεις. Πολλά από αυτά τα σοβαρά παιχνίδια συνδυάζονται με τεχνολογίες όπως τα Head-Mounted Displays έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης εμπύθιση του χρήστη και αποκοπή του από την πραγματικότητα.

Ένας μεγάλος αριθμός σοβαρών παιχνιδιών έχει δημιουργηθεί για τον τομέα της εκπαίδευσης και ειδικότερα για χρήση σε σχολεία και μουσειακούς χώρους. Τα περισσότερα σοβαρά παιχνίδια που χρησιμοποιούνται σε σχολεία έχουν ως σκοπό να εισάγουν τους μαθητές σε μαθηματικές ή φυσικές έννοιες. Υπάρχουν σοβαρά παιχνίδια στα οποία ο μαθητής παίζει με τους κανόνες της φυσικής και με αυτόν τον τρόπο κατανοεί έννοιες όπως η βαρύτητα, το φως και η ενέργεια [73]. Επίσης στον τομέα των μαθηματικών σοβαρά παιχνίδια έχουν χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσουν τα παιδιά σε αριθμητικές πράξεις καθώς και στην επίλυση προβλημάτων [74]. Χρήση σοβαρών παιχνιδιών μπορεί να γίνει και στον τομέα της ιστορίας σε σχολεία αλλά και σε μουσεία έτσι ώστε οι χρήστες να μπορέσουν να μάθουν για διάφορα ιστορικά γεγονότα με πιο ψυχαγωγικό και άμεσο τρόπο [75].

Οι παραπάνω τομείς είναι μόνο ένα ποσοστό από το σύνολο των εφαρμογών που μπορούν να έχουν τα σοβαρά παιχνίδια. Πρακτικά τέτοια παιχνίδια, ειδικά αυτά που προσομοιώνουν ρεαλιστικά περιβάλλοντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όποιο τομέα υπάρχει η ανάγκη εκμάθησης.

2.2: Εφαρμογές στον τομέα της υγείας

Όπως έχει προαναφερθεί ένας από τους βασικούς τομείς εφαρμογής των σοβαρών παιχνιδιών είναι αυτός της υγείας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σοβαρών παιχνιδιών που αφορούν τον τομέα της υγείας, οι περισσότεροι από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω [76].

- Εκπαιδευτικά

Τα σοβαρά παιχνίδια που εμπίπτουν στην συγκεκριμένη κατηγορία έχουν ως στόχο κυρίως την πληροφόρηση του χρήστη. Τα παιχνίδια αυτά μπορεί να αφορούν ιατρούς όπως κάποιο σοβαρό

παιχνίδι προσομοίωσης για χειρουργούς [77], μπορούν όμως επίσης να αφορούν ασθενείς που ενδιαφέρονται να ενημερωθούν για την ασθένειά τους. Ένα μεγάλο κομμάτι που εμπίπτει στο τελευταίο είναι και τα σοβαρά παιχνίδια για την ασθένεια του ΣΔ, που προσπαθούν να εκπαιδεύσουν τους ασθενείς για το πως θα μπορέσουν να κρατήσουν την γλυκόζη τους σε αποδεκτά επίπεδα.

- Συμπεριφορικά

Στόχος τέτοιων σοβαρών παιχνιδιών είναι να αλλάξουν το σκεπτικό του χρήστη πάνω σε συγκεκριμένα ζητήματα. Στην συγκεκριμένη κατηγορία υπάγονται σοβαρά παιχνίδια που προσπαθούν να πείσουν ασθενείς να ακολουθήσουν φαρμακευτικές αγωγές, όπως και επίσης σοβαρά παιχνίδια διατροφής που προσπαθούν να κάνουν τους χρήστες να αλλάξουν τις διατροφικές τους συνήθειες [78].

- Νοητικά

Στην κατηγορία των νοητικών σοβαρών παιχνιδιών ανήκουν αυτά που σαν στόχο έχουν να βοηθήσουν τους ασθενείς να εξασκήσουν το μυαλό τους. Τέτοια παιχνίδια μπορούν να βοηθήσουν άτομα που πάσχουν από την νόσο του Alzheimer οξύνοντας την μνήμη τους [79], [80]. Άλλη εφαρμογή υπάρχει σε άτομα που πάσχουν από κατάθλιψη [81], [82] έτσι ώστε να μπορέσουν να ξεπεράσουν το πρόβλημά τους, όπως επίσης και για την καταπολέμηση διαταραχών όπως Impulse Control Disorders – ICDs [83].

- Εκγύμνασης

Στην συγκεκριμένη κατηγορία εμπίπτουν σοβαρά παιχνίδια που προωθούν την φυσική άσκηση. Σημαντικός αριθμός σοβαρών παιχνιδιών που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία αφορούν άτομα που είναι παχύσαρκα [84], [85]. Η παχυσαρκία είναι σημαντική πάθηση καθώς εμφανίζεται και σε άτομα νεαρής ηλικίας, μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα και επίσης είναι εύκολο να αντιμετωπισθεί πλήρως με κατάλληλη διατροφή και γυμναστική, έννοιες που προωθούν τα συγκεκριμένα σοβαρά παιχνίδια. Επίσης σοβαρά παιχνίδια που μπορούν να ωθήσουν κάποιον στο να εκτελέσει ασκήσεις καθώς και να τον συμβουλέψουν πάνω σε αυτές, έχουν αναπτυχθεί για παθήσεις όπως οι πόνοι στην μέση [86].

- Αποκατάστασης

Αυτή η κατηγορία χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες [87], η μία αφορά φυσική αποκατάσταση [88] και η άλλη την διανοητική αποκατάσταση. Τα σοβαρά παιχνίδια της πρώτης υποκατηγορίας έχουν κοινά με αυτά της εκγύμνασης καθώς και αυτά της δεύτερης υποκατηγορίας με τα νοητικά, αλλά τα σοβαρά παιχνίδια αποκατάστασης αφορούν άτομα που τραυματίστηκαν σωματικά ή πνευματικά και προσπαθούν να επαναφέρουν την κατάστασή τους σε αυτή πριν τον τραυματισμό. Σοβαρά παιχνίδια που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία αφορούν άτομα που έχουν περάσει εγκεφαλικό επεισόδιο και βρίσκονται στην φάση αποκατάστασης [89], [90], [91].

- Υβριδικά

Στην τελευταία αυτή κατηγορία κατατάσσονται όσα σοβαρά παιχνίδια ενσωματώνουν χαρακτηριστικά από 2 ή παραπάνω από τις ανώτερες κατηγορίες.

2.3: Εφαρμογές στον Σακχαρώδη Διαβήτη

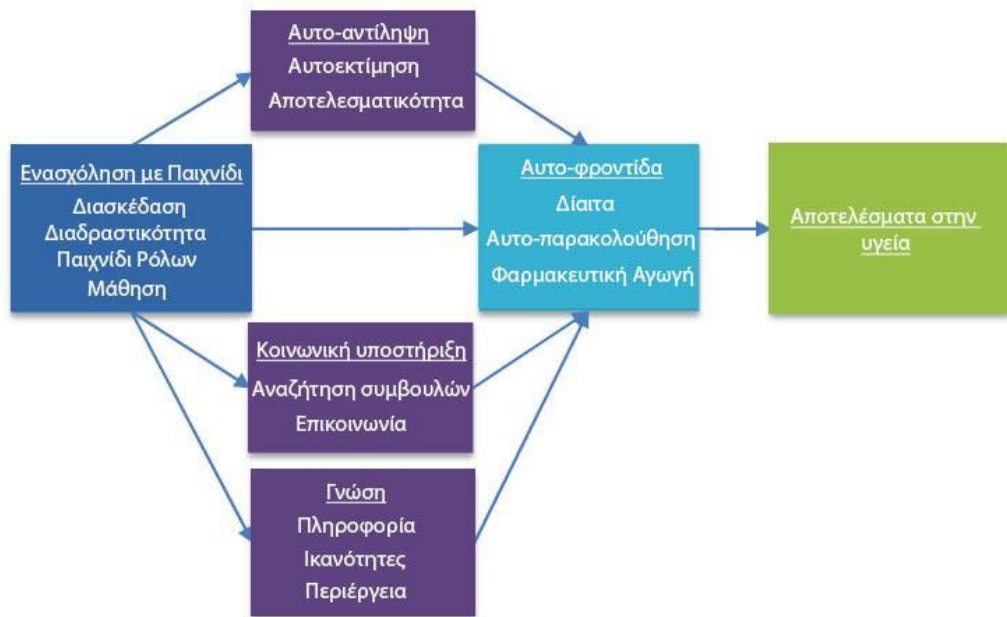
Μία από τις ασθένειες που προσελκύει το ενδιαφέρον γιατρών και ερευνητών για την δημιουργία σοβαρών παιχνιδιών είναι ο ΣΔ. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι είναι μια ασθένεια της οποίας οι αρνητικές συνέπειες μπορούν να μετριαστούν με κατάλληλη φροντίδα και επίσης αφορά ως ένα βαθμό άτομα από πολύ μικρές ηλικίες. Πολύ σημαντικό για την καταπολέμηση τυχόν επιπλοκών που φέρει ο ΣΔ είναι η σωστή πληροφόρηση αλλά και η συμμόρφωση του ασθενή με τις εντολές των γιατρών. Αυτοί είναι και οι δύο βασικοί στόχοι των σοβαρών παιχνιδιών που έχουν αναπτυχθεί για άτομα με ΣΔ. Αφενός να ενημερώσουν τον χρήστη για την ασθένειά του και αφετέρου να τον βοηθήσουν να ακολουθεί την εκάστοτε αγωγή.

Σοβαρά παιχνίδια έχουν αναπτυχθεί για ασθενείς με ΣΔΤ1, για ασθενείς με ΣΔΤ2 αλλά και για ιατρούς που ασχολούνται με την συγκεκριμένη πάθηση. Μεγαλύτερη έρευνα έχει γίνει για άτομα με ΣΔΤ1 καθώς αυτός ο τύπος διαβήτη είναι πιο σοβαρός και συχνά εντοπίζεται σε άτομα νεαρής ηλικίας, τα οποία είναι πιο δύσκολο να ακολουθήσουν συμβουλές και αγωγές.

Αρκετά σοβαρά παιχνίδια έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες που σχετίζονται με τον ΣΔ, τέσσερα εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

- Packy & Marlon(1995)

Το σοβαρό παιχνίδι Packy & Marlon κυκλοφόρησε τον Ιούνιο του 1995 για την πλατφόρμα Super Nintendo Entertainment System(SNES) και είναι ένα από τα πρώτα σοβαρά παιχνίδια για ασθενείς με ΣΔ. Ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών παιχνιδιών καθώς συνδυάζει στοιχεία εκπαιδευτικών και συμπεριφορικών παιχνιδιών. Σχεδιάστηκε για να ενισχύσει την αυτοπεποίθηση των παιδιών με ΣΔΤ1, αλλά και να τους ενθαρρύνει να ακολουθήσουν την αγωγή για να ρυθμίζουν το επίπεδο της γλυκόζης. Πρωταγωνιστές είναι δύο έφηβοι ελέφαντες με ΣΔ οι οποίοι έδωσαν το όνομά τους και στον τίτλο του παιχνιδιού. Σκοπός του παιχνιδιού είναι οι ελέφαντες να καταφέρουν να ανακτήσουν από μια συμμορία ποντικών κλεμμένα φαγητά και φάρμακα, ενώ παράλληλα να παίρνουν δόσεις ινσουλίνης, να επιλέγουν τις κατάλληλες τροφές για να φάνε και να μετρούν την γλυκόζη τους έτσι ώστε να την κρατούν εντός αποδεκτών ορίων.



Εικόνα 25 Θεωρητικό μοντέλο στόχων Packy & Marlon



Εικόνα 26 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), ένδειξη υψηλής γλυκόζης (πάνω δεξιά), μηχανισμός μέτρησης γλυκόζης (κάτω αριστερά), μηχανισμός χορήγησης ινσουλίνης (κάτω δεξιά)

Το 1997 διεξήχθη μελέτη από το Ιατρικό Κέντρο του Πανεπιστημίου Stanford για τις επιδράσεις που είχε το συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι σε ασθενείς ηλικίας 8 μέχρι 16 ετών. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι έξι μήνες μετά την έναρξη ενασχόλησης με το συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι, οι επείγουσες επισκέψεις σε κλινικές μειώθηκαν περισσότερο από 70%, σε σχέση με πριν. Επίσης τα παιδιά αυτά ανέπτυξαν καλύτερη επικοινωνία με την οικογένειά τους για τον ΣΔ και σημαντική αλλαγή συμπεριφοράς αναφορικά με την υγεία τους [92].

- The Diabetic Dog(2009)

Το The Diabetic Dog είναι ένα εκπαιδευτικό σοβαρό παιχνίδι που δημοσιεύτηκε το 2009 από την Nobel Media και στόχευε στο να διδάξει τους παίκτες τις βασικές αρχές για τον ΣΔ. Το σοβαρό αυτό παιχνίδι είναι διαθέσιμο και ο καθένας μπορεί να ασχοληθεί μαζί του στον περιηγητή του [93]. Ο χρήστης αναλάβει την φροντίδα ενός σκύλου που πάσχει από ΣΔ και του δίνονται οδηγίες για το πως θα κρατήσει τον σκύλο σε αποδεκτά επίπεδα γλυκόζης. Στον χρήστη δίνεται η δυνατότητα να χορηγεί στον σκύλο ινσουλίνη, τροφή και να τον πηγαίνει βόλτα. Υπάρχει διαρκής ένδειξη της γλυκόζης του σκύλου και του χρόνου καθώς και παρενέργειες του ΣΔ όπως η συχνουρία και η δίψα. Επίσης υπάρχει σαφής ένδειξη κινδύνου για τις υπεργλυκαιμίες και υπογλυκαιμίες.



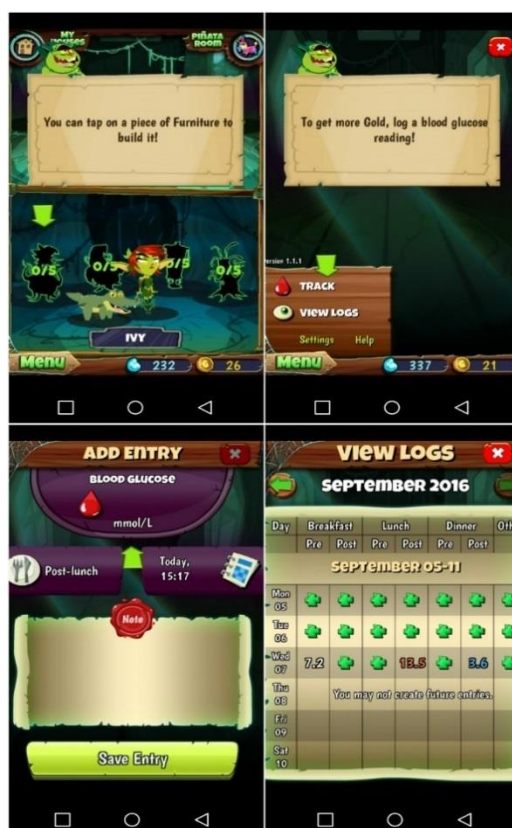
Εικόνα 27 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), επιλογή τροφής (πάνω δεξιά), μηχανισμός φυσικής άσκησης (κάτω αριστερά), ένδειξη υψηλής γλυκόζης (κάτω δεξιά)

Κάθε μέρα που περνάει ο χρήστης ανταμείβεται με χρήματα ανάλογα με πως τα έχει καταφέρει μέσα στη μέρα με τα οποία μπορεί να αγοράσει τρόφιμα και κοσμητικά αντικείμενα. Στην περίπτωση που ο χρήστης εγκαταλείψει τον σκύλο ή δεν είναι καθόλου αποδοτικός στην φροντίδα του εμφανίζεται ειδοποίηση ότι ο σκύλος μεταφέρθηκε σε νοσοκομείο και προτρέπει τον χρήστη να

ενημερωθεί περαιτέρω για τον ΣΔ. Το παιχνίδι θεωρήθηκε ότι είναι σε θέση να βοηθήσει άτομα που δεν έχουν γνώσεις σχετικά με τον ΣΔ καθώς παρέχει πολλές βασικές πληροφορίες, αλλά για να υπάρχει σωστός έλεγχος της γλυκόζης οι ασθενείς χρειάζονται περισσότερες πληροφορίες [94].

- Monster Manor (2013)

Το σοβαρό παιχνίδι Monster Manor [95] αναπτύχθηκε από την συνεργασία των Sanofi, Diabetes UK και Ayogo Health. Ανήκει στην κατηγορία των συμπεριφορικών παιχνιδιών καθώς σχεδιάστηκε με στόχο να ενθαρρύνει παιδιά με ΣΔΤ1 να παίρνουν μετρήσεις της γλυκόζης τους τακτικά και γενικότερα να φροντίσουν την υγεία τους. Το συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι κυκλοφόρησε για κινητά και tablet το 2013. Ο παίχτης έχει ως στόχο να δημιουργήσει μικρά τερατόμορφα πλάσματα καθώς και έπιπλα για τα σπίτια που διαμένουν, με την χρήση φασολιών, έτσι ώστε να κερδίζει νομίσματα με τα οποία μπορεί να αγοράσει κατοικίδια για αυτά. Το σημαντικό χαρακτηριστικό του σοβαρού παιχνιδιού είναι η δυνατότητα του χρήστη να εισάγει τις μετρήσεις γλυκόζης του, να κρατάει ιστορικό των τιμών της γλυκόζης καθώς και της ώρας που πάρθηκαν καθώς και αν είναι προγευματικές ή μεταγευματικές. Κάθε φορά που ο χρήστης εισάγει την γλυκόζη του ανταμείβεται. Στο αρχείο καταγραφής εμφανίζονται με διαφορετικό χρώμα οι τιμές της γλυκόζης ανάλογα με τον αν είναι εντός φυσιολογικών ορίων, μεγαλύτερες ή μικρότερες. Οι γονείς έχουν επίσης την δυνατότητα να στείλουν στα παιδιά τους επιπλέον αντικείμενα ως επιβράβευση για τις προσπάθειές τους.



Εικόνα 28 Περιβάλλον σοβαρού παιχνιδιού (πάνω αριστερά), μενού επιλογών (πάνω δεξιά), προσθήκη νέας εγγραφής (κάτω αριστερά), ημερολόγιο μετρήσεων (κάτω δεξιά)

Μέχρι σήμερα πάνω από 100 άτομα έχουν χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο παιχνίδι. Στην βιβλιογραφία δεν αναφέρονται αποτελέσματα αξιολόγησης του συγκεκριμένου σοβαρού παιχνιδιού.

- InsuOnline (2013)

Το σοβαρό παιχνίδι InsuOnline [96] αναπτύχθηκε από το κρατικό πανεπιστήμιο της Londrina (Universidade Estadual de Londrina -UEL) και την εταιρία Oniria και κυκλοφόρησε για ηλεκτρονικούς υπολογιστές το 2013 ενώ πρόσφατα διατέθηκε και έκδοση για φορητές συσκευές. Ανήκει στην κατηγορία των εκπαιδευτικών σοβαρών παιχνιδιών, είναι μία από τις πρώτες προσπάθειες δημιουργίας ενός τρισδιάστατου σοβαρού παιχνιδιού για τον ΣΔ και σχεδιάστηκε για την εκπαίδευση ιατρών που σκοπεύουν να ασχοληθούν με τον ΣΔ. Ο χρήστης παίρνει τον ρόλο ενός νεαρού ιατρού ο οποίος πρέπει να εξετάζει ασθενείς με ΣΔ, να τους αξιολογεί, να τους συμβουλεύει για την αγωγή τους και για το πως θα αποκτήσουν καλύτερο γλυκαιμικό έλεγχο. Όταν ο παίκτης δώσει σωστές συμβουλές συνεχίζει στον επόμενο ασθενή, ενώ αν αποτύχει ξεκινάει την εξέταση του ασθενή από την αρχή. Οι ασθενείς είναι κλιμακούμενης δυσκολίας.



Εικόνα 29 Καρτέλα ασθενούς (πάνω αριστερά), μενού εξετάσεων (πάνω δεξιά), ερώτηση εξέτασης (κάτω αριστερά), συνταγογράφηση (κάτω δεξιά)

Σε έρευνα [96] που πραγματοποιήθηκε δημιουργήθηκαν δύο ομάδες προπτυχιακών φοιτητών ιατρικής. Στην ομάδα του παιχνιδιού δόθηκε πρόσβαση στο συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι χρόνο ενώ η ομάδα παραδοσιακής εκπαίδευσης παρακολούθησε διάλεξη και συζήτηση κλινικών περιπτώσεων. Η διάρκεια και τα περιεχόμενα ήταν παρόμοια και για τις δύο ομάδες. Στην συνέχεια ζητήθηκε από τους φοιτητές να απαντήσουν σε ερωτηματολόγια σχετικά με τον ΣΔ και την ινσουλινοθεραπεία. Από τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων οι ερευνητές αποφάνθηκαν ότι το InsuOnline ήταν τουλάχιστον τόσο αποδοτικό όσο η παραδοσιακή μέθοδος ή λίγο περισσότερο.

2.4: Ερευνητικές Προκλήσεις

Τα σοβαρά παιχνίδια που παρουσιάστηκαν παραπάνω αποτελούν μερικά από τα πιο αξιολογικά εγχειρήματα της εφαρμογής των σοβαρών παιχνιδιών στον τομέα του ΣΔ. Όμως τα σοβαρά παιχνίδια αυτά έχουν αρκετά προβλήματα και ελλείψεις. Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα είναι ότι δίνεται πολύ περισσότερη έμφαση στο παρουσιαστικό καθώς και το ψυχαγωγικό κομμάτι και παραμελείται η επιστημονική εγκυρότητα που πρέπει να έχει ένα σοβαρό παιχνίδι. Σε άλλες περιπτώσεις σοβαρά παιχνίδια έχουν ακριβές επιστημονικό υπόβαθρο αλλά αποτυγχάνουν στην προσθήκη του ψυχαγωγικού στοιχείου και πλησιάζουν περισσότερο στον κλάδο της παιχνιδοποίησης παρά των σοβαρών παιχνιδιών. Το να βρεθεί μια χρυσή τομή ανάμεσα στην εκπαίδευση και την ψυχαγωγία είναι μεν δύσκολο αλλά είναι αναγκαίο για την δημιουργία ενός σοβαρού παιχνιδιού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο παράδειγμα.

Πιο συγκεκριμένα στο σοβαρό παιχνίδι Packy & Marlon δεν γίνεται υπολογισμός της τιμής της συγκέντρωσης γλυκόζης. Το εύρος των δυνατών τιμών χωρίζεται σε τρία τμήματα: υψηλό, κανονικό και χαμηλό. Στον χρήστη δίνονται, στην αρχή του κάθε επιπέδου, οδηγίες για τις τροφές που πρέπει να καταναλώσει και για τις δόσεις ινσουλίνης που πρέπει να χορηγήσει. Αν ο χρήστης ακολουθήσει επακριβώς τις οδηγίες, η γλυκόζη του ήρωα θα μείνει στην κανονική περιοχή. Αν ο χρήστης δεν ακολουθήσει τις οδηγίες ο υπολογισμός της ζώνης που θα βρεθεί η γλυκόζη, υπολογίζεται μέσω της απόκλισης των ενεργειών του χρήστη από αυτές που είχαν προταθεί [92]. Το Packy & Marlon παρόλο το χαμηλό επιστημονικό υπόβαθρο κατάφερε να προωθήσει έννοιες σχετικές με τον ΣΔ καθώς και να επιφέρει αλλαγές στην συμπεριφορά ασθενών, πράγμα που δείχνει τις προοπτικές που μπορούν να έχουν παρόμοια εγχειρήματα.

Στο σοβαρό παιχνίδι The Diabetic Dog υπάρχει μεγαλύτερη ελευθερία σχετικά με τις τροφές που μπορούν να ληφθούν ωστόσο υπάρχει μόνο μία ποσότητα ενέσιμης ινσουλίνης. Η σχέση μεταξύ χορήγησης ινσουλίνης, λήψης υδατανθράκων και φυσικής άσκησης φαίνεται να είναι εντελώς γραμμική με την συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα. Η λήψη γεύματος προκαλεί απευθείας αύξηση στην γλυκόζη αίματος με σταθερό ρυθμό ανάλογα την τροφή που λήφθηκε. Με παρόμοιο τρόπο λειτουργούν η χορήγηση ινσουλίνης και η φυσική άσκηση που ρίχνουν με σταθερό ρυθμό την συγκέντρωση γλυκόζης. Επίσης δεν υπάρχει κάποιος έλεγχος για περιπτώσεις λήψης υπερβολικής ποσότητας υδατανθράκων και χορήγησης υπερβολικής ποσότητας ινσουλίνης για αντιστάθμιση, καθώς το αποτέλεσμα φαίνεται απολύτως φυσιολογικό. Από τα παραπάνω εξάγεται ότι ο τρόπος που προσομοιώνεται ο μεταβολισμός γλυκόζης είναι πολύ απλοϊκός για την επίτευξη εκπαίδευσης των χρηστών και αρκεί μόνο για ενημέρωση γύρω από τις βασικές αρχές του γλυκαιμικού ελέγχου.

Το σοβαρό παιχνίδι Monster Manor αποτελεί ένα από τα λίγα σοβαρά παιχνίδια που έχουν κυκλοφορήσει για φορητές συσκευές. Έχει δοθεί ιδιαίτερη βάση στα γραφικά και στο γενικότερο παρουσιαστικό της εφαρμογής. Το σοβαρό αυτό παιχνίδι αποτελείται από δύο σκέλη. Από την μία πλευρά βρίσκεται το ψυχαγωγικό κομμάτι με τα τερατόμορφα πλάσματα και από την άλλη το ημερολόγιο με τις μετρήσεις γλυκόζης. Το μόνο στοιχείο που ενώνει τα δύο αυτά τμήματα είναι οι ανταμοιβές που λαμβάνει ο χρήστης όταν εισάγει μέτρηση γλυκόζης. Λόγω του παραπάνω το ένα σκέλος του σοβαρού παιχνιδιού φαίνεται να είναι αποκομμένο από το άλλο. Επίσης ο χρήστης λαμβάνει επιβράβευση σε κάθε εισαγωγή μέτρησης γλυκόζης χωρίς να υπάρχει περιορισμός στο πόσες φορές μπορεί να εισάγει μέτρηση και χωρίς να υπάρχουν όρια στις τιμές που εισάγει. Αυτό

μπορεί να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα καθώς δεν έχει σημασία μόνο να ληφθεί η μέτρηση αλλά και το πότε λαμβάνεται καθώς και η τιμή της. Το σοβαρό αυτό παιχνίδι μπορεί να ωθήσει τα παιδιά με ΣΔ να λαμβάνουν μετρήσεις γλυκόζης αλλά θεωρείται ότι πρέπει να γίνεται με την επίβλεψη των κηδεμόνων ή να χρησιμοποιηθεί από ασθενείς που έχουν ήδη γνώσεις σχετικά με την διαχείριση του ΣΔ.

Τέλος το InsuOnline υπάγεται στην περίπτωση των σοβαρών παιχνιδιών με προσεγμένο επιστημονικό υπόβαθρο στα οποία δεν έχει δοθεί η απαραίτητη προσοχή στο κομμάτι του παρουσιαστικού ή της ψυχαγωγίας του χρήστη. Δεδομένου ότι στοχεύει σε προπτυχιακούς φοιτητές ιατρικής, έχει δοθεί προσοχή στην δημιουργία ρεαλιστικών σεναρίων και επιλογών. Τα σενάρια αυτά έχουν σχεδιαστεί από ομάδα ενδοκρινολόγων και ειδικών στην ιατρική εκπαίδευση. Το σημαντικότερο πρόβλημα εντοπίζεται από πλευράς γραφικών καθώς έγινε μια βεβιασμένη προσπάθεια χρήσης τρισδιάστατων γραφικών και το αποτέλεσμα δεν θεωρείται ιδιαίτερα ελκυστικό. Παρόλο που το εκπαιδευτικό κομμάτι του σοβαρού παιχνιδιού είναι άρτιο και το σοβαρό παιχνίδι είναι σε θέση να βελτιώσει τις γνώσεις των προπτυχιακών φοιτητών, τα γραφικά και η πλοκή απωθούν τους χρήστες αντί να τους προσελκύουν.

Παρόλα τα προβλήματα και τις ελλείψεις, τα αποτελέσματα στον τομέα της αντιμετώπισης του ΣΔ τόσο από την μεριά των ασθενών όσο και από την μεριά των ιατρών είναι ενθαρρυντικά. Είναι φανερό λοιπόν ότι τα σοβαρά παιχνίδια έχουν μια πολύ σημαντική θέση στην αντιμετώπιση του ΣΔ και ειδικότερα του ΣΔΤ1 καθώς μπορούν με ευχάριστο τρόπο να εκπαιδεύσουν τους χρήστες για την ασθένεια καθώς και να τους βοηθήσουν να αναπτύξουν υγιείς συνήθειες οι οποίες θα τους επιτρέψουν να αποφύγουν τις επικίνδυνες επιπλοκές του ΣΔ στο μέλλον. Το εγχείρημα να δημιουργηθεί ένα σοβαρό παιχνίδι το οποίο να είναι ρεαλιστικό ως προς την προσομοίωση της πραγματικότητας, να έχει άρτιο επιστημονικό υπόβαθρο χωρίς να παραμελείται το παρουσιαστικό του και η πλοκή του, θεωρείται αρκετά δύσκολο, όμως τα οφέλη που θα αποκομίσουν οι χρήστες του θεωρούνταν υπεραρκετά για να γίνουν τέτοιες ολοκληρωμένες προσπάθειες.

Γεγονός που διευκολύνει την προσέγγιση των νεαρών ασθενών είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας, καθώς κάθε παιδί και έφηβος στις ημέρες μας έχει πρόσβαση σε smartphone ή tablet και επίσης αφιερώνει πολλές ώρες σε αυτά. Εκεί έγκειται η προσπάθεια των ερευνητών να δημιουργούν σοβαρά παιχνίδια που στοχεύουν φορητές συσκευές. Επιπρόσθετα εκτός από την ενημέρωση και εκπαίδευση των παιδιών και εφήβων με ΣΔ τέτοια σοβαρά παιχνίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για διαλογή στοιχείων και στατιστικών για τον ΣΔΤ1 που πιθανόν να μην ήταν δυνατόν να ληφθούν με άλλη μέθοδο. Είναι λοιπόν είναι αναγκαία η δημιουργία τέτοιων σοβαρών παιχνιδιών που θα είναι σε θέση να πλησιάσουν τους ασθενείς και ιδιαίτερα τους νεαρότερους σε ηλικία.

Κεφάλαιο 3: Υλοποίηση σοβαρού παιχνιδιού για την εκπαίδευση παιδιών με ΣΔΤ1

Η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του σοβαρού παιχνιδιού ονομάζεται GameMaker: Studio και έχει αναπτυχθεί από την εταιρία YoYo Games. Η πρώτη κυκλοφορία του λογισμικού αυτού έγινε στις 15 Νοεμβρίου του 1999 και τώρα βρίσκεται στην έκδοση v1.4.1749. Το GM είναι σχεδιασμένο για την δημιουργία 2D παιχνιδιών για όλες τις διαθέσιμες πλατφόρμες. Η δημιουργία του παιχνιδιού μπορεί να γίνει μέσω ενός συστήματος drag and drop όπου χρησιμοποιούνται εικονίδια που αντιπροσωπεύουν διάφορες ενέργειες (πχ. πάτημα κουμπιού) αλλά και μέσω προγραμματισμού. Η προγραμματιστική γλώσσα που χρησιμοποιείται ονομάζεται GameMaker Language – GML, είναι scriptογλώσσα (scripting language) και είναι βασισμένη στην γλώσσα προγραμματισμού C. Το παρόν σοβαρό παιχνίδι είναι γραμμένο σε GML με πολύ λίγα στοιχεία drag and drop.

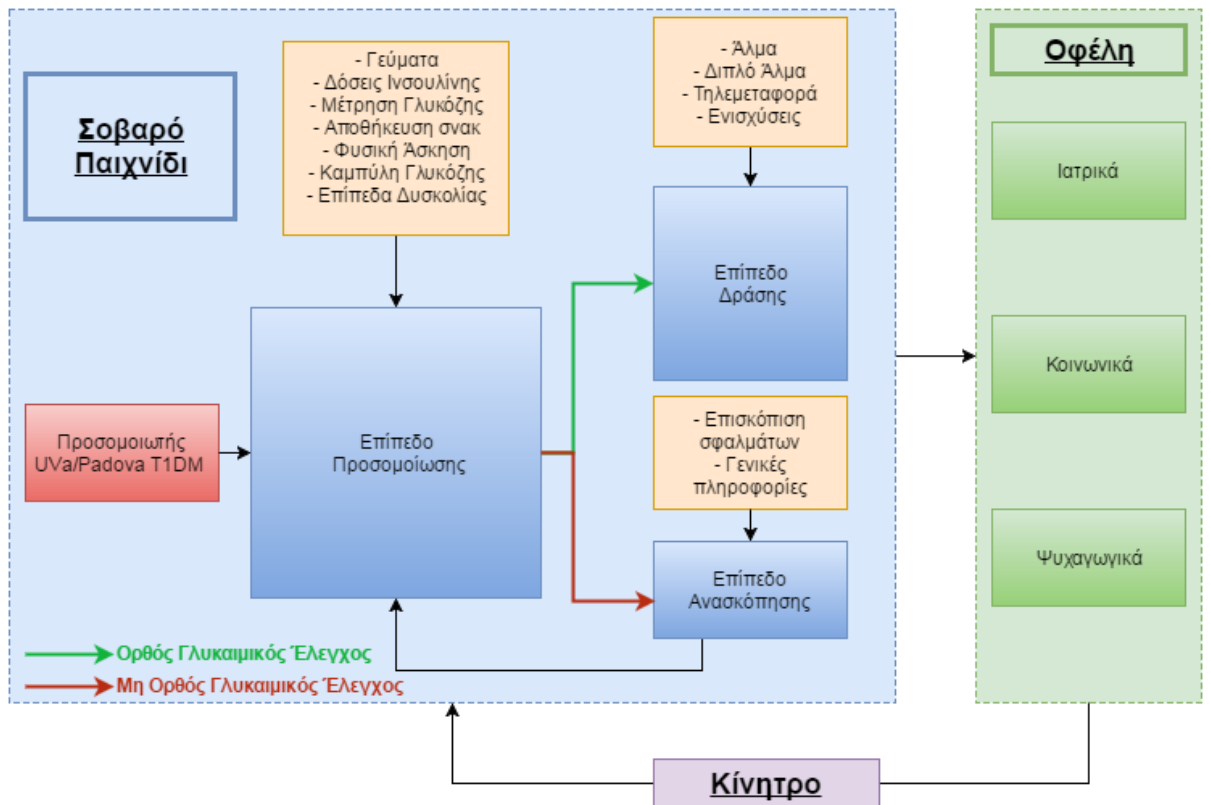
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, γίνεται αναφορά στο εννοιολογικό πλαίσιο (conceptual framework) του σοβαρού παιχνιδιού που αναπτύχθηκε καθώς και στις λειτουργίες του. Τέλος αναφέρονται τα αναμενόμενα οφέλη που θα αποκομίσει κάποιος που θα ασχοληθεί με το συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι.

3.2: Εννοιολογικό Πλαίσιο - Conceptual framework

Ο σκοπός της δημιουργίας του συγκεκριμένου σοβαρού παιχνιδιού ήταν να δημιουργηθεί μια εφαρμογή κυρίως για τα παιδιά είτε με ΣΔΤ1 αλλά και για υγιή και με ευχάριστο τρόπο να τα ενημερώσει για την ασθένεια του ΣΔ. Επειδή ο ΣΔΤ1 εμφανίζεται από μικρές ηλικίες θεωρήθηκε κρίσιμο να επικεντρωθούμε σε αυτές. Τα παιδιά με ΣΔΤ1 πρέπει καθημερινά να μετρούν την συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα και να χορηγούν εξωτερική ινσουλίνη, πράγμα επώδυνο και τρομακτικό για την ηλικία τους. Στόχος του παρόντος σοβαρού παιχνιδιού είναι οι νεαροί ασθενείς να αποδεχτούν και να κατανοήσουν όσο το δυνατό νωρίτερα τον ΣΔ και τα οφέλη που μπορεί να τους αποφέρει ο σωστός γλυκαιμικός έλεγχος.

Ο τομέας των σοβαρών παιχνιδιών για ΣΔΤ1 βρίσκεται ακόμα σε αρχικά στάδια και έγινε προσπάθεια δημιουργίας ενός σοβαρού παιχνιδιού που θα αποτελέσει βάση αλλά και έμπνευση για παρόμοια εγχειρήματα. Το σοβαρό αυτό παιχνίδι παρόλο που έχει έντονα τα στοιχεία ψυχαγωγίας έχει επίσης ένα σοβαρό επιστημονικό υπόβαθρο καθώς και μεγάλες δυνατότητες επεκτασιμότητας.

Για τον σχεδιασμό του σοβαρού παιχνιδιού αρχικά δημιουργήθηκε ένα σχεδιάγραμμα που περιλαμβάνει την ροή του παιχνιδιού, τους μηχανισμούς του καθώς και τα αναμενόμενα οφέλη που θα αποκομίσουν οι χρήστες από την ενασχόλησή τους με αυτό. Στην εικόνα 28 φαίνεται το εννοιολογικό πλαίσιο το οποίο αποτέλεσε βάση για την δημιουργία του συγκεκριμένου σοβαρού παιχνιδιού.



Εικόνα 30 Εννοιολογικό πλαίσιο σοβαρού παιχνιδιού

Βασικός χαρακτήρας του σοβαρού παιχνιδιού είναι ένα παιδί με ΣΔΤ1 το οποίο βασίζεται στον χρήστη για να αποκτήσει ορθό γλυκαιμικό έλεγχο. Το σοβαρό παιχνίδι αποτελείται από δύο βασικά σκέλη. Αρχικά υπάρχει ένα επίπεδο(επίπεδο προσομοίωσης/ημέρα) το οποίο θα είναι προσομοίωση της καθημερινότητας του χρήστη. Σε αυτό το επίπεδο παρουσιάζεται μια τυπική μέρα παιδιού η οποία περιλαμβάνει το περιβάλλον του σπιτιού, του σχολείου καθώς και επιπλέον δραστηριοτήτων. Κατά την διάρκεια του επιπέδου προσομοίωσης ο χρήστης έχει στην διάθεσή του τα εφόδια για να κρατήσει την συγκέντρωση γλυκόζης του ήρωα σε αποδεκτά επίπεδα. Έχουν ενσωματωθεί μηχανισμοί πρόσληψης γευμάτων, μέτρησης γλυκόζης, φυσικής άσκησης και χορήγησης ινσουλίνης ενώ ο μεταβολισμός της γλυκόζης βασίστηκε στον προσομοιωτή UVa/Padova T1DM. Ο χρήστης εκτός από τον έλεγχο που έχει στην συγκέντρωση γλυκόζης του ήρωα έχει την δυνατότητα να ελέγχει και την ροή της ιστορίας του συγκεκριμένου επιπέδου καθώς επιλέγει τις δραστηριότητες του ήρωα και την γενικότερη αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον.

Το δεύτερο σκέλος αποτελείται από δύο εναλλακτικές αναλόγως αν ο χρήστης κατάφερε να διαχειριστεί σωστά ή όχι την γλυκόζη του ήρωα. Στην περίπτωση που η γλυκόζη παραμένει εντός αποδεκτών ορίων ο ήρωας μεταβαίνει σε ένα επίπεδο δράσης(νύχτας) που ανταποκρίνεται στο «όνειρο» του ήρωα. Αυτό το επίπεδο έχει ως στόχο την ψυχαγωγία του χρήστη αλλά αποτελεί και μία άμεση ανταμοιβή για τον ορθό γλυκαιμικό έλεγχο. Σε αυτό το επίπεδο μοναδικός σκοπός του χρήστη είναι να μαζέψει όσο το δυνατόν περισσότερους βαθμούς μπορεί.

Εναλλακτικά στην περίπτωση που η συγκέντρωση γλυκόζης του ήρωα ξεπέρασε τα επικίνδυνα όρια για μεγάλο χρονικό διάστημα ο ήρωας μεταφέρεται σε ένα επίπεδο ανασκόπησης όπου υποδεικνύονται στον χρήστη τα λάθη που έκανε καθώς και πως θα μπορούσε να τα αποφύγει, προσφέρονται συμβουλές για καλύτερη διαχείριση της γλυκόζης και τέλος μεταβαίνει ξανά στο επίπεδο προσομοίωσης όπου του δίνεται η δυνατότητα να το επαναλάβει με καλύτερα αποτελέσματα.

Ο λόγος που έγινε αυτός ο διαχωρισμός του παιχνιδιού σε δύο σκέλη είναι να αποφευχθεί ο βομβαρδισμός του χρήστη με πολλές πληροφορίες καθώς θεωρήθηκε δύσκολο να απαιτείται από παιδιά να προσπαθήσουν να διαχειριστούν την γλυκόζη του ήρωα και παράλληλα να προσπαθούν να αποφύγουν εμπόδια και εικονικούς εχθρούς. Ο τελικός σχεδιασμός του παιχνιδιού επίσης αποφέρει στον χρήστη ξεκάθαρους στόχους σε κάθε σκέλος του παιχνιδιού έτσι ώστε να μπορεί να συγκεντρώνεται στις αποφάσεις που πρέπει να λάβει καθώς και στις πληροφορίες που μπορεί να αντλήσει από την ενασχόλησή του με το σοβαρό παιχνίδι [97].

Κάθε χρήστης που θα ασχοληθεί με το σοβαρό παιχνίδι αναμένεται να αποκομίσει σημαντικά οφέλη. Αρχικά μέσα από το σοβαρό παιχνίδι θα εξοικειωθεί με την διαδικασία διαχείρισης του ΣΔ που θα του επιτρέψουν να επιτύχει ορθό γλυκαιμικό έλεγχο και στην πραγματική του ζωή. Επίσης το σοβαρό παιχνίδι αναμένεται να ωφελήσει τους χρήστες και σε κοινωνικό αλλά και ψυχολογικό επίπεδο τα οποία αναλύονται παρακάτω.

3.3: Επίπεδο προσομοίωσης/ημέρα

Το πρώτο επίπεδο που αντικρύζει ο χρήστης, όταν ξεκινήσει ένα νέο παιχνίδι, είναι το επίπεδο της προσομοίωσης. Στο συγκεκριμένο επίπεδο ο χρήστης περνάει μια φυσιολογική μέρα παιδιού στην οποία ξεκινάει από το σπίτι το πρωί, μεταβαίνει στο σχολείο, επιστρέφει σπίτι, αποχωρεί για να ασχοληθεί με μία απογευματινή δραστηριότητα και επιστρέφει ξανά σπίτι. Η ροή της ιστορίας στο επίπεδο προσομοίωσης καθώς και η αλληλεπίδραση του ήρωα με το γύρω περιβάλλον εξαρτάται από τις αποφάσεις του χρήστη.

Στο συγκεκριμένο επίπεδο υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί που επιτρέπουν στον χρήστη να ελέγξει την ροή της ιστορίας καθώς και τη συγκέντρωση γλυκόζης του ήρωα. Αρχικά παρόλο που υπάρχει επανάληψη του πρώτου επιπέδου, όλες τις μέρες, ο χρήστης διαλέγει τις δραστηριότητες που θα κάνει ο ήρωας. Σε αυτές τις δραστηριότητες περιλαμβάνεται το πως θα περάσει ο ήρωας τα διαλείματα του σχολείου αλλά και με τι δραστηριότητα θα γεμίσει το απόγευμά του.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της ελευθερίας του χρήστη είναι η απόφαση που παίρνει για το τι γεύματα θα λάβει ο ήρωας καθώς και για τις δόσεις ινσουλίνης που θα χορηγήσει. Οι αποφάσεις αυτές του χρήστη επηρεάζουν το επίπεδο γλυκόζης του ήρωα σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης UVA/Padova T1DM (έκδοση S2008 - βλ. επόμενη παράγραφο) και με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί άμεσα να δει το αντίκτυπο των αποφάσεών του. Ο χρήστης όποτε επιθυμήσει έχει

την δυνατότητα να δει την τιμή της γλυκόζης του ήρωα και να λάβει αποφάσεις βασιζόμενος σε αυτήν.

Όσον αφορά τα γεύματα ο χρήστης μπορεί να λαμβάνει, χωρίς να έχει την δυνατότητα να παραλείψει, πρωινό, μεσημεριανό και βραδινό. Επίσης έχει την επιλογή για το αν θα φάει στον δρόμο προς/από το σχολείο καθώς και κατά την διάρκεια των διαλειμμάτων. Δυνατότητα για φαγητό δίνεται επίσης και στις απογευματινές δραστηριότητες. Στην περίπτωση που ο χρήστης αποφασίσει να σταματήσει σε περίπτερο ή κυλικείο, μπορεί να αποθηκεύσει τα τρόφιμα και να τα καταναλώσει όποτε επιθυμεί. Υπάρχουν διαφορετικά τρόφιμα στο πρωινό, μεσημεριανό, βραδινό, περίπτερο και κυλικείο και ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει τον συνδυασμό των τροφών. Τέλος για όλα τα τρόφιμα αναγράφονται τα γραμμάρια υδατανθράκων που περιέχουν.

Ο χρήστης επίσης μπορεί κατά την κρίση του να χορηγήσει στον ήρωα ενέσιμη ινσουλίνη (bolus) επιλέγοντας την ποσότητα που επιθυμεί. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα χρήσης βασικής (basal) ινσουλίνης.

Το επίπεδο γλυκόζης του ήρωα εξαρτάται επίσης από το αν θα προβεί σε κάποια φυσική άσκηση κατά τις απογευματινές δραστηριότητες.

Οι τιμές της γλυκόζης επηρεάζουν ακόμα έναν μετρητή βαθμών ο οποίος αυξάνει όσο η γλυκόζη του ήρωα παραμένει σε αποδεκτό επίπεδο (80-130 mg/dL), παραμένει σταθερός όταν ξεφεύγει λίγο από τα όρια (>60 και <80 mg/dL ή >130 και <280 mg/dL) και μειώνεται όταν η γλυκόζη είναι σε επικίνδυνα επίπεδα (>280 mg/dL ή < 60 mg/dL). Οι συνολικοί βαθμοί που θα συγκεντρώσει ο χρήστης επηρεάζονται επίσης από το αν προέβη σε μέτρηση γλυκόζης σε συγκεκριμένες περιόδους κατά την διάρκεια της ημέρας (πριν/μετά από γεύματα, πριν από φυσική άσκηση και πριν από ύπνο) καθώς επίσης και από το αν υπήρχε βελτίωση σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες. Στην περίπτωση που η γλυκόζη του ήρωα πάει σε πολύ υψηλά και χαμηλά επίπεδα εκτός από απώλεια πόντων θα υπάρχουν σαφείς ενδείξεις που θα υποδεικνύουν στο χρήστη ότι πρέπει άμεσα να μεριμνήσει. Στις ενδείξεις αυτές θα περιλαμβάνονται σήματα κινδύνου και δόνηση της συσκευής.

Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου μέρους του παιχνιδιού εμφανίζονται σε οθόνη οι συνολικοί πόντοι καθώς και μια γραφική παράσταση που αντιπροσωπεύει τις τιμές της γλυκόζης κατά τη διάρκεια της μέρας. Βάσει το σύνολο των πόντων αποφασίζεται η συνέχεια που θα δοθεί στο σοβαρό παιχνίδι.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα επιλογής επιπέδων δυσκολίας που διαφοροποιούν τις παραμέτρους της προσομοίωσης και αποφέρουν περισσότερους πόντους (βλ. επόμενη παράγραφο).

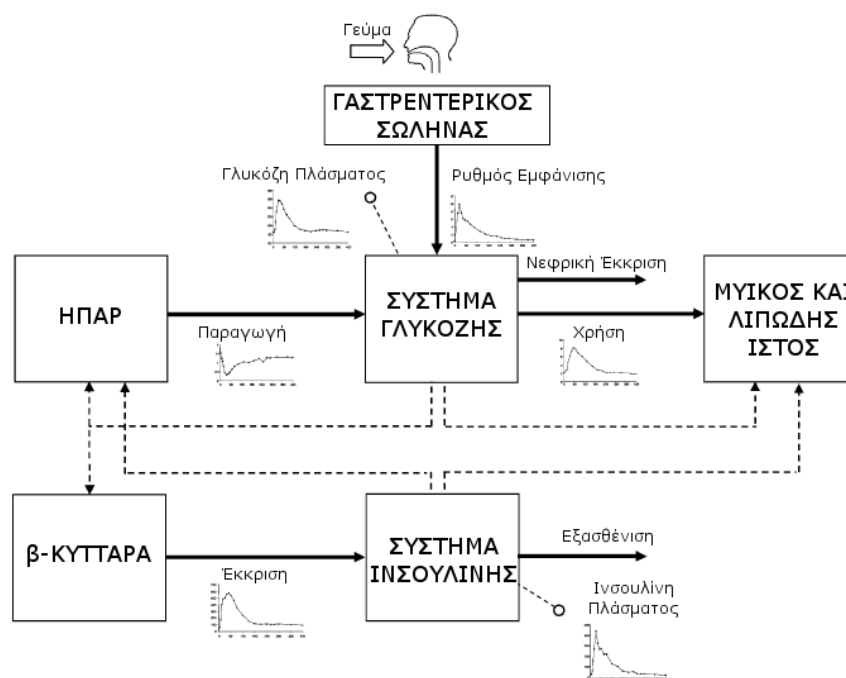
3.4: UVa/Padova T1DM Simulator

Η προσομοίωση του μεταβολισμού γλυκόζης-ινσουλίνης βασίστηκε στον προσομοιωτή που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Padova από την ερευνητική ομάδα της Chiara Dalla Man. Το μοντέλο του προσομοιωτή που χρησιμοποιήθηκε (S2008) εγκρίθηκε από τον αμερικανικό φορέα

Food and Drug Administration – FDA το 2008 ως υποκατάστατο προκλινικών δοκιμών σε ζώα για συγκεκριμένες θεραπείες με χρήση ινσουλίνης [98]. Επίσης έχει υιοθετηθεί από την Κοινοπραξία για το Τεχνητό Πάγκρεας του Ιδρύματος Ερευνών Νεανικού Διαβήτη (Juvenile Diabetes Research Foundation, Artificial Pancreas Consortium) ως πρώτο στάδιο ελέγχου για τους νέους αλγορίθμους κλειστού βρόχου. Ο προσομοιωτής που διατίθεται για ερευνητική χρήση προσομοιώνει 10 ενήλικες, 10 εφήβους και 10 παιδιά.

3.4.1: Εξισώσεις μοντέλου

Το μοντέλο αποτελείται από ένα υποσύστημα γλυκόζης και ένα υποσύστημα ινσουλίνης συνδεδεμένα με τον έλεγχο της γλυκόζης κατά την έκκριση ινσουλίνης και τον έλεγχο της ινσουλίνης κατά την χρήση της γλυκόζης και της ενδογενούς παραγωγής [99].

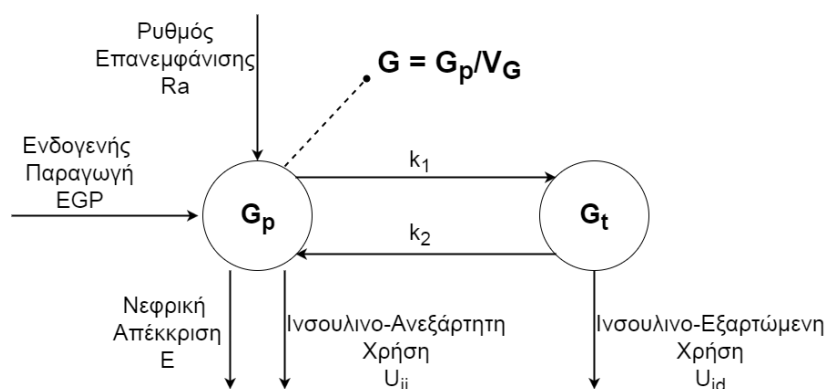


Εικόνα 31 Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του προσομοιωτή UVa/Padova T1DM

Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά τα υποσυστήματα του μοντέλου που υλοποιήθηκαν καθώς και οι εξισώσεις τους.

1) Υποσύστημα γλυκόζης

Το υποσύστημα της γλυκόζης αποτελείται από δύο διαμερίσματα, την ινσουλινο-ανεξάρτητη χρήση (insulin-independent utilization) που συμβαίνει στο πρώτο διαμέρισμα και την ινσουλινο-εξαρτώμενη χρήση (insulin-dependent utilization) που συμβαίνει στο δεύτερο.



Εικόνα 32 Υποσύστημα γλυκόζης

Η ινσουλινο-ανεξάρτητη χρήση αντιπροσωπεύει το πλάσμα και τους ιστούς που επανέρχονται γρήγορα σε ισορροπία, ενώ η ινσουλινο-εξαρτώμενη χρήση αντιπροσωπεύει τους περιφερειακούς ιστούς. Παρακάτω φαίνονται οι εξισώσεις που αφορούν το συγκεκριμένο υποσύστημα.

$$\dot{G}_p(t) = EGP(t) + Ra(t) - U_{ii}(t) - E(t) - k_1 * G_p(t) + k_2 * G_t(t)$$

$$EGP_b = U_b + E_b$$

$$G_p(0) = G_{pb}$$

$$\dot{G}_t(t) = -U_{id}(t) + k_1 * G_p(t) - k_2 * G_t(t)$$

$$G_t(0) = G_{tb}$$

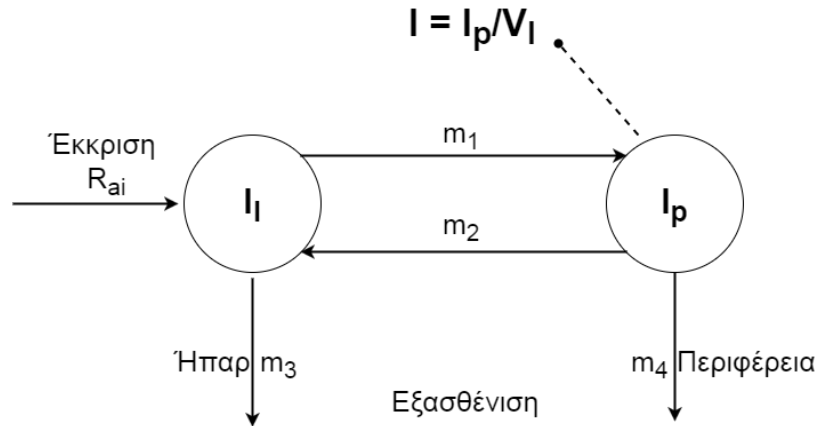
$$G(t) = \frac{G_p}{V_G}$$

$$G(0) = G_b$$

Όπου G_p και G_t (mg/kg) είναι η μάζα της γλυκόζης στο πλάσμα και τους ιστούς ταχεία εξισορρόπησης (rapidly equilibrating tissues) και στους ιστούς βραδείας εξισορρόπησης (slowly equilibrating tissues) αντίστοιχα, G είναι η συγκέντρωση της γλυκόζης στο πλάσμα, το επίθημα b υποδηλώνει βασική κατάσταση, EGP (mg/kg/min) είναι η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης (endogenous glucose production), Ra (mg/kg/min) είναι ο ρυθμός εμφάνισης της γλυκόζης στο πλάσμα (glycose rate of appearance), E (mg/kg/min) είναι η νεφρική απέκκριση (renal excretion), U_{ii} και U_{id} (mg/kg/min) είναι η ινσουλινο-ανεξάρτητη και ινσουλινο-εξαρτώμενη χρήση γλυκόζης αντίστοιχα, U η συνολική χρήση γλυκόζης, V_g (dl/kg) είναι η κατανομή του όγκου της γλυκόζης και k_1 , k_2 (min^{-1}) είναι παράμετροι ρυθμού.

2) Υποσύστημα ινσουλίνης

Οι ροές ινσουλίνης προέρχονται από τα υποδόρια διαμερίσματα, εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος και αποδομείται στο ήπαρ. Το υποσύστημα της ινσουλίνης αποτελείται επίσης από δύο διαμερίσματα, το πρώτο αντιπροσωπεύει το ήπαρ και το δεύτερο το πλάσμα.



Εικόνα 33 Υποσύστημα ινσουλίνης

Οι εξισώσεις του υποσυστήματος της ινσουλίνης είναι :

$$\dot{I}_p(t) = -(m_2 + m_4) * I_p(t) + m_1 * I_l(t) + R_{ai}(t)$$

$$I_p(0) = I_{pb}$$

$$\dot{I}_l(t) = -(m_1 + m_3) * I_l(t) + m_2 * I_p(t)$$

$$I_l(0) = I_{lb}$$

$$I(t) = \frac{I_p(t)}{V_I}$$

$$I(0) = I_b$$

Όπου I_p και I_l (pmol/kg) είναι η ποσότητα της ινσουλίνης στο πλάσμα και το ήπαρ αντίστοιχα, I (pmol/l) είναι η συγκέντρωση της ινσουλίνης στο πλάσμα, το επίθημα b υποδηλώνει βασική κατάσταση, R_{ai} (pmol/kg/min) είναι η έκκριση ινσουλίνης (insulin secretion), V_I (l/kg) είναι η κατανομή του όγκου της ινσουλίνης και m_1, m_2, m_3, m_4 (min^{-1}) είναι παράμετροι ρυθμού.

3) Μοντέλα επιπρόσθετων διεργασιών

Αρκετές από τις εισόδους των δύο παραπάνω υποσυστημάτων χρειάζεται να υπολογιστούν από επιπρόσθετα μοντέλα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

- Ενδογενής παραγωγή γλυκόζης, EGP

Η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης αφορά την μετατροπή γλυκογόνου σε γλυκόζη. Στην συνέχεια φαίνονται οι εξισώσεις από τις οποίες υπολογίζεται η ενδογενής παραγωγή της γλυκόζης.

$$EGP(t) = k_{p1} - k_{p2} * G_p(t) - k_{p3} * X^L(t)$$

$$\dot{X}^L(t) = -k_i * [X^L(t) - I'(t)]$$

$$X^L(0) = I_b$$

$$\dot{I}'(t) = -k_i * [I'(t) - I(t)]$$

$$I'(0) = I_b$$

Όπου X^L (pmol/l) είναι η καθυστερημένη επίδραση της ινσουλίνης στο ήπαρ, k_{p1} (mg/kg/min) είναι η συναγόμενη ενδογενής παραγωγή γλυκόζης για μηδενική γλυκόζη και ινσουλίνη, k_{p2} (min^{-1}) είναι η αποτελεσματικότητα της γλυκόζης στο ήπαρ, k_{p3} (mg/kg/min ανά pmol/l) είναι παράμετρος που καθορίζει το εύρος της δράσης της ινσουλίνης στο ήπαρ και k_i (min^{-1}) είναι παράμετρος ρυθμού που αφορά την καθυστέρηση ανάμερα στο σήμα για την ινσουλίνη και την δράση της. Τέλος η ενδογενής παραγωγή γλυκόζης διατηρείται μη αρνητική.

- Ρυθμός εμφάνισης της γλυκόζης, Ra

Το μοντέλο αυτό περιγράφει την μεταβίβαση της γλυκόζης μέσα από το στομάχι και το έντερο θεωρώντας ότι το στομάχι αποτελείται από δύο διαμερίσματα (στερεή και υγρή κατάσταση) ενώ το έντερο από ένα. Οι εξισώσεις του μοντέλου είναι:

$$Q_{sto}(t) = Q_{sto1}(t) + Q_{sto2}(t)$$

$$\dot{Q}_{sto1}(t) = -k_{gri} * Q_{sto1}(t) + D * \delta(t)$$

$$\dot{Q}_{sto2}(t) = -k_{empt}(Q_{sto}) * Q_{sto2}(t) + k_{gri} * Q_{sto1}(t)$$

$$\dot{Q}_{gut}(t) = -k_{abs} * Q_{gut}(t) + k_{empt}(Q_{sto}) * Q_{sto2}(t)$$

$$Ra(t) = \frac{f * k_{abs} * Q_{gut}(t)}{BW}$$

$$Q_{sto}(0) = Q_{sto1}(0) = Q_{sto2}(0) = Q_{gut}(0) = Ra(0) = 0$$

$$k_{empt}(Q_{sto}) = k_{min} + \frac{k_{max} - k_{min}}{2} * \{ \tanh[\alpha * (Q_{sto} - b * D)] - \tanh[\beta * (Q_{sto} - c * D)] + 2 \}$$

$$\alpha = \frac{5}{2 * D(t) * (1 - b)}$$

$$\beta = \frac{5}{2 * D(t) * c}$$

Όπου Q_{sto} (mg) είναι η ποσότητα γλυκόζης στο στομάχι (Q_{sto1} σε στέρεη και Q_{sto2} σε υγρή κατάσταση), Q_{gut} (mg) είναι η ποσότητα της γλυκόζης στο έντερο, k_{gri} (min^{-1}) είναι ο ρυθμός της άλεσης, $k_{empt}(Q_{sto})$ (min^{-1}) είναι ο ρυθμός της γαστρικής κένωσης, k_{abs} (min^{-1}) είναι ο ρυθμός της απορρόφησης από το έντερο, f είναι το ποσοστό της απορρόφησης από το έντερο που εμφανίζεται στο πλάσμα, D (mg) είναι η ποσότητα προσλαμβάνουσα γλυκόζη, BW (kg) είναι το σωματικό βάρος, και Ra (mg/kg/min) είναι ο ρυθμός εμφάνισης της γλυκόζης στο πλάσμα. Οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν εκτιμηθεί με ακρίβεια [99].

- Χρήση γλυκόζης, $U_{ii}+U_{id}$

Η χρήση της γλυκόζης χωρίζεται σε δύο στοιχεία, την ινσουλινο-ανεξάρτητη η οποία είναι σταθερή και αναπαραστατά την πρόσληψη γλυκόζης από τον εγκέφαλο και τα ερυθροκύτταρα και την ινσουλινο-εξαρτώμενη που αφορά τους περιφερειακούς ιστούς. Παρακάτω φαίνονται οι εξισώσεις που αφορούν την χρήση γλυκόζης:

$$U_{ii}(t) = F_{cns}$$

$$U_{id} = \frac{[V_{m0} + V_{mx} * X(t)] * G_t(t)}{K_{m0} + G_t(t)}$$

$$\dot{X}(t) = -p_{2U} * X(t) + p_{2U} * [I(t) - I_b]$$

Όπου X (pmol/l) είναι η ινσουλίνη στο μεσοκυττάριο υγρό, I είναι η ινσουλίνη πλάσματος, p_{2U} (min^{-1}) είναι ο σταθερός ρυθμός της δράσης της ινσουλίνης στην περιφερειακή χρήση γλυκόζης. Οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν εκτιμηθεί με ακρίβεια [99].

Η παράμετρος V_{mx} αφορά την ευαισθησία του ατόμου στην ινσουλίνη. Στην έκδοση S2008 του προσομοιωτή η παράμετρος αυτή είναι σταθερή για κάθε εικονικό ασθενή. Στον υλοποιημένο προσομοιωτή ενσωματώθηκε επιπλέον ένα μοντέλο που προτάθηκε το 2013 από τους M.Schiavon και C.Dalla Man et al. [100] το οποίο σχετίζεται με το πως η φυσική άσκηση επηρεάζει την συγκεκριμένη παράμετρο. Πιο συγκεκριμένα πριν την εκκίνηση φυσικής άσκησης η παράμετρος V_{mx} έχει την σταθερή τιμή που αντιστοιχεί στον εικονικό ασθενή. Κατά την διάρκεια φυσικής άσκησης πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή και όταν τελειώσει μειώνεται γραμμικά μέχρι να επανέλθει στην αρχική τιμή. Ο συντελεστής αυτός δίνεται από την σχέση:

$$a = \frac{3 * t_{end} - 2 * t_{meal} + t_{ex,end} - 2 * t_{ex,start}}{t_{end} + t_{ex,end} - 2 * t_{ex,start}}$$

Όπου t_{meal} είναι η ώρα του τελευταίου γεύματος, $t_{ex,start}$, $t_{ex,end}$ είναι τα χρονικά όρια της φυσικής άσκησης και t_{end} είναι η ώρα κατά την οποία η παράμετρος επανέρχεται στην αρχική τιμή.

- Νεφρική απέκκριση γλυκόζης, E

Η απέκκριση γλυκόζης από τα νεφρά συμβαίνει αν η γλυκόζη πλάσματος ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο και μπορεί να μοντελοποιηθεί ως εξής:

$$E(t) = \begin{cases} k_{e1} * [G_p(t) - k_{e2}], & \text{αν } G_p(t) > k_{e2} \\ 0, & \text{αν } G_p(t) \leq k_{e2} \end{cases}$$

Όπου k_{e1} (min^{-1}) είναι ο ρυθμός σπειραματικής διήθησης και k_{e2} (mg/kg) είναι το νεφρικό όριο της γλυκόζης.

- Έκκριση ινσουλίνης, Rai

Στα άτομα σε ΣΔ η ινσουλίνη χορηγείται συνήθως με υποδόρια ένεση. Η ινσουλίνη αυτή χρειάζεται χρόνο μέχρι να φτάσει στο κυκλοφορικό σύστημα, σε αντίθεση με τα φυσιολογικά άτομα όπου το πάγκρεας εκκρίνει κατευθείαν στην πυλαία φλέβα. Οι εξισώσεις που αφορούν το μοντέλο που υπολογίζει τον ρυθμό εμφάνισης της ινσουλίνης στο πλάσμα είναι:

$$\dot{I}_{sc1}(t) = -(k_{a1} + k_d) * I_{sc1}(t) + IIR(t)$$

$$I_{sc1}(0) = I_{sc1ss}$$

$$\dot{I}_{sc2}(t) = k_d * I_{sc1}(t) - k_{a2} * I_{sc2}(t)$$

$$I_{sc2}(0) = I_{sc2ss}$$

$$R_{ai}(t) = k_{a1} * I_{sc1}(t) + k_{a2} * I_{sc2}(t)$$

Όπου I_{sc1} είναι η ποσότητα της πολυμερούς ινσουλίνης στον υποδόριο χώρο, I_{sc2} είναι η ποσότητα της μονομερούς ινσουλίνης στον υποδόριο χώρο, $IIR(t)$ (pmol/kg/min) είναι ο ρυθμός έγχυσης εξωτερικής ινσουλίνης, k_d (min^{-1}) είναι ο σταθερός ρυθμός της απομάκρυνσης της ινσουλίνης και k_{a1} και k_{a2} είναι ο σταθερός ρυθμός της πολυμερούς και μονομερούς απορρόφησης ινσουλίνης αντίστοιχα.

3.4.2: Υλοποίηση του μοντέλου στο σοβαρό παιχνίδι

Το μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω έχει δημιουργηθεί για χρήση στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB/Simulink οπότε ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθεί ως έχει από το GM. Όμως και στην περίπτωση που θα υπήρχε η δυνατότητα εκτέλεσης κώδικα MATLAB θα έπρεπε πριν ξεκινήσει το επίπεδο προσομοίωσης να είχαν ήδη τρέξει όλα τα πιθανά σενάρια καθώς ο συγκεκριμένος προσομοιωτής δεν δέχεται εισόδους δυναμικά. Ο πιο αποδοτικός τρόπος για να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο στον υπολογισμό της γλυκόζης του ήρωα του παιχνιδιού ανά πάσα στιγμή, χωρίς να χρειάζεται η εκτέλεση όλων των σεναρίων εκ των προτέρων, ήταν να υλοποιηθεί από την αρχή στο

προγραμματιστικό περιβάλλον του GM. Για την επίλυση των πεπλεγμένων διαφορικών εξισώσεων χρησιμοποιήθηκε η αριθμητική μέθοδος Runge-Kutta 4^{ης} τάξης σε αντίθεση με την Dormand Prince που χρησιμοποιείται από τον αρχικό κώδικα στο MATLAB (συνάρτηση ode45). Ο λόγος που επιλέχθηκε η μέθοδος Runge-Kutta 4^{ης} τάξης είναι ότι ύστερα από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι είχε πολύ μικρά σφάλματα αλλά σημαντικά μειωμένη πολυπλοκότητα σχετικά με την Dormand Prince, πράγμα που είναι επιθυμητό δεδομένου ότι το σοβαρό παιχνίδι στοχεύει φορητές συσκευές που έχουν περιορισμένες δυνατότητες και αυτονομία. Η μέθοδος Runge-Kutta για μία διαφορική εξίσωση φαίνεται συνοπτικά παρακάτω.

Αν επιθυμούμε να λύσουμε μια διαφορική εξίσωση της μορφής $\frac{dy(t)}{dt} = y'(t) = f(y(t), t)$, $y(t_0) = y_0$ υπολογίζουμε τα παρακάτω για $n = 0, 1, 2, 3, \dots$:

$$k_1 = h * f(y_n, t_n)$$

$$k_2 = h * f(y_n + \frac{1}{2} * h, t_n + \frac{1}{2} * k_1)$$

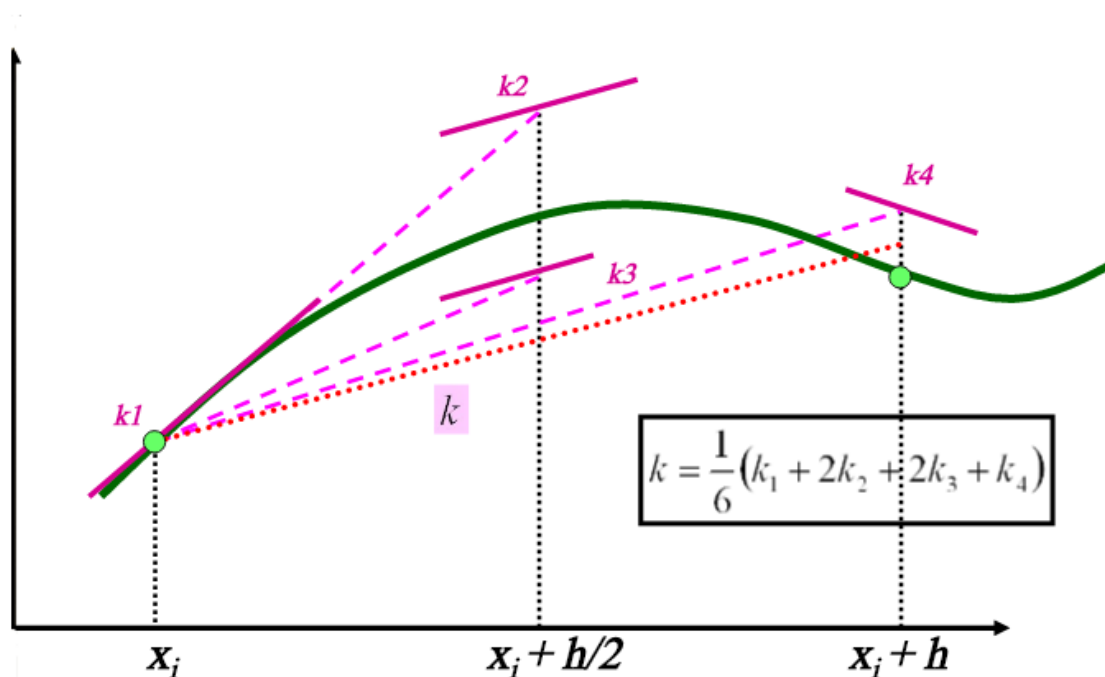
$$k_3 = h * f(y_n + \frac{1}{2} * h, t_n + \frac{1}{2} * k_2)$$

$$k_4 = h * f(y_n + h, t_n + k_3)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6} * k_1 + \frac{1}{3} * k_2 + \frac{1}{3} * k_3 + \frac{1}{6} * k_4 + O(h^5)$$

Όπου h είναι το χρονικό βήμα δηλαδή $h = t_{n+1} - t_n$. Το σφάλμα είναι της τάξης του h^5 . Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω μέθοδο μέχρι να φτάσουμε στο επιθυμητό σημείο. Για τις κλίσεις k_1, k_2, k_3, k_4 ισχύει:

- k_1 είναι η κλίση στην αρχή του χρονικού βήματος (μέθοδος Euler)
- Αν χρησιμοποιήσουμε την κλίση k_1 για να μετακινηθούμε στο μέσο του χρονικού βήματος, τότε k_2 είναι μία εκτίμηση της κλίσης στο μέσο.
- Αν χρησιμοποιήσουμε την κλίση k_2 για να μετακινηθούμε στο μέσο του χρονικού βήματος, τότε k_3 είναι μία καλύτερη εκτίμηση της κλίσης στο μέσο.
- Τέλος αν χρησιμοποιήσουμε την κλίση k_3 για να μετακινηθούμε μέχρι το τέλος του χρονικού βήματος, τότε k_4 είναι η εκτίμηση της κλίσης στο τέλος.



Εικόνα 34 Σημασία συντελεστών της μεθόδου Runge Kutta 4ης τάξης

3.5: Επίπεδο δράσης

Το συγκεκριμένο επίπεδο αποτελεί μια άμεση επιβράβευση του χρήστη για τον ορθό γλυκαιμικό έλεγχο που κατάφερε στον ήρωα. Το επίπεδο αυτό δεν είναι συγκεκριμένο καθώς αντλείται τυχαία από ένα σύνολο επιπέδων που έχουν ως βασικό στόχο την ψυχαγωγία του χρήστη. Ο χρήστης παύει να ανησυχεί για την διαχείριση του ΣΔ και αναλαμβάνει να βοηθήσει τον ήρωα να μαζέψει όσο το δυνατόν περισσότερους βαθμούς. Στο επίπεδο αυτό ο ήρωας κινείται συνεχώς προς τα εμπρός και ο χρήστης έχει την δυνατότητα του άλματος αλλά και της χρήσης επιπλέον ειδικών δυνάμεων που του επιτρέπει να ξεπερνάει εμπόδια και να ξεφεύγει από τους εχθρούς. Οι ειδικές αυτές δυνάμεις «ξεκλειδώνονται» σύμφωνα με τους βαθμούς που έχει μαζέψει ο χρήστης στο επίπεδο προσομοίωσης άρα κατ' επέκταση με το πόσο καλή διαχείριση γλυκόζης πέτυχε.

Οι μηχανισμοί που προσφέρονται στο συγκεκριμένο επίπεδο διαφέρουν από επίπεδο σε επίπεδο ενώ υπάρχει μεγάλη επεκτασιμότητα. Μέχρι στιγμής, εκτός του άλματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε επίπεδο δράσης, έχουν ενταχθεί δύο επιπλέον μηχανισμοί. Ο ένας μηχανισμός επιτρέπει στον ήρωα να κάνει πολλαπλά άλματα που του επιτρέπουν να υπερπηδάει υψηλά εμπόδια ενώ ο δεύτερος μηχανισμός του δίνει την ικανότητα να τηλεμεταφέρεται προς την κατεύθυνση της κίνησης ώστε να μπορεί να ξεπερνάει φαινομενικά ανυπέρβλητα εμπόδια και να ξεφεύγει πιο εύκολα από τους αντιπάλους του. Πέρα από τις επιπλέον ικανότητες που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο ήρωας κατά την διάρκεια αυτού του επιπέδου υπάρχουν επίσης αντικείμενα που μπορεί να πάρει και να του προσδώσουν επιπλέον βραχυπρόθεσμες ιδιότητες όπως αυξομείωση της ταχύτητάς του, του μεγέθους του καθώς και η αλλαγή του χρώματός του.

3.6: Επίπεδο ανασκόπησης

Ο χρήστης όπως αναφέρθηκε μεταβαίνει στο συγκεκριμένο επίπεδο όταν αποτύχει πλήρως να διαχειριστεί την γλυκόζη του ήρωα στο επίπεδο προσομοίωσης και κρίνεται ότι πρέπει να λάβει βασικές πληροφορίες για τον ΣΔ πριν συνεχίσει. Η χρησιμότητα του συγκεκριμένου επιπέδου είναι να υποδείξει στον χρήστη με απλό και κατανοητό τρόπο τι λάθη έκανε στην διαχείριση της γλυκόζης αλλά και να τον συμβουλέψει για το πως μπορεί να διορθώσει αυτά τα λάθη. Στο τέλος του επιπέδου ανασκόπησης ο χρήστης μεταβαίνει στο επίπεδο προσομοίωσης για να προσπαθήσει ξανά.

Το συγκεκριμένο επίπεδο δεν είχε υλοποιηθεί μέχρι την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παρακάτω παρουσιάζονται οι μηχανισμοί που αναμένεται να υλοποιηθούν. Ο ήρωας θα μεταβαίνει σε ένα περιβάλλον που απλά κινείται συνεχώς χωρίς ο χρήστης να έχει δυνατότητα ελέγχου της κίνησης έτσι ώστε να μπορεί να επικεντρωθεί στην άντληση πληροφοριών. Στον υπόλοιπο χώρο της οθόνης θα εμφανίζονται εικόνες που θα υποδεικνύουν στον χρήστη το σημείο ή τα σημεία που έγινε το λάθος στην χορήγηση φαγητού ή ινσουλίνης. Στην συνέχεια θα υπολογίζονται εναλλακτικές δόσεις φαγητού και ινσουλίνης με τις οποίες θα μπορούσε να αποφευχθεί η υπεργλυκαιμία/υπογλυκαιμία και θα παρουσιάζονται στον χρήστη. Επίσης θα εμφανίζονται επιπλέον πληροφορίες που σχετίζονται με την σωστή διαχείριση του ΣΔ με απλό και κατανοητό τρόπο.

3.7: Αναμενόμενα οφέλη

Παρουσιάζονται παρακάτω τα αναμενόμενα οφέλη που θεωρήθηκαν ότι θα αποκομίσουν όσοι ασχοληθούν με το συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι. Επίσης θεωρήθηκε ότι τα παρακάτω οφέλη θα δώσουν κίνητρο στους χρήστες να συνεχίσουν την ενασχόλησή τους με το σοβαρό παιχνίδι.

Ένα από τους κύριους στόχους του παιχνιδιού είναι η εκπαίδευση του χρήστη (παιδιού με ΣΔΤ1) πάνω την ασθένεια του ΣΔΤ1. Μέσω τις προσπάθειες του χρήστη να κρατήσει την γλυκόζη του ήρωα σε αποδεκτά πλαίσια επέρχεται η εξοικείωσή του με την ασθένεια καθώς και με την ισορροπία της γλυκόζης και της ινσουλίνης. Επίσης καλλιεργείται η ανάγκη και η θέληση να μάθει περισσότερα πράγματα πάνω στο ΣΔ για να βοηθήσει τον ήρωα του παιχνιδιού. Ένας χρήστης με ΣΔΤ1 μπορεί και αναμένεται να χρησιμοποιήσει τις αποκτηθείσες γνώσεις στην διαχείριση της δικιάς του ασθένειας πράγμα που θα του επιτρέψει να αποφύγει τυχόν επιπλοκές στο μέλλον.

Εκτός από τα ιατρικά οφέλη οι χρήστες μπορούν να αποκομίσουν και κοινωνικά οφέλη. Οι χρήστες με ΣΔΤ1 εξοικειώνονται με τον ΣΔ και καταλαβαίνουν, μέσα από την πλοκή του παιχνιδιού, ότι δεν είναι κάτι που πρέπει να τους αποξενώσει από το κοινωνικό τους περιβάλλον. Σε αυτό συντελεί επίσης το ότι με το σοβαρό παιχνίδι μπορούν να ασχοληθούν και άτομα που δεν πάσχουν στα οποία δίνεται η δυνατότητα να κατανοήσουν την ασθένεια των φίλων τους αλλά και να συζητούν μαζί τους για συμβουλές διαχείρισης της γλυκόζης τις οποίες στην συνέχεια θα χρησιμοποιήσουν στο σοβαρό παιχνίδι για να καταφέρουν καλύτερα αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο καταπολεμάται η αποξένωση του παιδιού με ΣΔΤ1 από το περιβάλλον του αλλά και ενθαρρύνεται η κοινωνικοποίησή του.

Τέλος η ψυχαγωγία είναι απαραίτητη σε κάθε παιχνίδι που κυκλοφορεί και αυτό δεν διαφέρει στα σοβαρά παιχνίδια. Είναι σημαντικό οι χρήστες να ασχολούνται με το σοβαρό παιχνίδι επειδή τους αρέσει και το θέλουν και όχι επειδή επιβάλλεται από εξωτερικούς παράγοντες. Για αυτόν τον λόγο, παρόλο που κύριος σκοπός είναι η εξοικείωση των χρηστών με τον ΣΔ, πολλά από τα στοιχεία στο συγκεκριμένο σοβαρό παιχνίδι έχουν ως στόχο την ψυχαγωγία του χρήστη.

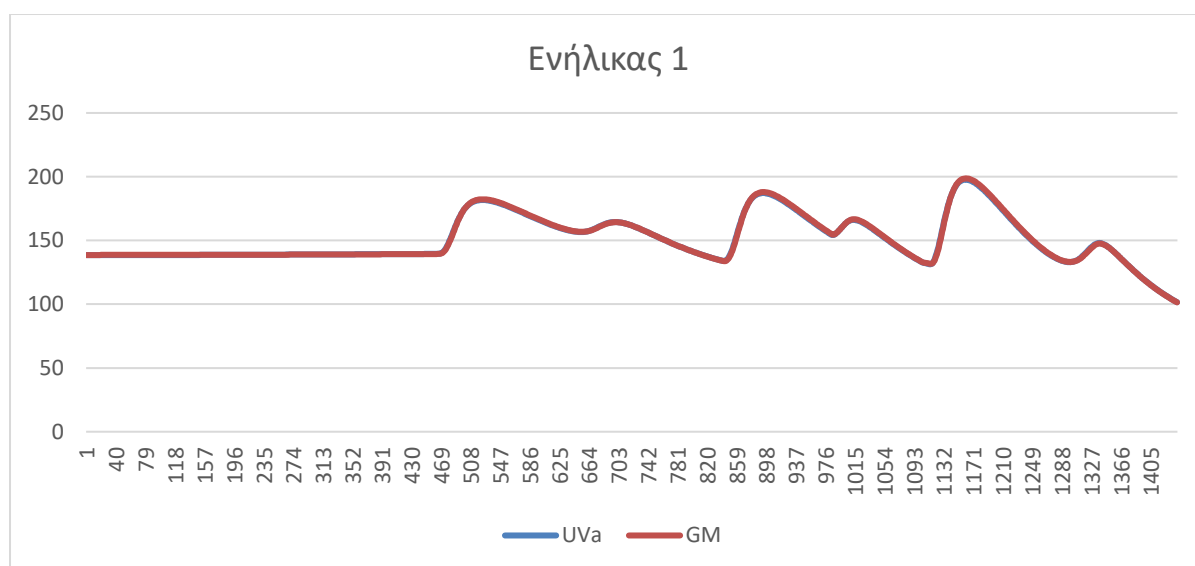
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα από την υλοποίηση του προσομοιωτή στο προγραμματιστικό περιβάλλον του GameMaker: Studio και στην συνέχεια εικόνες από τις λειτουργίες και τους μηχανισμούς που έχουν ενσωματωθεί στο σοβαρό παιχνίδι.

4.1: Αξιολόγηση του υλοποιημένου προσομοιωτή στο GameMaker: Studio

Ένας από τους βασικούς άξονες της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η υλοποίηση του προσομοιωτή UVa/Radona T1DM στην πλατφόρμα GM. Προσομοιώθηκαν με τον προσομοιωτή UVa/Radona T1DM και με τον υλοποιημένο στο GM προσομοιωτή 3 ενήλικοι(Ενήλικας 1,5,10), 3 έφηβοι(Εφηβος 1,5,10) και 3 παιδιά(Παιδί 1,2,5) εικονικοί ασθενείς. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καθώς και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ο συντελεστής συσχέτισης τους και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά των δύο προσομοιώσεων. Σε όλες τις περιπτώσεις έγινε προσομοίωση 19 ωρών (1440 λεπτών).

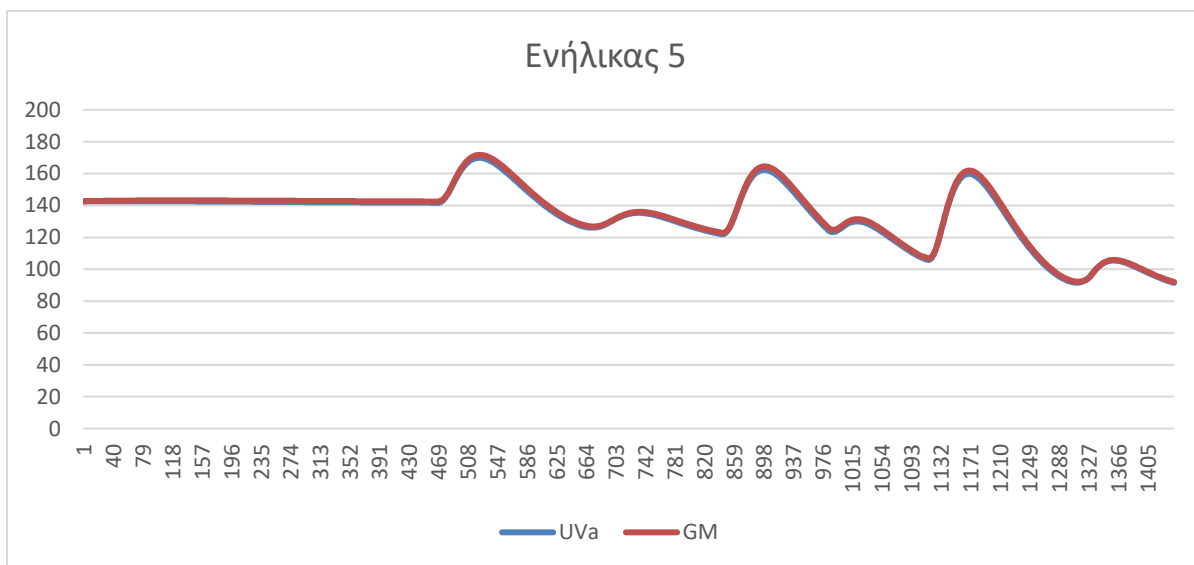
- Ενήλικας 1



Εικόνα 35 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 1»

Για τον εικονικό ασθενή Ενήλικας 1 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο προσομοιωτές. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.02e-2$ ο συντελεστής συσχέτισης $99.98e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.08e-2\%$.

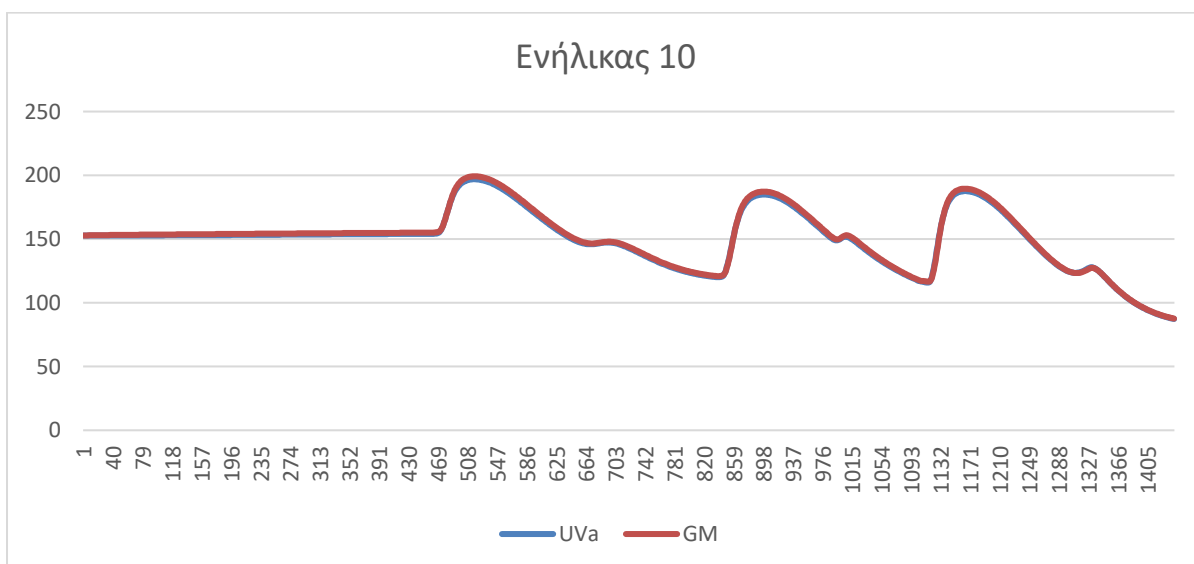
- Ενήλικας 5



Εικόνα 36 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 5»

Για τον εικονικό ασθενή Ενήλικας 5 παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στις κορυφές των διαγραμμάτων καθώς ο υλοποιημένος προσομοιωτής εμφανίζει λίγο αυξημένες τιμές γλυκόζης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.09e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.96e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.48e-2\%$.

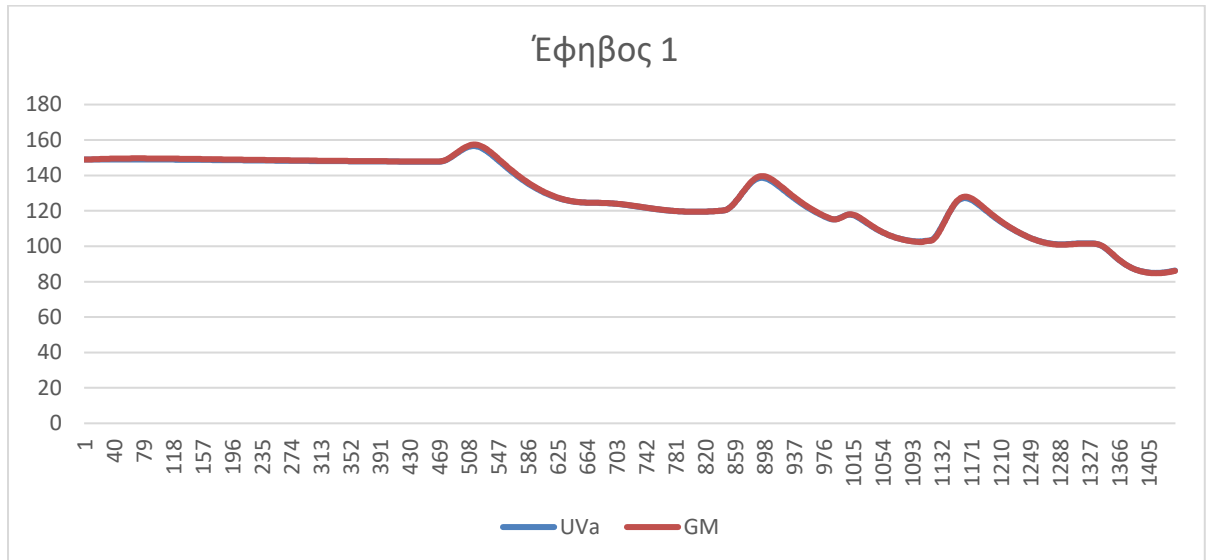
- Ενήλικας 10



Εικόνα 37 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Ενήλικας 10»

Για τον εικονικό ασθενή Ενήλικας 10 παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στις κορυφές των διαγραμμάτων καθώς ο υλοποιημένος προσομοιωτής εμφανίζει λίγο αυξημένες τιμές γλυκόζης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.08e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.98e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.45e-2\%$.

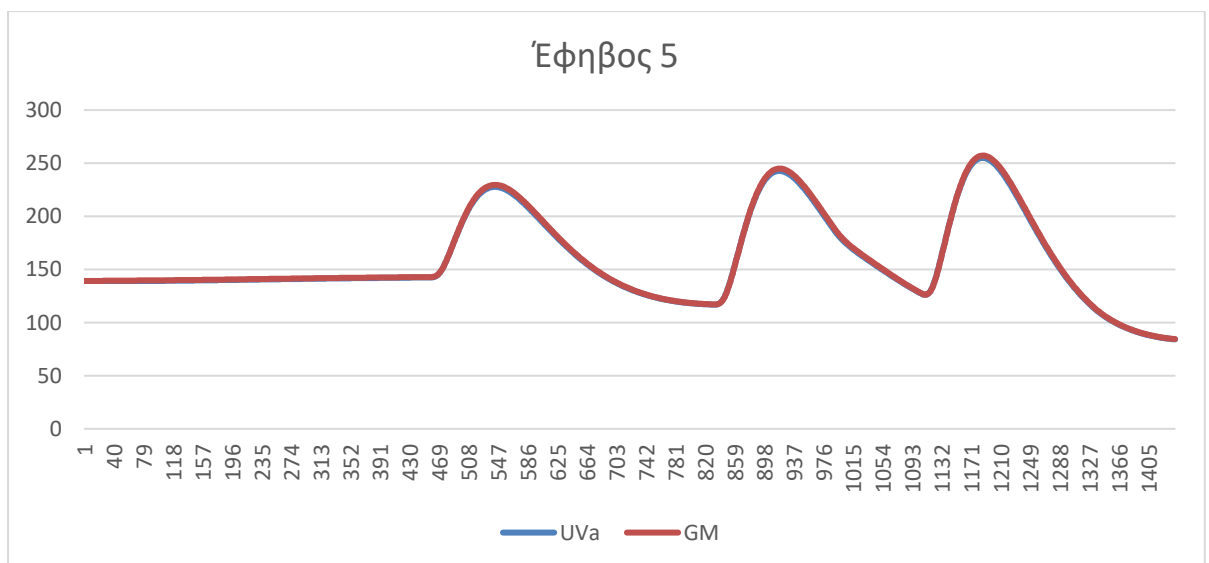
- Έφηβος 1



Εικόνα 38 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 1»

Για τον εικονικό ασθενή Έφηβος 1 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο προσομοιωτές. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.06e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.99e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $0.80e-2\%$.

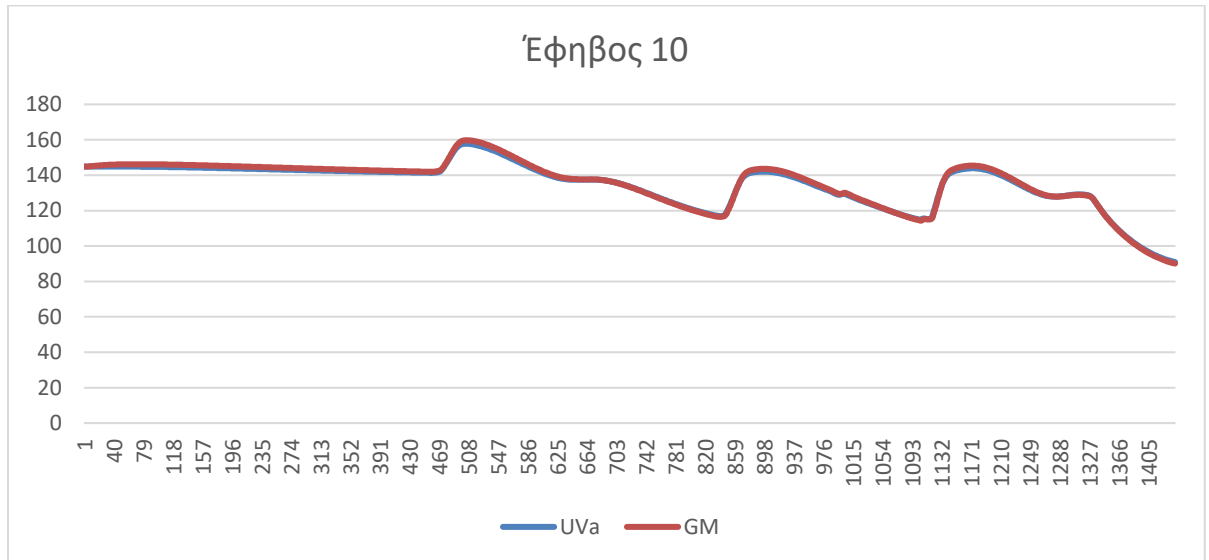
- Έφηβος 5



Εικόνα 39 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 5»

Για τον εικονικό ασθενή Έφηβος 5 δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο προσομοιωτές. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.01e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.99e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.05e-2\%$.

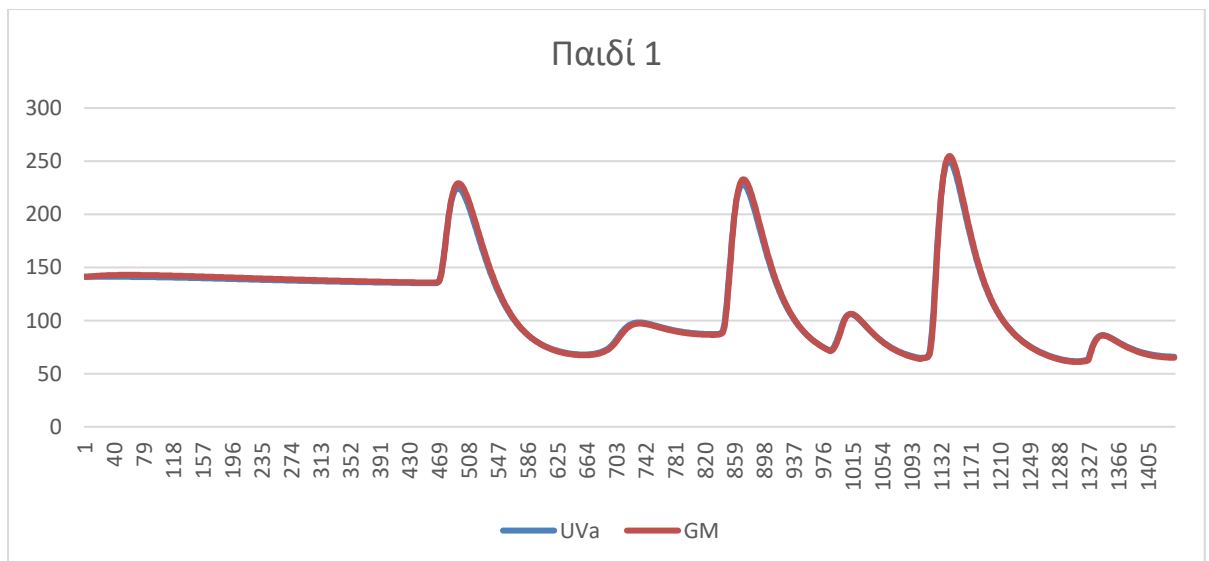
- Έφηβος 10



Εικόνα 40 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Έφηβος 10»

Για τον εικονικό ασθενή Έφηβος 10 παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στις κορυφές των διαγραμμάτων καθώς ο υλοποιημένος προσομοιωτής εμφανίζει λίγο αυξημένες τιμές γλυκόζης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.08e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.96e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.29e-2\%$.

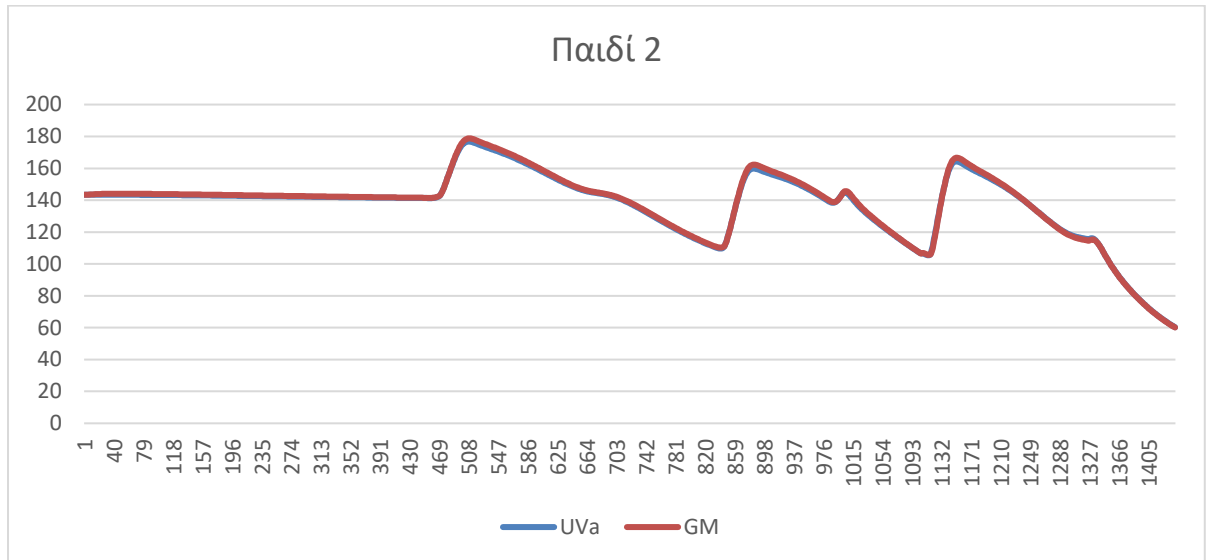
- Παιδί 1



Εικόνα 41 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 1»

Για τον εικονικό ασθενή Παιδί 1 παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στις κορυφές των διαγραμμάτων καθώς ο υλοποιημένος προσομοιωτής εμφανίζει λίγο αυξημένες τιμές γλυκόζης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.14e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.95e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $7.89e-2\%$.

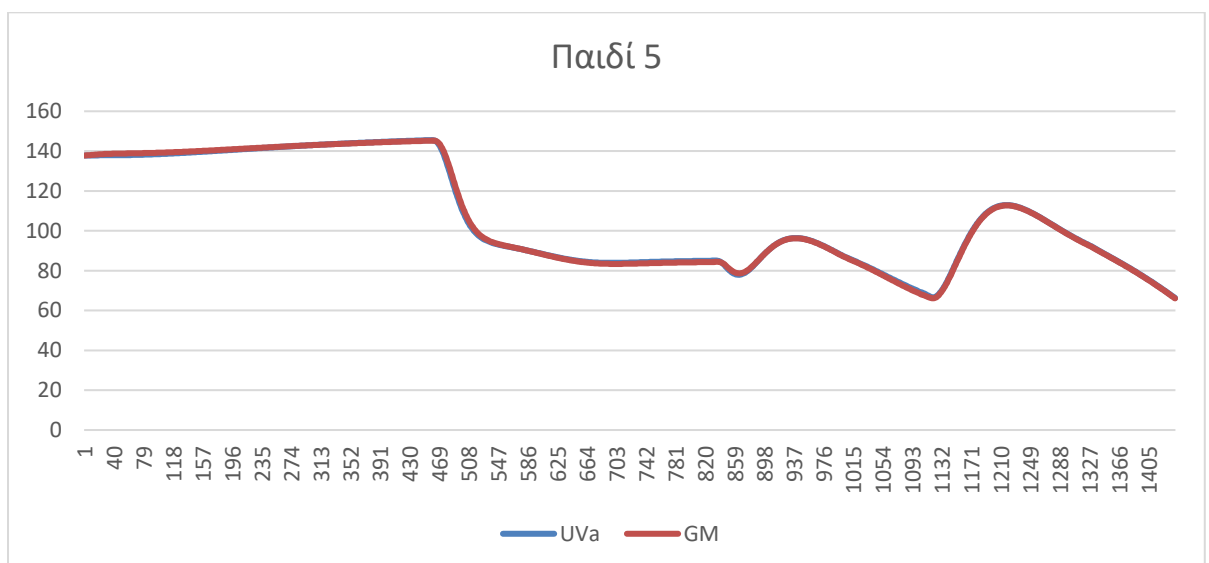
- Παιδί 2



Εικόνα 42 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 2»

Για τον εικονικό ασθενή Παιδί 2 παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στις κορυφές των διαγραμμάτων καθώς ο υλοποιημένος προσομοιωτής εμφανίζει λίγο αυξημένες τιμές γλυκόζης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.10e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.98e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.57e-2\%$.

- Παιδί 5



Εικόνα 43 Αποτελέσματα προσομοίωσης για εικονικό ασθενή «Παιδί 5»

Για τον εικονικό ασθενή Παιδί 5 δεν παρατηρούμε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο προσομοιωτές. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.02e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.98e-2$ και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά $1.93e-2\%$.

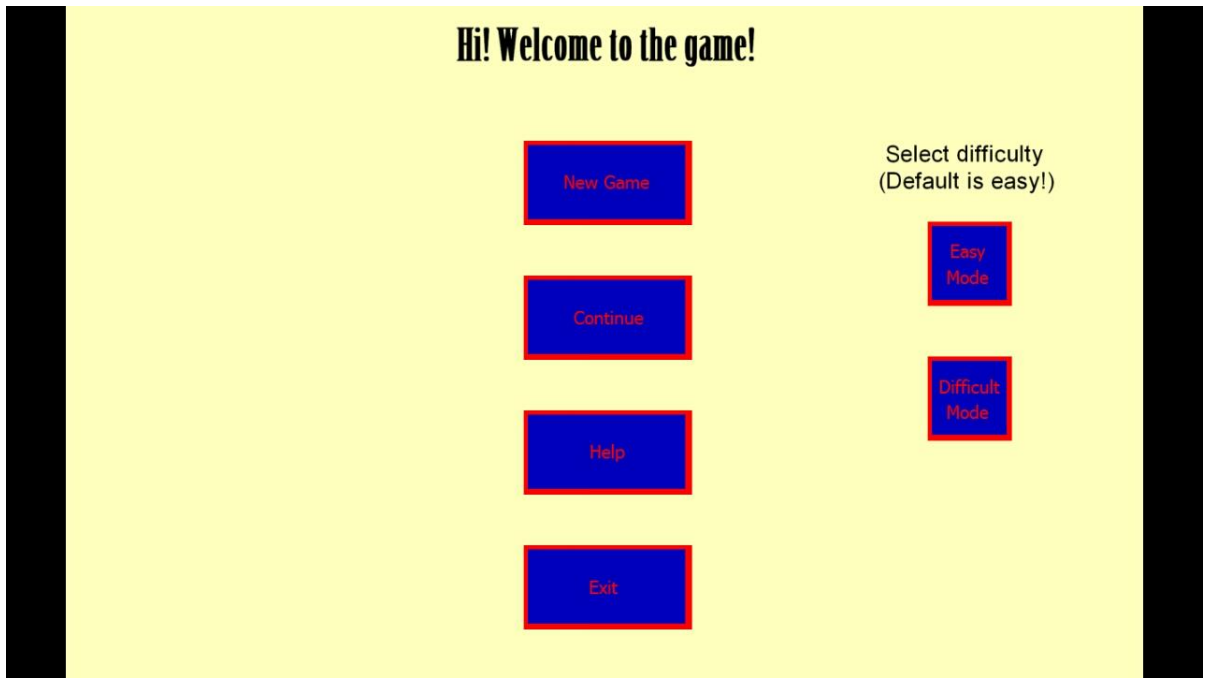
Συγκεντρωτικά οι τιμές των τετραγωνικών μέσων σφαλμάτων, οι συντελεστές συσχέτισης και οι μέγιστες ποσοστιαίες διαφορές φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Δείκτες μεταξύ των δύο προσομοιωτών

	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα	Συντελεστής συσχέτισης	Μέγιστη ποσοστιαία διαφορά(%)
Ενήλικας 1	$0.02e-2$	$99.98e-2$	$1.08e-2$
Ενήλικας 5	$0.09e-2$	$99.96e-2$	$1.48e-2$
Ενήλικας 10	$0.08e-2$	$99.98e-2$	$1.45e-2$
Έφηβος 1	$0.06e-2$	$99.99e-2$	$0.80e-2$
Έφηβος 5	$0.01e-2$	$99.99e-2$	$1.05e-2$
Έφηβος 10	$0.08e-2$	$99.96e-2$	$1.29e-2$
Παιδί 1	$0.14e-2$	$99.95e-2$	$7.89e-2$
Παιδί 2	$0.11e-2$	$99.98e-2$	$1.57e-2$
Παιδί 5	$0.02e-2$	$99.98e-2$	$1.93e-2$

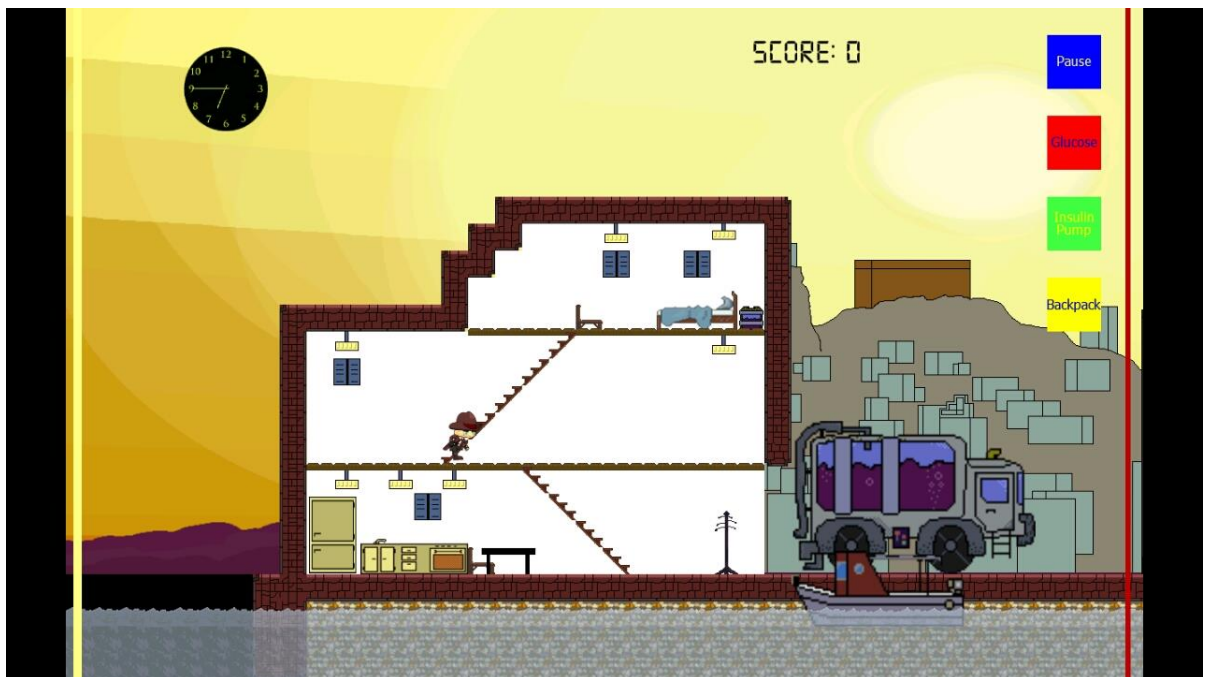
4.2: Διεπιφάνειες επαφής με τον χρήστη

Αρχικά εμφανίζεται η αρχική οθόνη του παιχνιδιού [Εικόνα 44] στην οποία ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ξεκινήσει νέο παιχνίδι, να συνεχίσει από εκεί που έμεινε την προηγούμενη φορά, να διαβάσει οδηγίες για τον τρόπο παιχνιδιού καθώς και για την διαχείριση του ΣΔ και να κλείσει το παιχνίδι. Επίσης δίνεται η δυνατότητα να επιλέξει μεγαλύτερο επίπεδο δυσκολίας στο οποίο μπορεί να κερδίσει περισσότερους βαθμούς αλλά είναι πιο δύσκολος ο γλυκαιμικός έλεγχος. Η δυσκολία αυτή βασίζεται στα μοντέλα των εικονικών ασθενών που προσομοιώνονται στο σοβαρό παιχνίδι καθώς έχουν διαφορές στην αποτελεσματικότητα του γλυκαιμικού ελέγχου.



Εικόνα 44 Αρχική οθόνη παιχνιδιού

Το παιχνίδι ξεκινάει με το επίπεδο προσομοίωσης και συγκεκριμένα από το σπίτι του ήρωα [Εικόνα 45]. Πριν ξεκινήσει την μέρα του ο ήρωας τρώει πρωινό το οποίο καθορίζεται από τον χρήστη, όπως και όλα τα υπόλοιπα γεύματα που μπορεί να λάβει κατά την διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 45 Επίπεδο προσομοίωσης - ημέρας

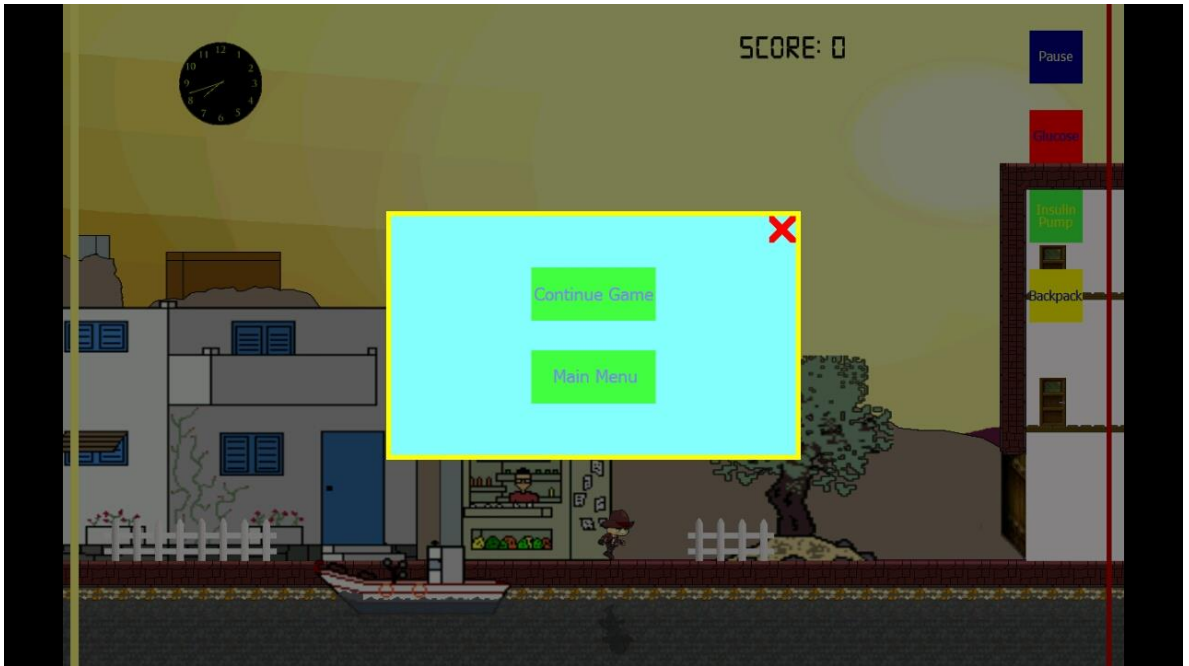
Στην συνέχεια φαίνεται το μενού που εμφανίζεται αν ο χρήστης θελήσει να σταματήσει στο περίπτερο [Εικόνα 46]. Υπάρχει η δυνατότητα της άμεσης κατανάλωσης των επιλεγμένων τροφών καθώς και η δυνατότητα αποθήκευσής τους για μετέπειτα κατανάλωση. Στα βασικά γεύματα (δηλ. πρωινό, μεσημεριανό και βραδινό) υπάρχει μόνο η επιλογή της άμεσης κατανάλωσης ενώ δεν υπάρχει επιλογή εξόδου χωρίς να φάει. Το μενού των υπόλοιπων γευμάτων έχει παρόμοια μορφή με διαφορετικά διατροφικά στοιχεία.



Εικόνα 46 Μενού περιπτέρου

Στον χρήστη έχουν δοθεί τέσσερις λειτουργίες που μπορεί να χρησιμοποιήσει όποια χρονική στιγμή θελήσει. Αρχικά δίνεται η δυνατότητα παύσης και συνέχειας του παιχνιδιού σε όποιο σημείο κριθεί απαραίτητο [Εικόνα 47].

Στην συνέχεια υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης της γλυκόζης [Εικόνα 48] του ήρωα καθώς και η δυνατότητα χορήγησης ινσουλίνης [Εικόνα 49]. Η τιμή της γλυκόζης είναι το αποτέλεσμα που εξάγεται από τον υλοποιημένο προσομοιωτή.



Εικόνα 47 Μενού παύσης



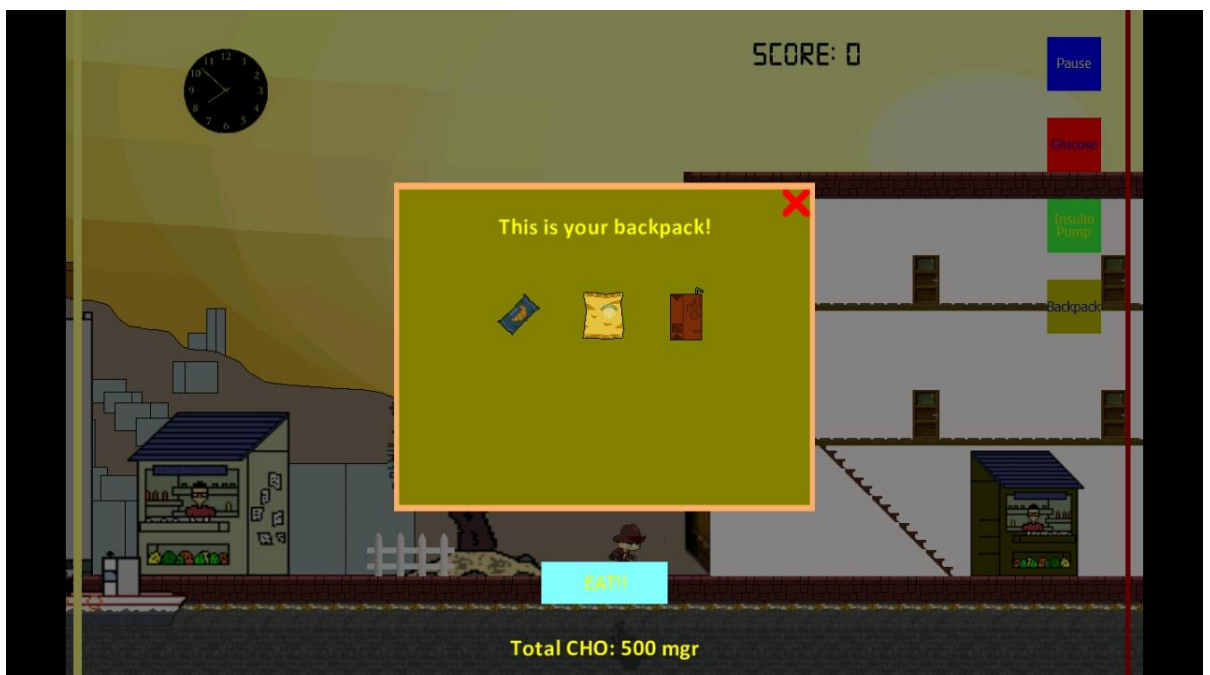
Εικόνα 48 Μηχανισμός μέτρησης γλυκόζης

Για την ινσουλίνη υπάρχει η δυνατότητα χορήγησης μίας εκ των τριών συγκεκριμένων δόσεων[Εικόνα 49].



Εικόνα 49 Μηχανισμός χορήγησης ινσουλίνης

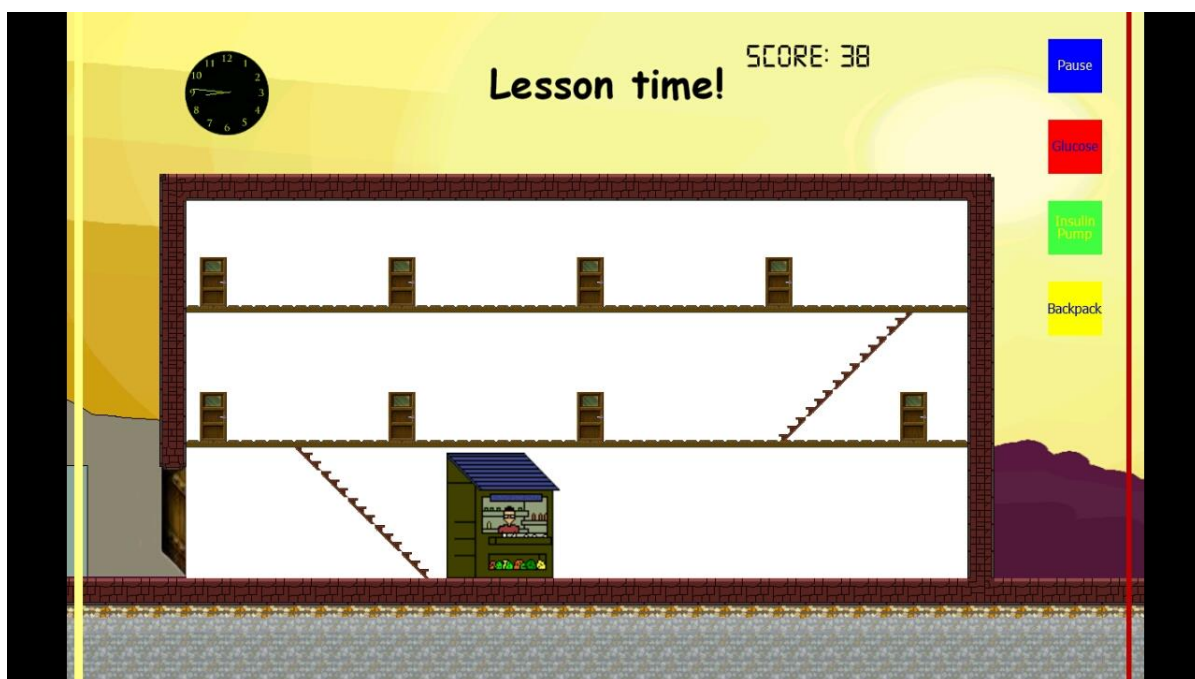
Επίσης όπως αναφέρθηκε ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τροφές στο σακίδιο του ήρωα και να τις καταναλώνει όποτε κρίνει σωστό [Εικόνα 50].



Εικόνα 50 Μηχανισμός σακιδίου για αποθήκευση τροφών

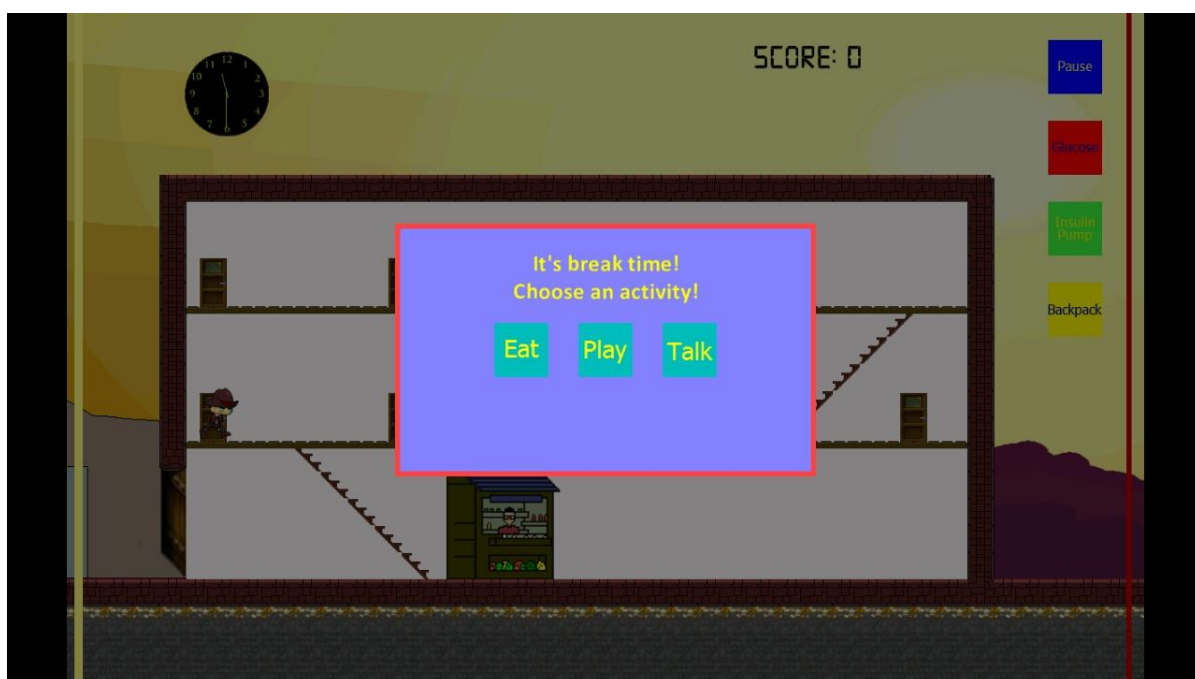
Γενικά για όλα τα γεύματα που μπορεί να καταναλώσει ο ήρωας αναγράφονται οι συνολικοί εμπειριεχόμενοι υδρογονάνθρακες έτσι ώστε να μπορεί να διευκολύνεται ο χρήστης.

Ο ήρωας μετά το σπίτι, και μέσω του δρόμου που περνάει από το περίπτερο, μεταβαίνει στο σχολείο [Εικόνα 51] όπου ο χρήστης έχει την επιλογή δραστηριοτήτων για κάθε διάλλειμα [Εικόνα 52].



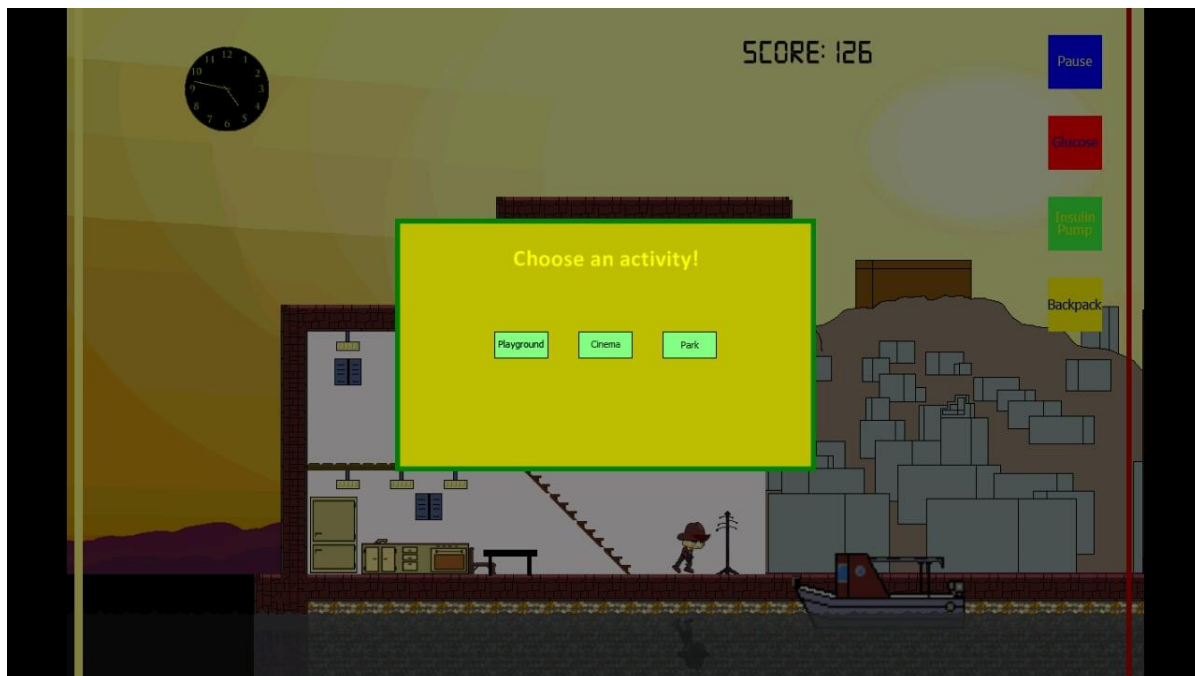
Εικόνα 51 Σχολείο

Στην περίπτωση επιλογής φαγητού ο ήρωας μεταβαίνει στο κυλικείο του σχολείου στο οποίο έχει τις ίδιες δυνατότητες αξιοποίησης των τροφών όπως και στο περίπτερο.



Εικόνα 52 Επιλογή δραστηριότητας για το διάλλειμα του σχολείου

Μετά το σχολείο ο ήρωας επιστρέφει σπίτι όπου λαμβάνει μεσημεριανό, διαβάζει και ξεκουράζεται. Στην συνέχεια δίνεται στον χρήστη η επιλογή της απογευματινής δραστηριότητας[Εικόνα 53]. Συγκεκριμένα δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης ταινίας, περιπάτου στο πάρκο και μετάβαση σε παιδική χαρά.



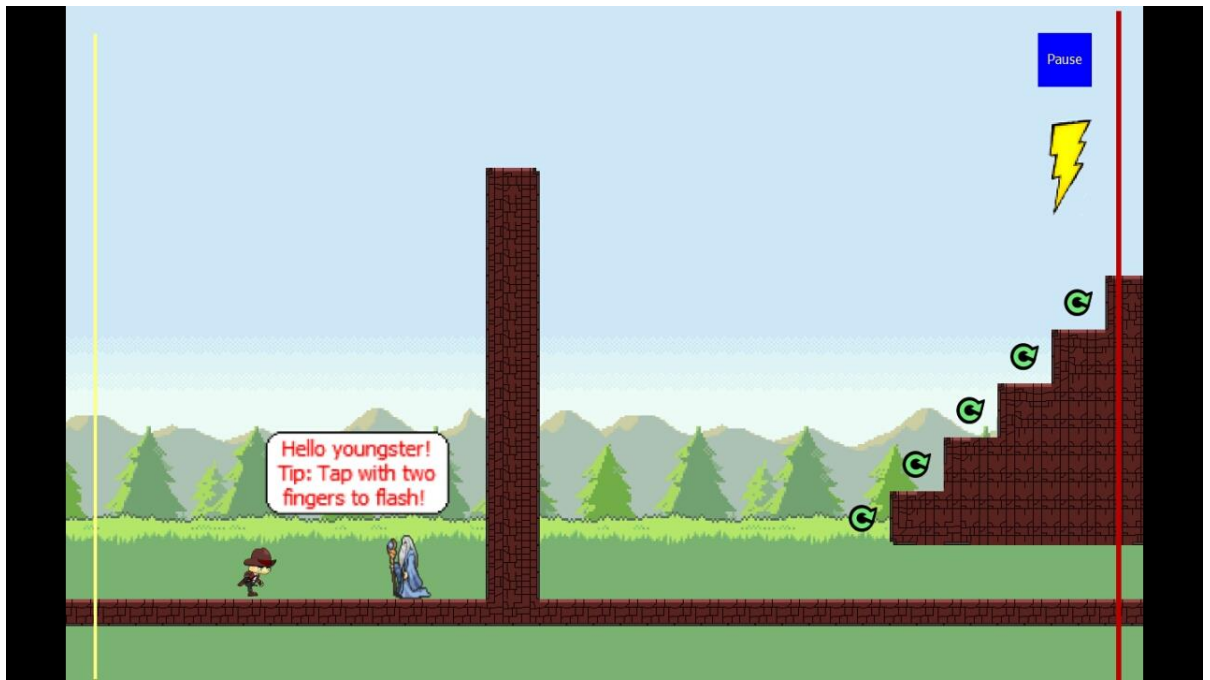
Εικόνα 53 Επιλογή απογευματινής δραστηριότητας

Σε όλες τις απογευματινές δραστηριότητες υπάρχει η δυνατότητα αγοράς επιπλέον τροφών από περίπτερα ή κυλικεία.

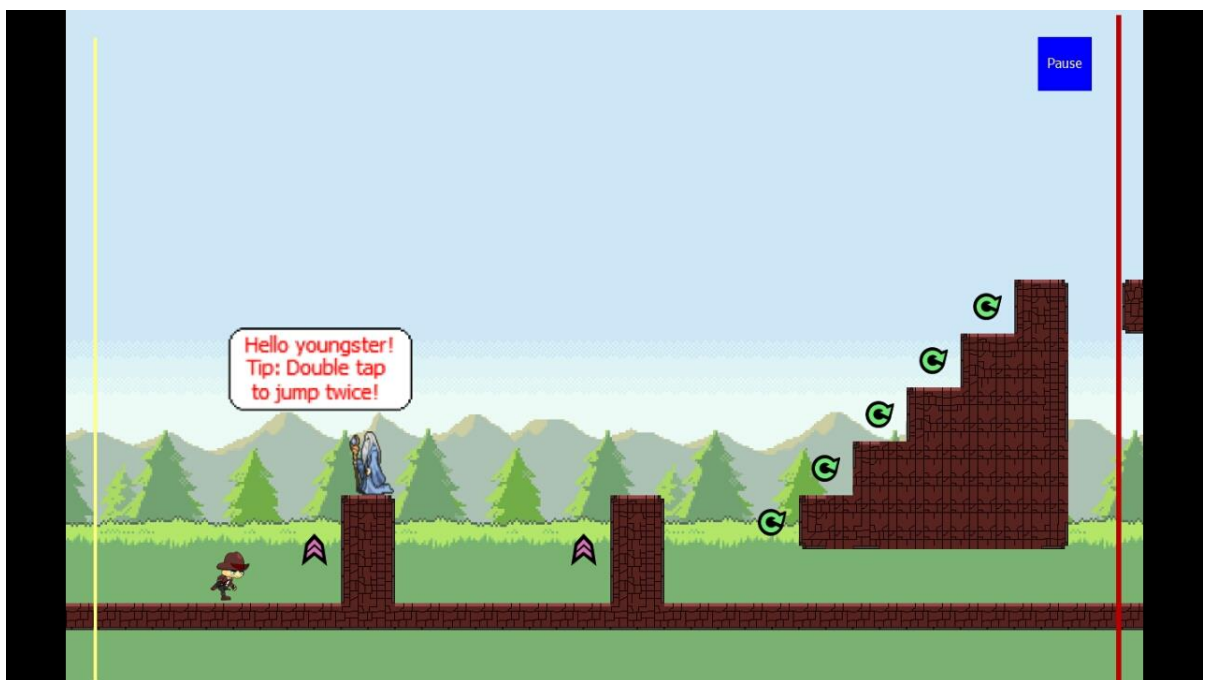
Όταν ολοκληρωθεί και η απογευματινή δραστηριότητα ο ήρωας μεταβαίνει ξανά στο σπίτι όπου καταναλώνει το βραδινό του γεύμα και κοιμάται.

Η συνέχεια στο παιχνίδι γίνεται ανάλογα με την διαχείριση της γλυκόζης που κατάφερε ο χρήστης κατά την διάρκεια της μέρας. Στην περίπτωση κακού γλυκαιμικού ελέγχου ο ήρωας μεταβαίνει σε ένα κενό επίπεδο όπου εμφανίζονται στον χρήστη οι λανθασμένες επιλογές του. Αντίθετα στην περίπτωση καλού γλυκαιμικού ελέγχου ο ήρωας μεταβαίνει στο επίπεδο δράσης όπου έχει επιπλέον δυνάμεις και προσπαθεί να μαζέψει όσο το δυνατόν περισσότερους βαθμούς.

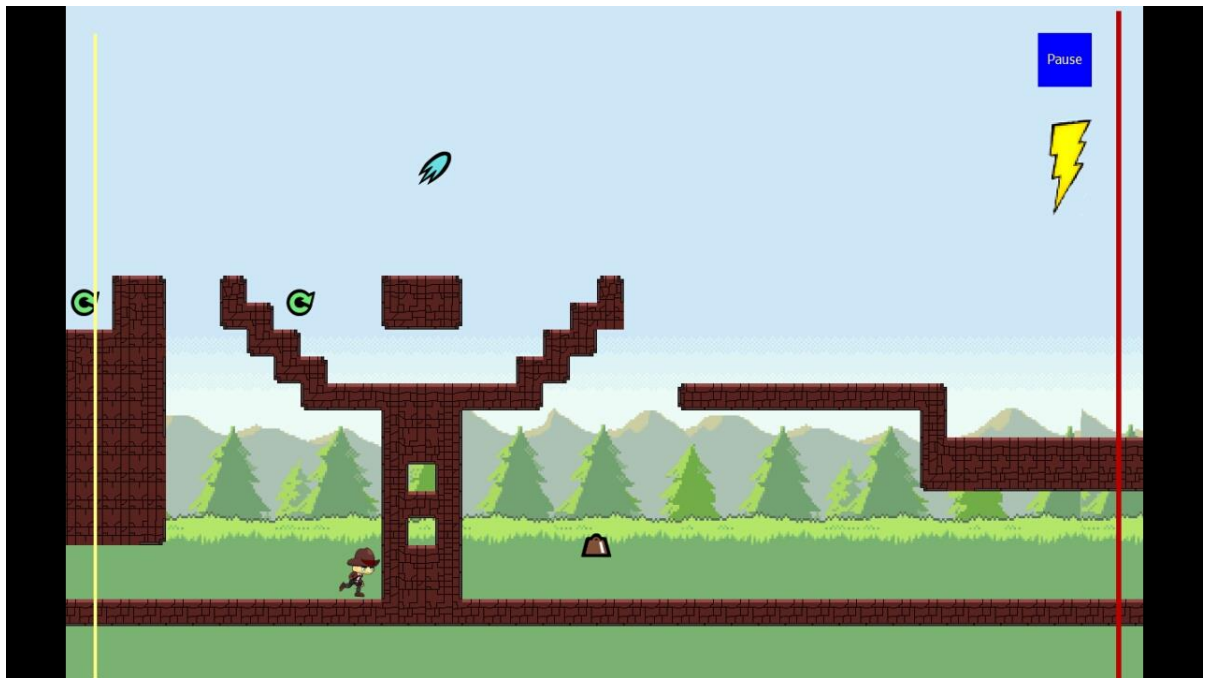
Κατά την έναρξη του επιπέδου δράσης ο χρήστης ενημερώνεται για το πως μπορεί να χρησιμοποιήσει τις επιπλέον δυνάμεις του[Εικόνες 54 και 55].



Εικόνα 54 Επεξήγηση μηχανισμού τηλεμεταφοράς κατά την εκκίνηση του επιπέδου δράσης



Εικόνα 55 Επεξήγηση μηχανισμού διπλού άλματος κατά την εκκίνηση του επιπέδου δράσης



Εικόνα 56 Επίπεδο δράσης

Στις εικόνες 54, 55 και 56 εμφανίζονται επιπλέον κάποια από τα αντικείμενα που προσδίδουν στον ήρωα προσωρινές ιδιότητες όπως η αυξομείωση της ταχύτητάς του και αλλαγή του χρώματός του. Το επίπεδο δράσης συνεχίζεται μέχρις ότου ο χρήστης να χάσει ή να τερματίσει. Σε κάθε περίπτωση στο τέλος εμφανίζεται το σύνολο των πόντων που αποκτήθηκαν.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Στην συνέχεια παρεντίθενται ιδέες για την μετέπειτα ανάπτυξη του σοβαρού παιχνιδιού.

5.1: Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα σοβαρό παιχνίδι με πολλά καινοτόμα στοιχεία. Αρχικά ενσωματώθηκε σε αυτό ο προσομοιωτής UVa/Padova T1DM και ως αποτέλεσμα αυτού ο μεταβολισμός της γλυκόζης που προσομοιώνεται είναι πολύ ακριβής και προσομοιώνει σε μεγάλο βαθμό πραγματικούς ασθενείς και καταστάσεις. Η υλοποίηση του προσομοιωτή στο προγραμματιστικό περιβάλλον του GameMaker: Studio δίνει στον προγραμματιστή και κατ' επέκταση στον χρήστη πολλούς βαθμούς ελευθερίας όσον αφορά την πρόσληψη γευμάτων και την χορήγηση ινσουλίνης. Ένα επίσης μεγάλο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής του σε παρόμοια εγχειρήματα στο μέλλον.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του προσομοιωτή παρατηρήθηκε ότι σε μερικούς εικονικούς ασθενείς οι τιμές της γλυκόζης που εμφανίζει ο υλοποιημένος προσομοιωτής ήταν ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές του προσομοιωτή UVa/Padova T1DM. Οι διαφορές αυτές θεωρήθηκαν αμελητέες για την χρήση που θα έχει στο πλαίσιο του σοβαρού παιχνιδιού. Επίσης η απόφαση να χρησιμοποιηθεί σαν μέθοδος επίλυσης η αριθμητική μέθοδος Runge-Kutta 4^{ης} τάξης σε αντιπαραβολή με την Dormand Prince που χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής UVa/Padova T1DM θεωρήθηκε ορθή καθώς τα σφάλματα δεν ήταν τέτοια ώστε να δικαιολογήσουν το επιπλέον υπολογιστικό κόστος.

Ο εικονικός ασθενής που έφερε τις μεγαλύτερες αποκλίσεις ήταν το Παιδί 1 καθώς είχε τις χειρότερες τιμές και στους τρεις δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν [Πίνακας 1]. Πιο συγκεκριμένα ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν $0.14e-2$, ο συντελεστής συσχέτισης $99.95e-2$ και η μέγιστη διαφορά $7.89e-2\%$. Τα σφάλματα αυτά παρόλο που είναι τα μεγαλύτερα που παρατηρήθηκαν στους εικονικούς ασθενείς που εξετάστηκαν δεν θεωρήθηκαν σημαντικά για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Για να επιτευχθεί η χρυσή τομή ανάμεσα στην εκπαίδευση και την ψυχαγωγία έγινε διαχωρισμός του βασικού σκέλους του παιχνιδιού σε δύο επίπεδα, το επίπεδο προσομοίωσης (ημέρας) και το επίπεδο δράσης (νύχτας). Αυτός ο διαχωρισμός έδωσε την δυνατότητα μίξης όλων των στοιχείων που θα πρέπει να έχει ένα σοβαρό παιχνίδι. Από την μία πλευρά με το επίπεδο προσομοίωσης δίνονται στον χρήστη πληροφορίες για τον ΣΔΤ1 καθώς και η δυνατότητα να δοκιμάσει, με ένα άρτιο επιστημονικό μοντέλο, τεχνικές με τις οποίες θα καταφέρει γλυκαιμικό έλεγχο. Από την άλλη πλευρά το επίπεδο δράσης συμπληρώνει το ψυχαγωγικό στοιχείο που δεν πρέπει να λείπει από ένα σοβαρό παιχνίδι. Το επίπεδο αυτό αποτελεί επίσης την άμεση επιβράβευση του χρήστη για την σωστή διαχείριση του ΣΔ. Τέλος με το επίπεδο ανασκόπησης

παρέχονται στον χρήστη συμβουλές που θα του επιτρέψουν να αποφύγει επικίνδυνες τιμές συγκέντρωσης γλυκόζης.

Τα αποτελέσματα από την μέχρι τώρα υλοποίηση του σοβαρού παιχνιδιού θεωρήθηκαν πολύ ενθαρρυντικά. Κατασκευάστηκε ο βασικός σκελετός του σοβαρού παιχνιδιού, στον οποίο συμπεριλαμβάνονται οι μηχανισμοί που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3, και ο οποίος θα αποτελέσει βάση για την μετέπειτα εξέλιξη του εγχειρήματος αυτού. Επίσης έχει σχεδιαστεί ένα βασικό σενάριο για τις δραστηριότητες και την πλοκή της ιστορίας του ήρωα. Πάνω στον συγκεκριμένο σκελετό και σενάριο αναμένεται να γίνουν επιπλέον προσθήκες, καθώς το σοβαρό παιχνίδι έχει πολλές επιλογές επεκτασιμότητας.

5.2: Μελλοντική έρευνα

Λόγω του ότι ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου σοβαρού παιχνιδιού είναι το επιστημονικό υπόβαθρο που παρέχεται από τη χρήση του προσομοιωτή UVa/Padova T1DM, είναι σημαντικό ο υλοποιημένος προσομοιωτής να επεκτείνεται συνεχώς καθώς προστίθενται νέα μοντέλα στον πρότυπο προσομοιωτή. Τέτοια μοντέλα θα επιτρέψουν στο σοβαρό παιχνίδι να προσομοιώνει ακόμα καλύτερα το μεταβολισμό γλυκόζης των παιδιών με ΣΔΤ1.

Όσον αφορά το σοβαρό παιχνίδι αυτό καθαυτό υπάρχουν πολλές επεκτάσεις που μπορούν να υλοποιηθούν έτσι ώστε να αυξηθεί η λειτουργικότητά του. Γενικά κρίνεται σημαντικό να υπάρξει βελτίωση στα γραφικά αλλά και να πλαισιωθεί το όλο σοβαρό παιχνίδι με μία πλοκή έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι πιο ελκυστικό στον χρήστη. Επίσης θα ήταν θετικό να υλοποιηθούν επιπλέον μηχανισμοί όπως συλλογή επιτευγμάτων, πίνακας υψηλών σκορ και διακοσμητικά παιχνιδιού που θα επιβραβεύουν τον χρήστη και επίσης θα βρίσκονται εκεί για να του θυμίζουν ό,τι έχει καταφέρει μέχρι στιγμής.

Σχετικά με τα επιμέρους επίπεδα του παιχνιδιού, για το επίπεδο προσομοίωσης είναι σημαντικό να αυξηθούν οι επιλογές που έχει ο χρήστης για τα γεύματα που μπορεί να επιλέξει καθώς και οι δραστηριότητες που προσφέρονται. Οι αυξημένες επιλογές για τις τροφές σε συνδυασμό με τους υπάρχοντες μηχανισμούς για μέτρηση γλυκόζης και χορήγηση ινσουλίνης θα του επιτρέψουν να κατανοήσει πιο εύκολα την σχέση μεταξύ γλυκόζης και ινσουλίνης. Επίσης είναι σημαντικό να βελτιωθεί ο μηχανισμός χορήγησης ινσουλίνης έτσι ώστε να ταιριάζει περισσότερο με τα πραγματικά δεδομένα.

Στην συνέχεια πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερες επιλογές για το επίπεδο δράσης. Τα επιπλέον αυτά επίπεδα πρέπει να υλοποιηθούν με κεντρικό άξονα την ψυχαγωγία. Η επιλογή του επιπέδου δράσης θα πρέπει να γίνεται σε σχέση με την απόδοση του χρήστη στο επίπεδο προσομοίωσης έτσι ώστε ο χρήστης να έχει ένα επιπλέον κίνητρο να προβεί σε ορθό γλυκαιμικό έλεγχο.

Η πιο σημαντική επέκταση που πρέπει να γίνει είναι στο επίπεδο ανασκόπησης καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο χρήστης να βρεθεί εκεί τις πρώτες φορές που θα δοκιμάσει το σοβαρό παιχνίδι. Θα πρέπει να υλοποιηθεί κατάλληλος αλγόριθμος που να εντοπίζει σε ποιο σημείο του

επιπέδου προσομοίωσης έγινε κάποια εσφαλμένη ενέργεια που οδήγησε σε υπεργλυκαιμία ή υπογλυκαιμία καθώς και ενέργειες που θα έπρεπε να έχουν παρθεί για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων. Επίσης θα πρέπει με απλό και κατανοητό τρόπο να δίνονται στον χρήστη συμβουλές για την διαχείριση της γλυκόζης έτσι ώστε να υπάρχει βελτίωση του αποτελέσματος την επόμενη φορά. Τέλος αναφορικά με το επίπεδο ανασκόπησης δεν πρέπει το ύψος των συμβουλών να είναι σε καμία περίπτωση επικριτικό καθώς αυτό είναι πιθανό να φέρει αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά, ενώ και εδώ πρέπει να είναι έντονο το στοιχείο της επιβράβευσης για την προσπάθεια που έγινε.

Όταν ολοκληρωθεί η υλοποίηση του σοβαρού παιχνιδιού είναι απαραίτητο να δοκιμαστεί και να αξιολογηθεί από παιδιά με ΣΔΤ1, υγιή παιδιά, γονείς και ιατρούς οι οποίες θα ασκήσουν κριτική και προτάσεις βελτίωσης.

Στο κομμάτι της επιθυμητής κοινωνικοποίησης του παιδιού σε ΣΔΤ1 κρίνεται σημαντικό να λειτουργήσουν δικτυακοί χώροι συζητήσεων (forum) όπου οι χρήστες του σοβαρού παιχνιδιού να μπορούν να ανταλλάζουν απόψεις, συμβουλές και ανησυχίες.

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό είναι η δημιουργία βάσης δεδομένων στην οποία οι χρήστες μέσω του παιχνιδιού θα έχουν την δυνατότητα να εισάγουν δικές τους μετρήσεις γλυκόζης κερδίζοντας ψηφιακά αγαθά. Οι μετρήσεις αυτές, εφόσον έχει δοθεί η σχετική άδεια από τους χρήστες και τους κηδεμόνες τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ερευνητικούς σκοπούς. Στο ίδιο κλίμα οι χρήστες μπορούν να συμμετέχουν σε διάφορες μίνι-έρευνες που θα μπορούν να εμφανίζονται στο σοβαρό παιχνίδι ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης η διασύνδεση με βάση δεδομένων θα δώσει επιπλέον δυνατότητες στο σοβαρό παιχνίδι όπως η αλληλεπίδραση του χρήστη με άλλους χρήστες εντός της πλατφόρμας του σοβαρού παιχνιδιού.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Ζαρκογιάννη, «Ευφυή Συστήματα Υποστήριξης Εξατομικευμένων Ιατρικών Αποφάσεων για τη Διαχείριση του Σακχαρώδους Διαβήτη», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- [2] «Prediabetes and Insulin Resistance», National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, August 2009. [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/types/prediabetes-insulin-resistance>.
- [3] «Glucagon», Diabetes.co.uk, [Online]. Available: <http://www.diabetes.co.uk/body/glucagon.html>.
- [4] «Type 1 Diabetes», American Diabetes Association, [Online]. Available: <http://www.diabetes.org/diabetes-basics/type-1>.
- [5] D. Daneman, «Type 1 diabetes», *THE LANCET*, vol. 367, αρ. 9513, pp. 847-858, 2006.
- [6] «Type 1 Diabetes», diabetesaustralia.com.au, [Online]. Available: <https://www.diabetesaustralia.com.au/type-1-diabetes>.
- [7] «Diabetes», World Health Organization, June 2016. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/>.
- [8] «Type 2 Diabetes», diabetesaustralia.com.au, [Online]. Available: <https://www.diabetesaustralia.com.au/type-2-diabetes>.
- [9] L. Spanou, K. Dalakleidi, K. Zarkogianni, P. Anastasia, K. Nikita, V. Vasiliki, M. Alevizaki and E. Anastasiou, «Ketonemia and ketonuria in gestational diabetes mellitus», *Hormones*, vol. 14(4), pp. 644-650, 2015.
- [10] L. Spanou, K. Dalakleidi, V. Vasileiou, K. Zarkogianni, S. Mouzakioti, K. Nikita and E. Anastasiou, «Correlating ketones in blood with ketones in urine in Gestational Diabetes»,

in *39th Panhellenic Congress of Endocrinology and Metabolism (EEE 2012)*, Athens, Greece, 2012.

- [11] «Gestational Diabetes», American Diabetes Association, [Online]. Available: <http://www.diabetes.org/diabetes-basics/gestational/>.
- [12] «Gestational Diabetes», National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, September 2014. [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/types/gestational>.
- [13] «Managing gestational diabetes», diabetes australia, [Online]. Available: <https://www.diabetesaustralia.com.au/managing-gestational-diabetes>.
- [14] «Κατευθυντήριες Οδηγίες για τη Διαχείριση του Διαβητικού Ασθενούς», Ελληνική Διαβητολογική Εταιρεία, 2013.
- [15] E. Andreoulakis, T. Hyphantis, D. Kandyliis and A. Iacovides, «Depression in diabetes mellitus: a comprehensive review», *Hippokratia*, vol. 16(3), pp. 205-214, 2012.
- [16] H. Fishbein and P. Palumbo, «Acute Metabolic Complications in Diabetes», *Diabetes in America*, 2nd Edition, National Diabetes Data Group of the National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 1995, ch.13, pp. 283-292.
- [17] A. Νικολοπούλου, «Διαβητική κετοξέωση», *Ελληνικά Διαβητολογικά Χρονικά*, vol. 4(24), pp. 220-234, 2011.
- [18] Σ. Καρράς and Θ. Κάλτσας, «Υπερωσμωτικό κώμα», *Ενταντική εκπαίδευση στην ενδοκρινολογία: Σακχαρώδης διαβήτης*.
- [19] Ν. Παπάζογλου, «Υπερωσμωτικό μη κετονικό υπεργλυκαιμικό κώμα», *Ελληνικά Διαβητολογικά Χρονικά*, vol. 12(1), pp. 31-35, 1999.
- [20] «Hypoglycemia (Low Blood GLucose)», American Diabetes Association, [Online]. Available:<http://www.diabetes.org/living-with-diabetes/treatment-and-care/blood-glucose-control/hypoglycemia-low-blood.html>.

- [21] «Low Blood Glucose (Hypoglycemia)», National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/preventing-diabetes-problems/low-blood-glucose-hypoglycemia>.
- [22] «Complications of diabetes mellitus», Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Complications_of_diabetes_mellitus.
- [23] «Diabetic cardiomyopathy», Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Diabetic_cardiomyopathy.
- [24] W. Todd Cade, «Diabetes-Related Microvascular and Macrovascular Diseases in the Physical Therapy Setting», *Physician Therapy*, vol. 88(11), pp. 1322-1335, 2008.
- [25] M. Skevofilakas, K. Zarkogianni, V. Karamanos and K. Nikita, «A hybrid Decision Support System for the Risk Assessment of retinopathy development as a long term complication of Type 1 Diabetes Mellitus», in *32nd International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Buenos Aires, Argentina, 2010.
- [26] V. Candland, «Diabetic Encephalopathy», diabetic connect, [Online]. Available: <http://www.diabeticconnect.com/diabetes-information-articles/general/1173-diabetic-encephalopathy>.
- [27] Κ. Λαμπρέστας, «Διαβητικό Πόδι», [Online]. Available: <http://lambretsas.gr/diavitiko-podi>.
- [28] K. Dalakleidi, K. Zarkogianni, V. Karamanos, A. Thanopoulou and K. Nikita, «A hybrid genetic algorithm for the selection of critical features for cardiovascular complications prognosis in type 2 diabetes patients», in *13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering (BIBE 2013)*, Chania, Greece, 2013.
- [29] «IDF Diabetes Atlas - 7th Edition», International Diabetes Federation, 2015.
- [30] «Diagnosis of Diabetes and Prediabetes», National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/diagnosis-diabetes-prediabetes>.

- [31] «Θεραπευτικό πρωτόκολλο συνταγογράφησης: Σακχαρώσης Διαβήτη», Εθνικός Οργανισμός Φαρμάκων.
- [32] «The A1C Test and Diabetes», National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/diagnosis-diabetes-prediabetes/a1c-test>.
- [33] «A1C test», Mayo Clinic, January 2016. [Online]. Available: <http://www.mayoclinic.org/tests-procedures/a1c-test/home/ovc-20167930>.
- [34] «Fasting Plasma Glucose Test», Diabetes.co.uk, [Online]. Available: <http://www.diabetes.co.uk/fasting-plasma-glucose-test.html>.
- [35] «Oral Glucose Tolerance Test», Diabetes.co.uk, [Online]. Available: <http://www.diabetes.co.uk/oral-glucose-tolerance-test.html>.
- [36] T. Kinman, «Glucose Tolerance Test», healthline, 9 August 2016. [Online]. Available: <http://www.healthline.com/health/glucose-tolerance-test#Overview1>.
- [37] «Statistics About Diabetes», American Diabetes Association, [Online]. Available: <http://www.diabetes.org/diabetes-basics/statistics/>.
- [38] A. Dagliati, L. Sacchi, M. Bucalo, S. Daniele, K. Zarkogianni, A. Martínez-Millana, J. Cancela, F. Sambo, G. Fico, T. Meneu, C. Cerra, K. Nikita, C. Cobelli, L. Chiovato, M. Arredondo and R. Bellazzi, «A Data Gathering Framework to Collect Type 2 Diabetes Patients Data», in *2nd IEEE-EMBS International Conferences on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, Valencia, Spain, 2014.
- [39] «Citizen Tool», mosaic project, [Online]. Available: http://www.mosaicproject.eu/citizen_tool.html.
- [40] «Type 2 Diabetes Know Your Risk», Diabetes UK, [Online]. Available: <http://riskscore.diabetes.org.uk/start>.
- [41] I. Köster, L. von Ferber, P. Ihle, I. Schubert and H. Hauner, «The Cost Burden of Diabetes Mellitus: The Evidence from Germany—The CoDiM Study», *Diabetologia*, vol. 49(7), pp. 1495-1504, 2006.

- [42] K. Zarkogianni and K. S. Nikita, «Personal Health Systems for Diabetes Management, Early Diagnosis and Prevention», *Handbook of Research on Trends in the Diagnosis and Treatment of Chronic Conditions*. Hershey PA, USA: Medical Information Science Reference, 2015, ch. 22, pp. 465-494.
- [43] K. Zarkogianni, E. Litsa, K. Mitsis, P. Wu, C. Kaddi, C. Cheng, M. Wang and K. Nikita, «A Review of Emerging Technologies for the Management of Diabetes Mellitus», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 62(12), pp. 2735-2749, 2015.
- [44] J. Tamada and M. Tierney, «Keeping Watch On Glucose», *IEEE SPECTRUM*, 1 April 2002. [Online]. Available: <http://spectrum.ieee.org/biomedical/devices/keeping-watch-on-glucose>.
- [45] «Consumers (Medical Devices)», US Food and Drug Administration, [Online]. Available:<http://www.fda.gov/MedicalDevices/ResourcesforYou/Consumers/default.htm>.
- [46] M. Αθανασίου, «Ανάπτυξη Ελεγκτή Γλυκόζης για Άτομα με Σακχαρώδη Διαβήτη Τύπου 1: Χρήση Αναλογικού Διαφορικού Ελέγχου με Εξασθένηση Μνήμης», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.
- [47] Κ. Μήτσης, «Ανάπτυξη εξατομικευμένου μοντέλου προσομοίωσης του μεταβολισμού γλυκόζης-ινσουλίνης σε άτομα με Σακχαρώδη Διαβήτη Τύπου 1 βασισμένο σε νευροασαφή λογική», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2014.
- [48] K. Zarkogianni, S. Mougiakakou, A. Prountzou, A. Vazeou, C. Bartsocas and K. Nikita, «An Insulin Infusion Advisory System for Type 1 Diabetes Patients based on Non-Linear Model Predictive Control Methods», in *29th Engineering in Medicine and Biology Conference 2007 (EMBC'07)*, Lyon, France, 2007.
- [49] S. Mougiakakou, C. Bartsocas, E. Bozas, N. Chaniotakis, D. Iliopoulou, I. Kouris, S. Pavlopoulos, A. Prountzou, M. Skevofylakas, A. Tsoukalis, K. Varotsis, A. Vazeou, K. Zarkogianni and K. Nikita, «SMARTDIAB: A Communication and Information Technology Approach for the Intelligent Monitoring, Management and Follow-up of Type 1 Diabetes Patients», *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14(3), pp. 622-633, 2010.

- [50] M. Skevofilakas, S. Mougiakakou, K. Zarkogianni, E. Aslanoglou, S. Pavlopoulos, A. Vazeou, C. Bartsokas and K. Nikita, «A Communication and Information Technology Infrastructure for Real Time Monitoring and Management of Type 1 Diabetes Patients», in *29th Engineering in Medicine and Biology Conference 2007 (EMBC'07)*, Lyon, France, 2007.
- [51] S. Mougiakakou, A. Vazeou, M. Skevofilakas, D. Iliopoulou, K. Zarkogianni, A. Prountzou, S. Pavlopoulos, C. Bartsokas and K. Nikita, «A Web Based Information System for the Advanced Management of Type 1 Diabetes Patients», in *8th Annual Diabetes Technology Meeting*, Bethesda, USA, 2008.
- [52] S. Mougiakakou, J. Stoitsis, D. Iliopoulou, A. Prentza, K. Nikita and D. Koutsouris, «A Communication Platform for Tele-monitoring and Tele-management of Type 1 Diabetes», in *27th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Shanghai, China, 2005.
- [53] D. Iliopoulou, K. Giokas, S. Mougiakakou, J. Stoitsis, A. Prentza and K. Nikita, «A Telematic System for Diabetes Management, Reporting and Patient Advice», *The Journal on Information Technology in Healthcare*, vol. 3(5), pp. 307-313, 2005.
- [54] K. Zarkogianni and K. Nikita, «Special issue on emerging technologies for the management of diabetes mellitus», *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 53(12), pp. 1255-1258, 2015.
- [55] K. Zarkogianni, S. Mougiakakou, A. Prountzou, K. Nikita, C. Bartsokas and A. Vazeou, «An Insulin Infusion Advisory System For Closing The Loop Between Continous Glucose Monitors And Insulin Pumps: In Silico Evaluation», in *1st International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes (ATTD)*, Prague, 2008.
- [56] S. Mougiakakou, K. Zarkogianni, A. Prountzou, A. Vazeou, C. Bartsokas and K. Nikita, «A Personalized Insulin Infusion Advisory System for Type 1 Diabetes Patients for Closing the Loop between CGM and Insulin Pumps», in *7th Annual Diabetes Technology Meeting*, San Fransisco, USA, 2007.
- [57] S. Mougiakakou and K. Nikita, «A Neural Network Approach for Insulin Regime and Dose Adjustment in IDDM», *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 2(3), pp. 381-389, 2000.

- [58] S. Mougiakakou and K. Nikita, «A Simulation of Glucose Metabolism for Type 1 Diabetes Based on Neural Networks and Compartmental Models», in *Proceedings of the 2nd Annual Diabetes Technology Meeting*, Atlanta, USA, 2002.
- [59] S. Mougiakakou, K. Nikita, E. Protonotarios and G. Matsopoulos, «Neural Network based Decision Support System for Outpatients Diabetes Management», in *Symposium on COMPUTERS in DIABETES '98 on the occasion of the EASD '98*, Barcelona, Spain, 1998.
- [60] K. Zarkogianni, A. Vazeou, S. Mougiakakou, A. Prountzou and K. Nikita, «An insulin infusion advisory system based on autotuning nonlinear model-predictive control», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58(9), pp. 2467-2477, 2011.
- [61] K. Zarkogianni, S. Mougiakakou, A. Prountzou, A. Vazeou, C. Bartsokas and K. Nikita, «An Insulin Infusion Advisory System for Type 1 Diabetes Patient based on Non-Linear Model Predictive Control Meyhods», in *29th Engineering in Medicine and Biology Conference 2007 (EMBC'07)*, Lyon, France, 2007.
- [62] K. Zarkogianni, K. Mitsis, E. Litsa, M. Arredondo, G. Fico, A. Fioravanti and K. Nikita, «Comparative assessment of glucose prediction models for Patients with Type 1 Diabetes Mellitus applying sensors for glucose and physical activity monitoring», *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 53(12), pp. 1333-1343, 2015.
- [63] K. Zarkogianni, K. Mitsis, M. Arredondo, G. Fico, A. Fioravanti and K. Nikita, «Neuro-Fuzzy Based Glucose Prediction Model for Patients with Type 1 Diabetes Mellitus», in *2nd IEEE- EMBS International Conferences on Biomedical and Health Informatics*, Valencia, Spain, 2014.
- [64] K. Zarkogianni, E. Litsa, A. Vazeou and K. Nikita, «Personalized glucose-insulin metabolism model based on self-organizing maps for patients with type 1 diabetes mellitus», in *13th IEEE International Conference on Bioinformatics and BioEngineering*, Chania, Greece, 2013.
- [65] K. Zarkogianni, S. Mougiakakou, A. Prountzou, A. Vazeou and K. Nikita, «An Auto-Tuning Nonlinear Model Predictive Control for Blood Glucose Control in Type 1 Diabetes», in *4th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes*, London, UK, 2011.

- [66] K. Zarkogianni, A. Vazeou, S. Mougiakakou, A. Prountzou and K. Nikita, «An insulin infusion advisory system based on autotuning nonlinear model-predictive control», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58(9), pp. 2467-2477, 2011.
- [67] I. Kuo, «Nike+: Building Community and Competitive Advantage with Gamification», Gamification co, 3 August 2015. [Online]. Available: <http://www.gamification.co/2015/08/03/nike-building-community-and-competitive-advantage-with-gamification>.
- [68] T. Marsh, «Serious games continuum: Between games for purpose and experiential», *Entertainment Computing*, vol. 2(2), pp. 61-68, 2011.
- [69] K. Kiili, S. Freitas, S. Arnab and T. Lainema, «The Design Principles for Flow Experience in Educational», *Virtual Worlds for Serious Applications*, vol. 15, pp. 78-91, 2012.
- [70] W. Wong, C. Shen, L. Nocera, E. Carriazo, F. Tang, S. Bugga, H. Narayanam, H. Wang and U. Ritterfeld, «Serious Video Game Effectiveness», in *Advances in computer entertainment technology (ACE '07)*, Salzburg, Austria, USA, 2007.
- [71] «Virtual Iraq», VBI, [Online]. Available: <http://www.virtuallybetter.com/virtual-iraq/>.
- [72] «DARWARS Ambush!», Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA), [Online]. Available: <http://www.healthgamesresearch.org/games/darwars-ambush>.
- [73] «Ludwig», [Online]. Available: <http://www.playludwig.com/>.
- [74] «Math Snacs», [Online]. Available: <http://mathsnacks.com/>.
- [75] «Playing History», [Online]. Available: <http://www.playinghistory.eu/>.
- [76] H. Kharrazi, A. Shiorong Lu, F. Gharghabi and W. Coleman, «A Scoping Review of Health Game Research:», *Games for Health Journal*, vol. 1(2), 2012.
- [77] M. Graafland, J. Schraagen and M. Schijven, «Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training.», *British Journal of Surgery Society*, vol. 99(10), pp. 1322-1330, 2012.

- [78] D. Majumdar, P. Koch, H. Gray, I. Contento, A. Lourdes Islas-Ramos and D. Fu, «Nutrition Science and Behavioral Theories Integrated in a Serious Game for Adolescents», *Simulation Gaming*, vol. 46, pp. 68-97, 2015.
- [79] B. Bouchard, F. Imbeault, B. Manelas and A. Bouzouane, «Developing Serious Games Specifically Adapted to People Suffering from Alzheimer», in *3rd International Conference Serious Games Development and Applications (SGDA'12)*, Bremen, Germany, 2012.
- [80] F. Imbeault, B. Bouchard and A. Bouzouane, «Serious Games in Cognitive Training for Alzheimer's Patients», in *1st IEEE International Conference on Serious Games and Applications for Health (IEEE-SeGAH)*, Braga, Portugal, 2011.
- [81] «Depression Quest», [Online]. Available: <http://www.depressionquest.com/>.
- [82] «Elude», 2010. [Online]. Available: <http://gambit.mit.edu/loadgame/elude.php>.
- [83] F. Fernández-Aranda, S. Jiménez-Murcia, J. Santamaría, K. Gunnard, A. Soto, E. Kalapanidas, R. Bults, C. Davarakis, T. Ganchev, R. Granero, D. Konstantas, T. Kostoulas, T. Lam, M. Lucas, C. Masuet-Aumatell, M. Moussa, J. Nielsen and E. Penelo, «Video games as a complementary therapy tool in mental disorders: PlayMancer, a European multicentre study», *Journal of Mental Health*, vol. 21(4), pp. 364-374, 2012.
- [84] E. Selmanovic, «Obesity in Children - A Serious Game», Coverty/ UK, 2010.
- [85] M. AL-Qurishi, M. Mostafa, M. Alrakhmi and A. Alamri, «StarsRace: A mobile collaborative serious game for obesity», in *Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, Chengdu, China, 2014.
- [86] S. Hardy, F. Feldwieser, T. Dutz, S. Göbel, R. Steinmetz and E. Steinhagen-Thiessen, «ALFRED Back Trainer: Conceptualization of a Serious Game-Based Training System for Low Back Pain Rehabilitation Exercises», *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9090, pp. 36-47, 2015.
- [87] P. Rego, P. Moreira and L. Reis, «Serious Games for Rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy», in *5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Santiago de Compostela, Spain, 2010.

- [88] L. Omelina, B. Jansen, B. Bonnechere, S. Van Sint Jan and J. Cornelis, «Serious games for Physical rehabilitation: designing highly configurable and adaptable games», in The 9th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, Laval, France, 2012.
- [89] R. Friedrich, P. Hiesel, S. Peters, D. Siewiorek, A. Smailagic and B. Brügge, «Serious Games for Home-based Stroke Rehabilitation», *Studies in Health Technology and Informatics*, vol. 213, pp. 157-160, 2015.
- [90] J. Burke, M. McNeill, D. Charles, P. Morrow, J. Crosbie and S. McDonough, «Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke», in 1st *Games and Virtual Worlds for Serious Applications(VG-GAMES '09)*, Coventry, UK, 2009.
- [91] E. Vogiatzaki and A. Krukowski, «Serious Games for Stroke Rehabilitation Employing Immersive User Interfaces in 3D Virtual Environment», in 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH'2014), Rio de Janeiro, Brazil, 2014.
- [92] S. Brown, D. Lieberman, B. Germeny, Y. Fan, D. Wilson and D. Pasta, «Educational video game for juvenile diabetes: results of a controlled trial», *Medical Informatics*, vol. 22(1), pp. 77-89, 1997.
- [93] «The Diabetic Dog», [Online]. Available: <https://www.nobelprize.org/educational/medicine/insulin/game/insulin.html>.
- [94] M. Capruciu, «Educational video games for improving diabetes self-care», Master Thesis, Business and Social Sciences, Aarhus University, Aarhus, Denmark, 2012.
- [95] «Monster Manor», November 2012. [Online]. Available: <https://ayogo.com/blog/monster-manor/>.
- [96] L. Diehl, P. Gordan, R. Esteves and I. Coelho, «Effectiveness of a serious game for medical education on insulin therapy: a pilot study», *Archives of endocrinology and metabolism*, vol. 59(5), pp.470-473, 2015.
- [97] K. Kiili, S. Freitas, S. Arnab and T. Lainema, «The Design Principles for Flow Experience in Educational Games», in 4th *International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, Genoa, Italy, 2012.

- [98] R. Visentin, C. Dalla Man, B. Kovatchev and C. Cobelli, «The University of Virginia/Padova Type 1 Diabetes Simulator Matches the Glucose Traces of a Clinical Trial», *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 16(7), pp. 428-434, 2014.
- [99] C. Dalla Man, R. Rizza and C. Cobelli, «Meal simulation model of the glucose-insulin system», *IEEE Transactions on bio-medical engineering*, vol. 54(10), pp. 1740-1749, 2007.
- [100] M. Schiavon, C. Dalla Man, Y. Kudva, A. Basu and C. Cobelli, «In silico optimization of basal insulin infusion rate during exercise: implication for artificial pancreas», *Journal of diabetes science and technology*, vol. 7(6), pp. 1461-1469, 2013.