



## Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

### Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	<b>(Ελληνικά)</b> <b>Εργαλείο περιήγησης στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος με την χρήση εικονικού περιβάλλοντος.</b> <b>(Αγγλικά)</b> <b>Simulation of the navigation in the interior of the human body with the use of virtual world.</b>
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	<b>Γαλιατσάτος Χρήστος</b>
Πατρώνυμο	<b>Γαλιατσάτος Νικόλαος</b>
Αριθμός Μητρώου	<b>ΜΠΣΠ14014</b>
Επιβλέπων	<b>Παναγιωτόπουλος Θεμιστοκλής, Βαθμίδα</b>

Ημερομηνία Παράδοσης

---

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

Όνομα Επώνυμο  
Βαθμίδα

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	4
<b>1.1. Κίνηση</b> .....	6
<b>1.1.2. Ανάλυση Κυττάρου</b> .....	9
<b>1.1.3. Καταστροφή Κυττάρου</b> .....	10
<b>2. Επισκόπηση συναφούς επιστημονικού έργου</b> .....	10
<b>3. Σχεδιασμός</b> .....	14
<b>4. Υλοποίηση</b> .....	15
<b>5. Μελέτες περίπτωσης, αποτελέσματα, αξιολόγηση</b> .....	38
<b>6. Συμπεράσματα, μελλοντικές κατευθύνσεις</b> .....	<u>41</u> 40
<b>7. Αναφορές</b> .....	41

## 1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της μικρο-ρομποτικής την τελευταία δεκαετία οδήγησε σε ραγδαία ανάπτυξη των μικρο-πληροφοριακών συστημάτων και των έξυπνων αυτοματοποιημένων συστημάτων, με πλήθος εφαρμογών και χρήσεων σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αυτή η εργασία θα επικεντρωθεί στην χρήση των μικρο-ρομποτικών συστημάτων στην ιατρική. Οι ρομποτικές συσκευές στον τομέα της ιατρικής έχουν βρει εφαρμογή εδώ και πολλές δεκαετίες στον τομέα της διάγνωσης και της χειρουργικής, ενώ πρόσφατα άρχισε η ανάπτυξη μικρο-ρομποτικών συσκευών οι οποίες, διατρέχοντας το κυκλοφορικό σύστημα του σώματος, προσπαθούν να επιλύσουν διάφορα προβλήματα υγείας ή απλα να δώσουν μια πιο κοντινή εικόνα κάποιας περιοχής του σώματος. Τέτοιες ρομποτικές συσκευές θα μπορούσαν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν για την καταπολέμηση παθήσεων χωρίς χειρουργική επέμβαση, που σε πολλές περιπτώσεις ενέχει ρίσκο για την υγεία του ασθενούς και με μεγαλύτερη ακόμα αποτελεσματικότητα καθώς θα μπορούν να δρουν στο σημείο που απαιτείται επέμβαση με ακρίβεια μικρο εκατοστού. Επιπλέον, θα μπορούσαν να αποτελέσουν αποτελεσματικές διαγνωστικές συσκευές καθώς το μέγεθος τους θα μπορεί να επιτρέψει την απευθείας αλληλεπίδραση με σωματικά υγρά ή ιστό ή ακόμα και απευθείας με κύτταρα.

Τα επιτεύγματα της ρομποτικής στο κλάδο της μικρο-ρομποτικής αν και πρώιμα σε ερευνητικό επίπεδο είναι τέτοια που μπορούν να αιτιολογήσουν την αναγκαιότητα της εξομοίωσης σεναρίων μικροχειρουργικής μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Πειραματικά έχουν ήδη αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι και έχουν κατασκευαστεί πρωτότυπες μικρο-ρομποτικές συσκευές με μεγάλη επιτυχία οι οποίες μπορούν να βρουν εφαρμογή στην αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές της μικρο-ρομποτικής που αναπτύσσονται στην ιατρική είναι αρκετές και χωρίζονται σε 4 κατηγορίες: την τηλεμετρία (Telemetry), την στοχευμένη θεραπεία (Targeted Therapy), την αφαίρεση υλικού (Material Removal) και την ελεγχόμενη δομή (Controllable Structures). Στην τηλεμετρία υπάγονται η σήμανση ιστού (Marking) και η τεχνητή αίσθηση (Sensing), στην στοχευμένη θεραπεία η διανομή φαρμακευτικών ουσιών (Drug Delivery), η βραχυθεραπεία (Brachytherapy), η υπερθερμία (Hyperthermia) και η έρευνα για βλαστοκύτταρα (Stem Cells). Στην αφαίρεση υλικού υπάγονται η αφαίρεση (Ablation) και η βιοψία και τέλος στην κατηγορία ελεγχόμενη δομή βρίσκονται οι υποκατηγορίες ενδοπροθέσεις (Stents) και έμφραξη (Occlusion).

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει σημαντικά βήματα αναφορικά με τον τρόπο κίνησης τέτοιων ρομποτικών-συσκευών μέσα στον ιστό, όπως θα αναλυθεί πιο διεξοδικά σε ξεχωριστό κεφάλαιο. Συνοπτικά σημειώνεται πως υπάρχουν δυο τρόποι κίνησης: είτε μέσω μαγνητικής επαγωγής που χρησιμοποιείται για μία μόνο συσκευή, είτε μέσω ελεύθερης κίνησης μέσω του κυκλοφορικού συστήματος και της ώθησης που δίνουν οι καρδιακές συσπάσεις στο αίμα. Η δεύτερη περίπτωση έχει όμως μεγάλο βαθμό τυχαιότητας και συνήθως απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό ρομποτικών συσκευών για να αυξηθεί η πιθανότητα επιτυχίας. Βήματα έχουν γίνει επίσης στην λύση του προβλήματος της ενέργειας που θα τροφοδοτεί την συσκευή. Ως προς αυτό έχουν αναπτυχθεί δύο λύσεις, η κατασκευή μιας μικρής πηγής ενέργειας για την μικρο-ρομποτική συσκευή σαν μπαταρία και η κατασκευή ενός κυκλώματος το οποίο θα παράγει ενέργεια μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, όπως λειτουργούν τα παθητικά συστήματα chips RFID.

Από την άλλη πλευρά όμως, υπάρχουν ακόμα σημαντικά ζητήματα που δεν έχουν επιλυθεί. Ένα τέτοιο πρόβλημα το οποίο καλείται να λύσει η επιστήμη, είναι ο εντοπισμός της ρομποτικής συσκευής ή η ρομποτική όραση, μέθοδος που δεν έχει ακόμα επιτευχθεί άλλα θα αποτελούσε σημαντική πρόοδο και θα άνοιγε ένα νέο πεδίο δράσης για την επιστήμη της μικρο-ρομποτικής. Το πιο κρίσιμο όμως πρόβλημα παραμένει ο τρόπος με τον οποίο θα καταφέρει να αλληλεπιδράσει η μικρο-ρομποτική συσκευή με τον ιστό ή σε επόμενο επίπεδο με τα κύτταρα, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους επιστήμονες, πέρα από την θεραπεία, να χειρίζονται τα κύτταρα με τέτοιο τρόπο ώστε, σε πιο μικρή κλίμακα, να αλλάζει μέχρι και ο κώδικας DNA. Η αλληλεπίδραση απαιτεί την κατασκευή κατάλληλων εργαλείων και μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί μόνο για την αλληλεπίδραση με την κυτταρική μεμβράνη για την καταστροφή του κύτταρου, για διάγνωση τυχόν ανωμαλιών μέσω των πρωτεϊνών που βρίσκονται στην μεμβράνη και τέλος την εισχώρηση ουσιών στο κύτταρο μέσω της μεμβράνης.[1]

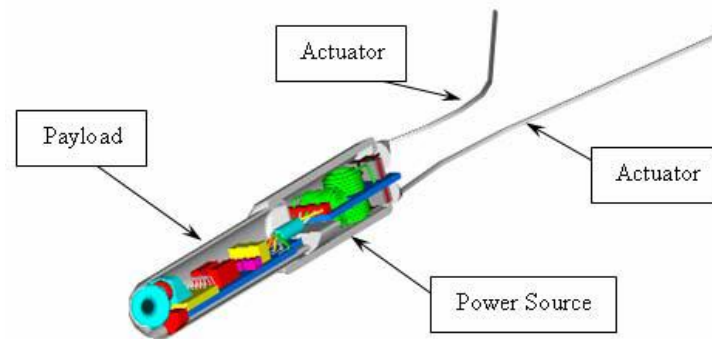
Το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός εικονικού περιβάλλοντος που θα εξομοιώνει την λειτουργία μιας μικρο-ρομποτικής συσκευής στον ανθρώπινο ιστό και συγκεκριμένα εντός του κυκλοφορικού συστήματος. Η εξομοίωση θα περιλαμβάνει σενάρια όπως η καταστροφή συγκεκριμένων κυττάρων ιστού ή η εξέταση και διάγνωση του ιστού για διάφορες παθήσεις. Προκειμένου να υλοποιηθεί το συγκεκριμένο εικονικό περιβάλλον θα πρέπει πρώτα να αναλυθεί η επιστημονική πρόοδος που έχει γίνει στο συγκεκριμένο πεδίο και να διαμορφωθούν τα σενάρια τα οποία θα υλοποιηθούν μέσω αυτής της εργασίας. Θα πρέπει επίσης να αναλυθούν οι διάφορες λειτουργίες της μικρο-ρομποτικής συσκευής καθώς και το υπόλοιπο εικονικό περιβάλλον και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Τέλος θα πρέπει να καθοριστεί ο ρόλος του χρήστη στο συγκεκριμένο εικονικό περιβάλλον και οι δυνατότητες που θα του δοθούν.

Στο εικονικό σενάριο της εργασίας μας ο χρήστης θα κινεί την μικρο-ρομποτική συσκευή μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα ενός ανθρώπινου σώματος, θα αλληλεπιδρά με τα διάφορα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος όπως τα ερυθρά αιμοσφαίρια ή τα κύτταρα των τοιχωμάτων του κυκλοφορικού συστήματος. Τα δυο σενάρια που θα υλοποιηθούν θα είναι πρώτον μέσω αλληλεπίδρασης με τα κύτταρα να διαγνώσει τυχόν γενετικές ανωμαλίες και δεύτερον αν χρειαστεί να προχωρήσει στην καταστροφή τους. Εξ αρχής γίνεται αντιληπτό ότι από τα πρώτα συστατικά αυτού του εικονικού περιβάλλοντος είναι η όραση και πως αυτή θα εξομοιωθεί και πως θα προβληθεί στον χρήστη. Δεύτερο συστατικό είναι η κίνηση της ρομποτικής συσκευής μέσα στο εικονικό περιβάλλον απο τον χρήστη. Τρίτον θα πρέπει να αναλύσουμε πως ακριβώς γίνεται η αλληλεπίδραση της ρομποτικής συσκευής με τα κύτταρα. Τα τρία αυτά συστατικά θα αναλυθούν σε ξεχωριστές ενότητες. Αρχικά θα γίνει μια αναφορά σε έρευνες και επιτεύγματα της επιστήμης, στην συνέχεια θα αναλυθούν οι επιλογές που έγιναν ώστε να υλοποιηθεί το συγκεκριμένο εικονικό περιβάλλον και τέλος θα παρουσιαστούν οι πρωτοβουλίες και υποθέσεις που πάρθηκαν για την αντιμετώπιση προβλημάτων που ακόμα δεν έχουν λυθεί από την επιστήμη και απαιτήθηκε η παράκαμψή τους, είτε με την υιοθέτηση μεθόδων που είναι υπό έρευνα είτε μέσω καταφυγής σε μετά-επιστημονικά σενάρια.

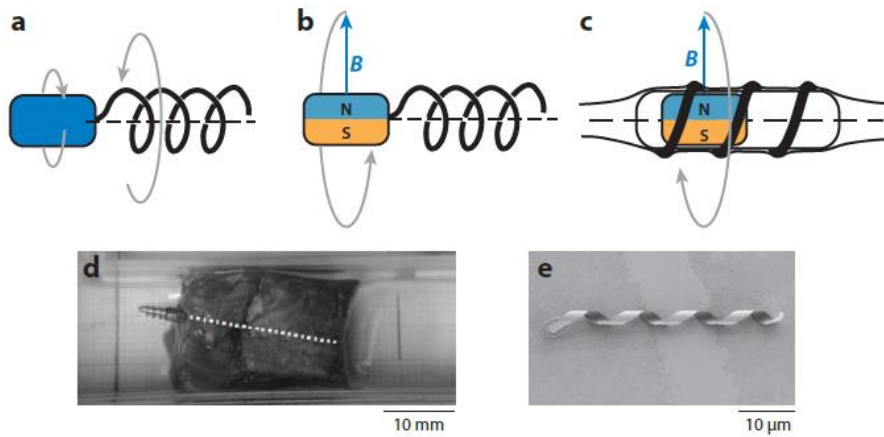
## 1.1. Κίνηση

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να λύσει η επιστήμη της ρομποτικής στην κατασκευή και λειτουργία μικρο-ρομποτικών συσκευών είναι η λειτουργία της κίνησης μιας μικρο-ρομποτικής συσκευής μέσα στον ιστό και μέσα στα σωματικά υγρά όπως το αίμα. Είναι βασικό να αναπτυχθούν τεχνικές και μέθοδοι ώστε η κίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής να επιτρέπει την συνεπή λειτουργία της συσκευής ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, πίεσης ή αντίστασης λόγω αυξημένης ροής των υγρών. Ακόμα θα πρέπει η μέθοδος να επιτρέπει την κίνηση χωρίς να απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και μια αρχιτεκτονική συστήματος που να ανταποκρίνεται στις διαστάσεις που έχουν τεθεί για την συγκεκριμένη συσκευή μικρο-ρομπότ.

Μία από τις πρώτες μεθόδους που εφαρμόστηκαν και δοκιμάστηκαν πειραματικά με επιτυχία είναι η εφαρμογή μια ελαστικής «ουράς» με την μορφή μαστιγίου, της οποίας η κίνηση, σπειροειδής η κυματοειδής, παράγει αρκετή προώθηση ώστε να μετακινήσει μικρο-ρομποτικές συσκευές εντός υγρών με επιτυχία. Έχουν δοκιμαστεί πολλές μέθοδοι και έχει επιτευχθεί η προώθηση συσκευών διαμέτρου 1μm με ταχύτητα 1μm/sec και με δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης με την χρήση της ουράς ή με την χρήση εξωτερικών παραγόντων όπως μαγνητικών πεδίων. Ένα ακόμα προτέρημα της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας για την λειτουργία της συσκευής. Η συγκεκριμένη όμως μέθοδος είναι κατάλληλη για κίνηση μόνο μέσα σε υγρά και με μικρές τιμές εξωτερικών δυνάμεων (Reynolds number) μιας και η προώθηση δεν είναι αρκετή ώστε να κρατήσει την συσκευή σταθερή ή να την κατευθύνει με επιτυχία, όταν η αντίσταση από την κίνηση υγρών είναι μεγάλη. Αυτό σημαίνει πως αυτή η μέθοδος δεν είναι κατάλληλη για το σενάριο που αναλύεται στην παρούσα εργασία, όπου η μικρο-ρομποτική συσκευή θα κινείται μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα και θα αντιμετωπίζει την αντίσταση από την κίνηση του αίματος η οποία μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω των συσπάσεων της καρδιάς. Χρειάζεται δηλαδή η μικρο-ρομποτική συσκευή που εξομοιώνεται στην εργασία, να έχει σχεδόν μηδενική αλλαγή ταχύτητας και φοράς κίνησης ακόμα και αν κινείται κόντρα στην κατεύθυνση του αίματος. Παρακάτω στην εικόνα 1. παρουσιάζεται μια αναπαράσταση ρομποτικής συσκευής που χρησιμοποιεί ουρά για την κίνηση της και στην εικόνα 2. αναπαράσταση της κίνησης μιας τέτοιας συσκευής.[1][9]



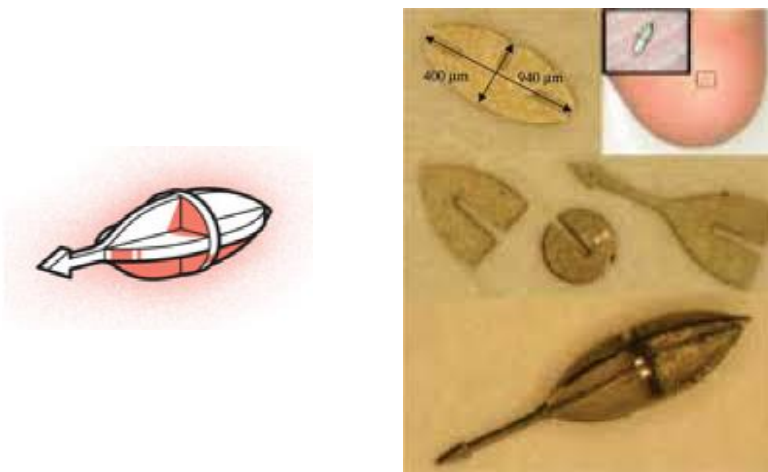
Εικόνα 1. Ρομποτική συσκευή με μαστιγοφόρα ουρά για κίνηση



Εικόνα 2. Αναπαράσταση της κίνησης με χρήση μαγνητικού πεδίου και ουράς σε σχήμα προπέλας.

Μια άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια με ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα είναι η κίνηση με την χρήση μαγνητικών πεδίων, τα οποία δίνουν φορά και ταχύτητα στην μικρο-ρομποτική συσκευή και της επιτρέπουν την κίνηση σε οποιοδήποτε μέρος του ανθρώπινου σώματος, ακόμα και εντός του ιστού, καθώς η δύναμη που ασκείται στην συσκευή για την κίνηση της είναι εξωτερική. Το μαγνητικό πεδίο, που παράγεται από πηγές εκτός του ανθρώπινου

σώματος και συνήθως με την χρήση τομογράφου, είναι συγκεντρωμένο προς την μικρο-ρομποτική συσκευή με ένταση που εξαρτάται από την αντίσταση που συνάντα στην κίνηση της. Δίνει σταθερότητα και ακρίβεια στην κίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής, συνθήκη απαραίτητη για το σενάριο που εξετάζει η εργασία, καθώς θα χρειαστεί ακρίβεια μικρο εκατοστού αφού η μελέτη της αλληλεπίδραση με κύτταρα δεν επιτρέπει σφάλματα στην κίνηση και τοπολογία της συσκευής. Η κίνηση της συσκευής γίνεται από έναν χειριστή ο οποίος πρέπει ασφαλώς να γνωρίζει που βρίσκεται η συσκευή και που ακριβώς πρέπει να κινηθεί, με άλλα λόγια να έχει οπτική επαφή του περιβάλλοντος χώρου της συσκευής. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει η ρομποτική όραση ή ο τομογράφος. Στην εικόνα 3. φαίνονται πειραματικά μοντέλα μικρο-συσκευών που κινούνται μέσω μαγνητικών πεδίων. Στην παρούσα εργασία και για το εικονικό περιβάλλον που θα κατασκευαστεί θα θεωρηθεί πως χρησιμοποιείται η τεχνική του μαγνητικού πεδίου για την κίνηση και την σταθεροποίηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής, ώστε να μην υπάρχει ανεπιθύμητη μετακίνησή της εξαιτίας της κίνησης του αίματος μέσα στα αγγεία στα οποία θα κινείται.



Εικόνα 3. Συσκευή που κατευθύνεται με την χρήση μαγνητικού πεδίου.



### 1.1.1. Διάδραση Μίκρο-ρομπότ Κυττάρου

Η σημαντικότερη λειτουργία μίας μίκρο-ρομποτικής συσκευής, που δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξής τους, είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης της συσκευής με τα κύτταρα του οργανισμού ώστε να εκτελεστούν διάφορες ενέργειες, όπως στην περίπτωση της παρούσας εργασίας η ανάλυση του κυττάρου ή η καταστροφή του. Για να γίνει κατανοητό και να αναλυθεί πως ακριβώς μπορεί μία μίκρο-ρομποτική συσκευή να αλληλεπιδράσει με κύτταρα του οργανισμού πρέπει πρώτα να γίνει αναφορά στην πρόοδο της επιστήμης σε αυτόν τον τομέα. Έχει επιτευχθεί εδώ και αρκετά χρόνια η επέμβαση στα κύτταρα από επιστήμονες με την χρήση κατάλληλα διαμορφωμένων εργαλείων και συσκευών. Έτσι έχει επιτευχθεί η μελέτη των συστατικών τμημάτων των κυττάρων, ακόμα και σε μοριακό επίπεδο, και είναι σε θέση η επιστήμη να γνωρίζει ένα μεγάλο μέρος των λειτουργιών των κυττάρων. Επίσης έχει μελετηθεί η κυτταρική μεμβράνη, δηλαδή το πρώτο μέρος του κυττάρου με το οποίο έρχεται σε επαφή οποιαδήποτε συσκευή, και έχουν αναπτυχθεί τεχνικές που επιτρέπουν την παρακάμψη αυτής και την εισχώρηση στο εσωτερικό του κυττάρου, με στόχο την έκχυση ουσιών χωρίς την καταστροφή της. Το πρόβλημα της επιστήμης μέχρι σήμερα είναι πως αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται μεμονωμένα σε κάποιο κύτταρο σε συνθήκες εργαστηρίου, με την επίβλεψη και καθοδήγηση επιστημόνων και την χρήση μεγάλου αριθμού εργαλείων και δεν μπορεί να εφαρμοστεί μαζικά σε πολλά κύτταρα.

Μία μίκρο-ρομποτική συσκευή, εκμεταλλεόμενη όλες τις τεχνικές που εφαρμόζονται ήδη για την αλληλεπίδραση με τα κύτταρα του σώματος, μπορεί να επιλύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα καθώς θα δρα απευθείας εντός του ανθρώπινου σώματος και θα μπορεί να αλληλεπιδράσει με πολλά κύτταρα διαδοχικά.

### 1.1.2. Ανάλυση Κυττάρου

Μία από τις λειτουργίες της μίκρο-ρομποτικής συσκευής στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των κυττάρων του ανθρώπινου σώματος. Με τον όρο ανάλυση νοείται η διαδικασία διερεύνησης των συστατικών της κυτταρικής μεμβράνης ή του εσωτερικού του κυττάρου για τυχόν ανωμαλίες στην λειτουργία του κυττάρου που μπορεί να σηματοδοτούν καρκινική συμπεριφορά. Η πιο απλή διαδικασία είναι η ανάλυση της μεμβράνης του κυττάρου για την διερεύνηση των πρωτεϊνών που απαρτίζουν την κυτταρική μεμβράνη προς αναζήτηση πρωτεϊνών που δεν προκύπτουν από την φυσιολογική λειτουργία του κυττάρου αλλά μπορεί να προκύπτουν από καρκινογένεση. Το ίδιο θα μπορούσε να γίνει και για το εσωτερικό του κυττάρου. Η δεύτερη και πιο πολύπλοκη διαδικασία είναι η αναγνώση του DNA για την αναζήτηση πιθανών ανωμαλιών και μεταλλάξεων στα γονίδια του κυττάρου, μέσω της σύγκρισης των βάσεων κάθε γονιδίου με τις υγιείς βάσεις των υγιών γονιδίων. Καμιά από τις προαναφερθείσες διαδικασίες δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα με την χρήση ενός μόνο εργαλείου και χωρίς την καταστροφή του κυττάρου.

Οι διαδικασίες που θα πραγματοποιεί η μίκρο-ρομποτική συσκευή για την ανάλυση του κυττάρου θα είναι υποθετικές για τις ανάγκες του σεναρίου της εργασίας. Αυτό σημαίνει ότι η αναπαράσταση της διαδικασίας ανάλυσης δεν θα προβάλεται ρεαλιστικά έτσι όπως θα γινόταν στον πραγματικό κόσμο αλλά θα αναπαρίσταται με κινούμενες γραφικές απεικονίσεις που θα περιγραφούν και θα

προβληθούν στη συνέχεια. Για αυτόν τον λόγο, η εργασία θα επικεντρωθεί στην εξομοίωση του σεναρίου και όχι τόσο στις επιμέρους λειτουργίες.

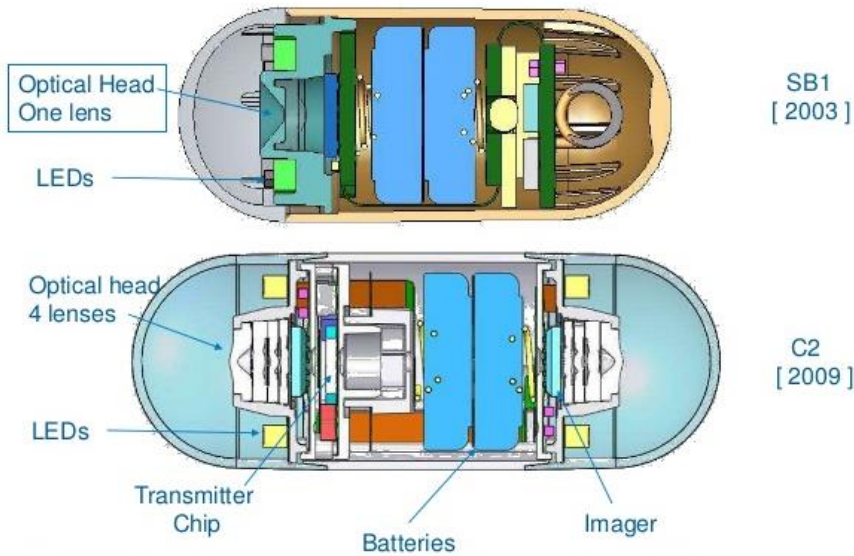
### **1.1.3. Καταστροφή Κυττάρου**

Η καταστροφή ενός κυττάρου μπορεί να κριθεί απαραίτητη αν έχει εξακριβωθεί ανωμαλία στο γενετικό υλικό του κυττάρου ή κάποιου είδους μόλυνση από παρασιτικό οργανισμό ή ιό. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως με την έκχυση φαρμακευτικής ουσίας που θα καταστρέψει όχι μόνο το κύτταρο αλλά και τον παρασιτικό οργανισμό ή ιό, ώστε να μην μολυνθεί άλλο κύτταρο από την απελευθέρωση του παρασίτου ή ιού στο σώμα του ασθενούς. Μία εναλλακτική και απλούστερη μέθοδος είναι η πρόκληση ρήγματος στην κυτταρική μεμβράνη του κυττάρου για την καταστροφή του, που όμως οδηγεί και στην απελευθέρωση των ουσιών του όπως και των πιθανών παρασίτων ή ιών. Στο συγκεκριμένο σενάριο επιλέγεται η καταστροφή του κυττάρου μέσω ρήγματος στην κυτταρική μεμβράνη του.

## **2. Επισκόπηση συναφούς επιστημονικού έργου**

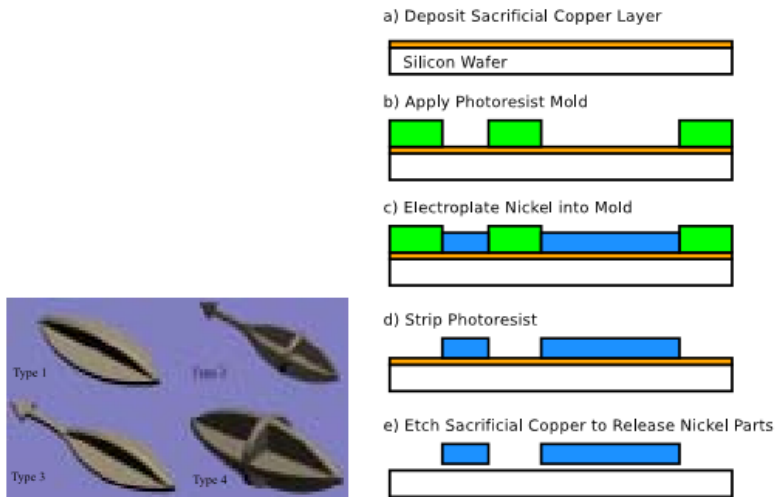
Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στον τομέα της ρομποτικής, με πολλές δημοσιεύσεις επιστημονικών άρθρων να δίνουν ώθηση σε ομάδες επιστημόνων ανά τον κόσμο και πολλά πειράματα να επιτυγχάνουν αποτελέσματα που λίγοι μόνο θα μπορούσαν να φανταστούν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικά από τα πιο πετυχημένα πειράματα και ορισμένες δημοσιεύσεις που θα βοηθήσουν στον σχεδιασμό και την υλοποίηση του εικονικού περιβάλλοντος της εργασίας.

Μία από τις πρώτες πετυχημένες απόπειρες να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία της ρομποτικής στον τομέα της ιατρικής έγινε από την εταιρία Given Imaging με την ρομποτική συσκευή PillCam, η οποία έχει το μέγεθος και το σχήμα μιας κάψουλας φαρμάκου μέσα στην οποία υπάρχει μία κάμερα με LED φωτισμό, ή δύο για κάθε πλευρά της κάψουλας, μία μπαταρία και ο μηχανισμός επεξεργασίας και μετάδοσης εικόνας. Ο ασθενής καταπίνει την κάψουλα σαν να ήταν ένα κανονικό χάπι και στην συνέχεια η κάψουλα καταγράφει εικόνες από την διαδρομή της μέσα από το πεπτικό σύστημα με σκοπό την εύρεση παθολογιών όπως φλεγμονών, παρασίτων ή ακόμα και την διάγνωση καρκίνου. Η συγκεκριμένη συσκευή χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία καθώς δεν απαιτεί επέμβαση για την διάγνωση διαφόρων πεπτικών παθήσεων.[12]



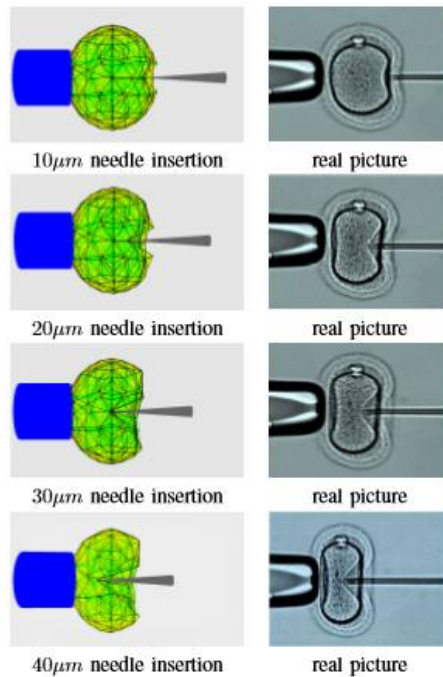
PillCam, συσκευή καταγραφής του πεπτικού συστήματος.

Για τις ανάγκες του εικονικού περιβάλλοντος της εργασίας αυτής, χρειάζεται όμως μία συσκευή με πολύ μικρότερο μέγεθος και συγκεκριμένο τρόπο χειρισμού της κίνησής της. Σε αυτόν τον τομέα έχουν γίνει πειράματα από την ομάδα των K. Berk Yesin, Karl Vollmers, Bradley J. Nelson από το ινστιτούτο ρομποτικής της Ζυρίχης. Το πείραμα τους αποτελείται από μία μικρο-ρομποτική συσκευή που έχει μέγεθος 1 millimeter και είναι φτιαγμένη από νικέλιο και πυρίτιο. Για την κίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής η ομάδα χρησιμοποίησε μαγνητικό πεδίο παραγόμενο από μια MRI τομογραφική συσκευή ώστε να μπορέσει να κατευθύνει την μικρο-ρομποτική συσκευή προς οποιαδήποτε κατεύθυνση χρειαζόταν, καθώς ο τομογράφος, αντίθετα από έναν κοινό μαγνήτη, μπορεί και μεταβάλλει την κατεύθυνση του πεδίου που παράγει και έχει αρκετά δυνατό μαγνητικό πεδίο για να επηρεάσει μια μικρο-ρομποτική συσκευή που απέχει αρκετά εκατοστά από κοντά του. Το πείραμα περιελάμβανε την καθοδήγηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα ενός κουνελιού με σκοπό την εύρεση καρκινικής περιοχής και την χορήγηση φαρμακευτικής ουσίας στην περιοχή.[7][14]



Δείγματα μικρο-ρομποτικών συσκευών και στάδια κατασκευής τους.

Πρόοδος έχει γίνει και αναφορικά με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης με κύτταρα και κυρίως σε μεθόδους διάδρασης και χειραγωγής της κυτταρικής μεμβράνης, εξέλιξη που θα μπορέσει να οδηγήσει και στην χορηγία φαρμακευτικών ουσιών, μέσω συσκευής, στοχευμένα από κύτταρο σε κύτταρο. Οι ομάδες των Hamid Ladjal, Jean-Luc Hanus, Antoine Ferreira από το πανεπιστήμιο του Claude Bernard της Λιόν και Marzieh Asgari, Ali Ghanbari, Saeid Nahavandi από το πανεπιστήμιο του Deakin της Αυστρίας, σχεδίασαν και υλοποίησαν ένα λογισμικό προσομοίωσης και εκπαίδευσης για βιολόγους και γιατρούς ώστε να μπορούν να εισχωρούν στο εσωτερικό ενός κυττάρου διαπερνώντας την κυτταρική μεμβράνη του, αλλά χωρίς να την καταστρέφουν, ώστε το κύτταρο να μπορεί να συνεχίσει την φυσιολογική λειτουργία του μετά από την επέμβαση. Το λογισμικό εξομοιώνει τις συνθήκες που επικρατούν όταν μια σύριγγα μεγέθους μερικών μικρομέτρων διαπερνά ένα κύτταρο και την συμπεριφορά της κυτταρικής μεμβράνης καθ' όλη την διαδικασία. Παράλληλα υπολογίζει διάφορες παραμέτρους μέσω οπτικών αισθητήρων ώστε να δίνεται στον χρήστη η ακριβής πίεση πάνω στο κύτταρο. Τέλος, περιγράφεται η αντιστοιχία για το πόσες ακμές και πόσα πολύγωνα χρειάζεται να σχεδιαστούν και να υπολογιστούν ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες. [4] [8]



*Εξομοίωση και πραγματική διαδικασία εισχώρησης στο εσωτερικό του κυττάρου*

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο πεδίο της εξομοίωσης, έχουν αναδείξει τις πλούσιες δυνατότητες για μάθηση που προσφέρουν αυτά τα εργαλεία. Ανάλογα με τον βαθμό και τον στόχο της εκάστοτε εξομοίωσης είναι δυνατή η εκμάθηση εννοιών και δεξιοτήτων σε τεχνικές που απαιτούν πιο πρακτικά μέσα, που όμως πολλές φορές είναι δύσκολο να βρεθούν για μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Αντίθετα, η εξομοίωση ως εργαλείο μάθησης παρέχεται πιο εύκολα και είναι πιο ευέλικτη ως προς τον στόχο του εκάστοτε πειράματος ή εκπαιδευτικής διαδικασίας.

### 3. Σχεδιασμός

Το σενάριο της εργασίας θα εξομοιώνει μια μικρο-ρομποτική συσκευή μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα και την διάδραση της με διάφορα είδη κυττάρων. Στην συνέχεια παραθέτονται οι διαφορετικές οντότητες του εικονικού περιβάλλοντος και οι προδιαγραφές τους.

- Για την εξομοίωση του κυκλοφορικού συστήματος θα χρησιμοποιηθούν τρισδιάστατα μοντέλα για τις φλέβες μέσα στις οποίες θα κινείται η μικρο-ρομποτική συσκευή καθώς και τρισδιάστατα μοντέλα για τα διάφορα είδη κυττάρων που θα εξομοιώνουν το αίμα και με τα οποία θα μπορεί να αλληλεπιδρά ο χρήστης.
- Θα σχεδιαστούν κύτταρα του αίματος τα οποία θα κινούνται μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα και τα οποία θα υλοποιούν διαφορετικές λειτουργίες, ώστε να έχουμε ένα πιο πλούσιο εικονικό περιβάλλον. Φυσικά θα συμπεριληφθούν και βασικές λειτουργίες όπως η κίνηση των κυττάρων μέσα στις φλέβες.
- Θα θεωρηθεί πως ο χρήστης εξερευνά το εικονικό περιβάλλον με την χρήση μιας μικρο-ρομποτικής συσκευής. Για τον σκοπό αυτό θα χρειαστούν λειτουργίες όπως η αλληλεπίδραση με τα υπόλοιπα αντικείμενα, τα οποία εξομοιώνουν τα κύτταρα του αίματος, καθώς και βασικές λειτουργίες όπως η κίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής. Ο χρήστης θα χειρίζεται την μικρο-ρομποτική συσκευή μέσα στο δίκτυο των φλεβών έχοντας πλήρη ελευθερία κίνησης και χωρίς να επηρεάζεται από την δύναμη ροής του αίματος, εκτός και αν σημειωθεί κρούση με τα κύτταρα στο αίμα. Έτσι, θα θεωρηθεί ότι για την κίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής χρησιμοποιούνται μαγνητικά πεδία, μέσω των οποίων θα δίνεται η φορά και η ταχύτητα της κίνησης.
- Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον πρέπει επίσης να λυθεί και το ζήτημα του φωτισμού του εικονικού περιβάλλοντος. Ως προς αυτό γίνεται να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε είδος φωτισμού, γνωρίζοντας όμως ότι σε πραγματικές συνθήκες δεν θα ήταν εφικτό κάτι τέτοιο. Συνήθως το πρόβλημα αυτό λύνεται με άλλες μεθόδους, όπως ο υπέρηχος που δίνει μια εικόνα του χώρου γύρω από την μικρο-ρομποτική συσκευή. Αυτή η λύση όμως είναι για εικόνα τρίτου προσώπου, ενώ σε αυτό το σενάριο θα χρησιμοποιηθεί προοπτική πρώτου προσώπου.
- Η εξομοίωση θα πρέπει να διέπεται όσον το δυνατόν περισσότερο από τους νόμους που ισχύουν μέσα στο ανθρώπινο σώμα και ειδικότερα μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα. Τα κύτταρα που ταξιδεύουν μέσα στο κυκλοφορικό σύστημα συχνά έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, ή πιο συγκεκριμένα συγκρούονται ως αποτέλεσμα των δυνάμεων που δέχονται από την πίεση που δημιουργεί η καρδιά. Θα πρέπει η εξομοίωση λοιπόν να περιλαμβάνει δυνάμεις που ωθούν τα μοντέλα των κυττάρων του αίματος σε κίνηση και αυτά με την σειρά τους, όταν έρχονται σε επαφή, να συμπεριφέρονται αντίστοιχα αλλάζοντας φορά κίνησης και περιστροφής. Η δύναμη που δέχονται τα κύτταρα του αίματος από την καρδιά, ως αποτέλεσμα των συσπάσεων, δεν είναι σταθερή αλλά ρυθμική και όχι πάντα προς την ίδια κατεύθυνση. Οι συσπάσεις προκαλούν διαστολή και συστολή των φλεβών και έτσι τα τοιχώματα δεν θα πρέπει να είναι σταθερά άλλα να παραμορφώνονται, ώστε να δίνουν την αίσθηση των συσπάσεων και των δυνάμεων που δημιουργούν. Κύτταρα τα οποία είναι προσκολλημένα στα τοιχώματα των φλεβών, όπως τα κύτταρα του λίπους, θα πρέπει και

αυτά να κινούνται με την ίδια φάση με την παραμόρφωση των τοιχωμάτων των φλεβών ώστε και αυτά με την σειρά τους να δείχνουν όσο πιο πιστά μπορούν τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος.

Τα εργαλεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό του εικονικού περιβάλλοντος και των αντικειμένων του είναι τα ακόλουθα:

- ▶ Unity 5.0.2f1: Περιβάλλον ανάπτυξης εικονικών κόσμων.
- ▶ Blender: Εργαλείο σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων.
- ▶ Photoshop: Εργαλείο σχεδίασης δισδιάστατων υφών.
- ▶ CrazyBump: Εργαλείο εξαγωγής αρχείων υφών για χρήση Normal Map - Dump Map τεχνικών.

## 4. Υλοποίηση

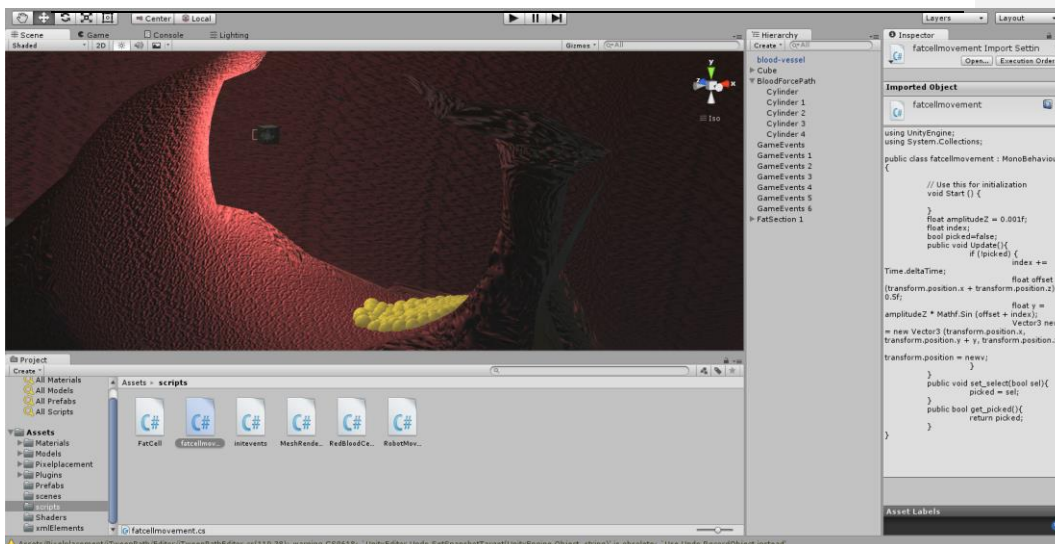
### 4.1. Εισαγωγή

Για την υλοποίηση του εικονικού περιβάλλοντος επιλέχθηκε η μηχανή παιχνιδιών Unity. Η βιομηχανία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών είναι εδώ και χρόνια πρωτοπόρος στην ανάπτυξη τεχνολογιών εικονικού περιβάλλοντος και εξομοιώσεων καθώς κάθε ηλεκτρονικό παιχνίδι είναι ένα εικονικό περιβάλλον με τους δικούς του νόμους, που υλοποιούνται άλλοτε ρεαλιστικά ως προς τον πραγματικό κόσμο και άλλοτε όχι. Έτσι, δεν είναι περίεργο να επιλεγεί μία τέτοια μηχανή παιχνιδιών για την ανάπτυξη εικονικού περιβάλλοντος για εκπαιδευτικούς σκοπούς, μιας και το σύνολο των απαιτήσεων της εργασίας που έχουν περιγραφεί έχουν ήδη επιλυθεί και παρέχεται ποικιλία λύσεων και προσεγγίσεων σε κάθε μηχανή παιχνιδιών που διατίθεται δωρεάν η επί πληρωμή.

Η μηχανή παιχνιδιών Unity διατίθεται δωρεάν και παρέχει πληθώρα έτοιμων λύσεων ως προς την παραγωγή γραφικών και την εξομίωση φυσικών νόμων για τα μοντέλα και τον φωτισμό του εικονικού περιβάλλοντος. Επίσης παρέχει ένα αρκετά προσιτό και ευέλικτο περιβάλλον ανάπτυξης με πολλές δυνατότητες, όπως η επιλογή διαφόρων γλωσσών προγραμματισμού, η επισκόπηση του περιβάλλοντος από διαφορετικές γωνίες θέασης και η λειτουργία του εικονικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Ταυτόχρονα μπορεί να υποστηρίξει πληθώρα αρχείων που χρησιμοποιούνται για τα μοντέλα, τον ήχο ή την παραγωγή γραφικών του εικονικού περιβάλλοντος, ενώ επιτρέπει και την έξοδο εκτελέσιμων εφαρμογών σε πολλές πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι το Unity δίνει την δυνατότητα εξαγωγής του εικονικού περιβάλλοντος ή των εργαλείων διαδραστικής μαθήσης που αναπτύχθηκαν σε οποιοδήποτε άλλο λειτουργικό ζητηθεί, χωρίς επιπρόσθετη ανάπτυξη ή τροποποίηση. Αυτή η δυνατότητα διευκολύνει ιδιαίτερα την συντήρηση του λογισμικού και την περαιτέρω προσθήκη λειτουργιών, εξοικονομώντας έτσι πολύτιμο χρόνο αφού δεν απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Ένα από τα μεγαλύτερα προτερήματα του Unity είναι το περιβάλλον ανάπτυξης όπως φαίνεται στην εικόνα 4, το οποίο δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου αριθμού μοντέλων

στην σκηνή (scene), τα οποία σχεδιάζονται βάσει ιεραρχίας με την οποία κληρονομούνται ιδιότητες του μοντέλου «πατέρας», όπως για παράδειγμα η τοποθεσία, η ταχύτητα και η περιστροφή του, στα «παιδιά» του. Επίσης, παρέχει προεπισκόπηση της σκηνής σε πραγματικό χρόνο, ώστε ο χρήστης να γνωρίζει πως θα είναι φωτισμένη η σκηνή και πως θα είναι τοποθετημένα τα μοντέλα του, χωρίς να χρειάζεται η εκκίνηση του προγράμματος του εικονικού περιβάλλοντος, πράγμα που γίνεται μέσα από το περιβάλλον ανάπτυξης του Unity. Η προεπισκόπηση σκηνής είναι πλήρως λειτουργική, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να αλλάξει εύκολα την γωνία θέασης ή ακόμα και να μετακινεί και να επεξεργάζεται τις βασικές ιδιότητες των μοντέλων του, όπως το μέγεθος της περιστροφής και η τοποθεσία, με την χρήση του ποντικιού. Τα μοντέλα τοποθετούνται στην σκηνή και το Unity τα διαχειρίζεται ως αντικείμενα με διαφορετικές ιδιότητες, πολλές από τις οποίες μπορεί να προσθέσει, να αφαιρέσει ή απλά να διαχειριστεί ο χρήστης. Επιπλέον, το Unity παρέχει την δυνατότητα επεξεργασίας σε πιο προχωρημένους χρήστες, μέσω της χρήσης διάφορων γλωσσών προγραμματισμού, με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να διαχειρίζεται τις ιδιότητες των αντικείμενων, πετυχαίνοντας μία πιο σύνθετη συμπεριφορά τους μέσα στην σκηνή. Οι γλώσσες προγραμματισμού που υποστηρίζει το Unity είναι η javascript και η C#. Όπως προαναφέρθηκε, το Unity διαχειρίζεται τα μοντέλα ως αντικείμενα όπως γίνεται και στις γλώσσες προγραμματισμού. Με αυτές τις γλώσσες προγραμματισμού είναι δυνατή η γραφή classes μέσα σε αρχεία Scripts που στη συνέχεια μπορούν να εφαρμοστούν στα αντικείμενα της σκηνής ώστε να τροποποιείται η συμπεριφορά τους.



Εικόνα 4. Περιβάλλον ανάπτυξης Unity



Όπως είναι φυσικό το περιβάλλον ανάπτυξης του Unity παρέχει μόνο τα βασικά εργαλεία που χρειάζεται ο χειριστής για να καθορίσει την συμπεριφορά και τις ιδιότητες των μοντέλων της σκηνής. Για πιο πολύπλοκα συστήματα συμπεριφορών πρέπει, όπως ήδη αναφέρθηκε, να χρησιμοποιηθεί η δυνατότητα των scripts με τα οποία είναι δυνατή η δημιουργία αλγορίθμων που μεταλλάσσουν τις ιδιότητες των μοντέλων της σκηνής καθώς εκτελούνται σε καθορισμένα βήματα της διαδικασίας του σχεδιασμού της, όπως στην δημιουργία του αντικειμένου, σε κάθε ανανέωση (update) της σκηνής, σε κάθε ανίχνευση συγκρούσης του αντικειμένου με άλλο αντικείμενο (OnCollisionEnter) και σε κάθε επικάλυψη του αντικειμένου από κάποιο άλλο (OnCollisionStay). Με αυτές τις δυνατότητες είναι δυνατή η αλλαγή των αντικειμένων σε οποιοδήποτε βήμα της δημιουργίας και ανανέωσης της σκηνής με τα εργαλεία που παρέχει το Unity, χωρίς την ανάγκη δημιουργίας πιο πολύπλοκων αλγορίθμων, και με την μεγαλύτερη δυνατή βελτιστοποίηση που είναι και το πιο σημαντικό αφού η εξομοίωση πολλών αντικειμένων μπορεί να είναι πολύ απαιτητική σε πόρους.

Για την υλοποίηση των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στο εικονικό περιβάλλον της εργασίας, είναι δυνατή η χρήση οποιοδήποτε προγράμματος παραγωγής 3D γραφικών και μοντέλων, καθώς το Unity έχει την δυνατότητα χρήσης των περισσότερων αρχείων μοντέλων που εξάγονται από τα πιο γνωστά προγράμματα μέχρι σήμερα. Τα μοντέλα του εικονικού περιβάλλοντος της εργασίας φτιαχτήκαν με το Blender open source 3D creation suite, μια δωρεάν και πλήρη λύση αλλά με μεγάλο χρόνο εκμάθησης.

#### **4.2. Υλοποίηση παραδοχών**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την κατασκευή του εικονικού περιβάλλοντος πρέπει να γίνουν κάποιες παραδοχές, καθώς πρόκειται για ένα σενάριο το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα πειραματικά και έτσι απουσιάζει η γνώση της ακριβούς λειτουργίας ορισμένων υποσυστημάτων της μικρο-ρομποτικής συσκευής, όπως είναι τα υποσυστήματα που υλοποιούν λειτουργίες όπως η δυνατότητα θέασης του οπτικού πεδίου της μικρο-ρομποτικής συσκευής, η ανάλυση των κυττάρων και η καταστροφή τους και τέλος η μετακίνηση της μικρο-ρομποτικής συσκευής.

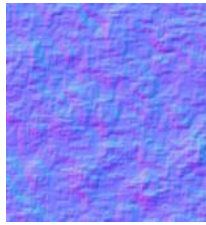
Αρχικά, για την κατασκευή του εικονικού περιβάλλοντος πρέπει να σχεδιαστεί το περιβάλλον στο οποίο θα κινείται η μικρο-ρομποτική συσκευή, δηλαδή το δίκτυο των φλεβών. Για την υλοποίηση αυτού του δικτύου φλεβών θα σχεδιαστεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο από 'Bazier Curves', δηλαδή από καμπύλες με κυλινδρικό σχήμα, οι οποίες θα ενώνονται σε διάφορα σημεία σχηματίζοντας κόμβους ενός δικτύου φλεβών. Επίσης θα ενεργοποιηθεί η σχεδίαση (Rendering) του μοντέλου των φλεβών μόνο από την μια πλευρά κάθε επιφάνειας (face) και πιο συγκεκριμένα της εσωτερικής, αυτής της πλευράς δηλαδή που είναι ορατή από τον χρήστη, ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία σχεδίασης αγνοώντας την εξωτερική πλευρά. Αυτή είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά καθώς πολλές από τις πλευρές των μοντέλων που χρησιμοποιούνται σε εικονικά περιβάλλοντα δεν είναι ποτέ ορατές, οπότε και επιλέγεται για την εξοικονόμηση πόρων εφόσον, όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία σχεδίασης (Rendering) σκηνής είναι μια ιδιαίτερα δαπανηρή σε πόρους διαδικασία που απαιτεί βελτιστοποίηση στους αλγορίθμους που σχεδιάζονται για να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλή.

Φυσικά, εκτός από την γεωμετρία του μοντέλου, θα πρέπει να σχεδιαστεί και το «υλικό» (material) του, δηλαδή η ύψη και ο χρωματισμός. Για τον σκοπό αυτό, σχεδιάστηκε σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα ένα απλό μοτίβο με χρωματισμούς του κόκκινου, μιας και γίνεται αναφορά σε φλέβες, και στην συνέχεια εξήχθησαν από αυτό το μοτίβο δυο επιπλέον μοτίβα: ένα για το σύνολο κανονικοτήτων (normal map) και ένα για το σύνολο ανωμαλιών υψής (bump map). Οι τρεις

εικόνες που δημιουργήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για το υλικό (material) του μοντέλου μέσω του unity. Αυτές οι τρεις υφές συνδυάζονται για να δώσουν την ψευδαίσθηση των ανωμαλιών πάνω στα τοιχώματα των φλεβών με την χρήση του φωτισμού και της αντανάκλασής του πάνω στις επιφάνειες των φλεβών, δίνοντας την εικόνα σκιάσεων μέσω των ανωμαλιών που υπολογίζονται από τις εικόνες normal map και bump map.



Υφή μοντέλου φλεβών



Normal Map



Bump Map

Τέλος για να είναι πιο ρεαλιστική η παρουσίαση του μοντέλου των φλεβών σχεδιάστηκε ένα πρόγραμμα “shader”, το οποίο εκτελείται στην κάρτα γραφικών και το οποίο είναι υπεύθυνο για τον τελικό χρωματισμό pixels και για την τελική τοποθεσία κάθε κορυφής (Vertex) του μοντέλου που σχεδιάζεται στην κάρτα γραφικών (GPU). Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε ένα shader που δίνει κυματοειδή κίνηση ως προς τον χρόνο και την τοποθεσία στην κάθε κορυφή του μοντέλου των φλεβών, ώστε να δίνεται η εντύπωση στον χρήστη ότι βρίσκεται μέσα σε ένα ζωντανό οργανισμό και που μπορεί να απεικονίσει τις παραμορφώσεις στα τοιχώματα των φλεβών που προκαλεί η πίεση από τις συσπάσεις της καρδιάς. Ο shader μας είναι ο ακόλουθος:

```

SubShader {
    Tags { "RenderType"="Opaque" }
    LOD 200
    CGPROGRAM
        // Physically based Standard lighting model, and enable shadows on all light types
        #pragma surface surf Standard fullforwardshadows vertex:vert
        // Use shader model 3.0 target, to get nicer looking lighting
        #pragma target 3.0
    sampler2D _MainTex;
    sampler2D _BumpMap;
    struct Input {
        float2 uv_MainTex;
        float2 uv_BumpMap;
        float3 worldNormal;
    };
    half _Glossiness;
    half _Metallic;
    fixed4 _Color;
    void vert(inout appdata_full v){
        float phase = _Time.y * 1.0;
        float4 wpos = mul( _Object2World, v.vertex);
        float offset = (wpos.x + (wpos.z * 0.2)) * 0.5;
        v.vertex.y += sin(phase + offset) * 0.1;
    }

    void surf (Input IN, inout SurfaceOutputStandard o) {
        // Albedo comes from a texture tinted by color
        fixed4 c = tex2D( _MainTex, IN.uv_MainTex) * _Color;
        o.Albedo = c.rgb;
        // Metallic and smoothness come from slider variables
        o.Metallic = _Metallic;
        o.Smoothness = _Glossiness;

        o.Alpha = c.a;
        o.Normal = UnpackNormal( tex2D( _BumpMap, IN.uv_BumpMap ) );
    }
    ENDCG
}

```

Από το παραπάνω πρόγραμμα shader φαίνονται οι συναρτήσεις `vert` που εκτελείται για κάθε κορυφή του μοντέλου και διαχειρίζεται την τοποθεσία της συγκεκριμένης κορυφής. Παρατηρώντας τον αλγόριθμο γίνεται αντιληπτό ότι επηρεάζεται ο άξονας `Y` με κυματοειδή απόκλιση ως προς τον χρόνο και τις τιμές των αξόνων `X` και `Z` της συγκεκριμένης κορυφής. Η συνάρτηση `surf` διαχειρίζεται τον χρωματισμό καθενός `pixel` του μοντέλου λαμβάνοντας υπόψιν τις παραμέτρους όπως η μεταλλικότητα και η ομαλότητα του χρώματος, οι οποίες έχουν δοθεί από το σχεδιαστικό περιβάλλον του `unity`, καθώς και την απόχρωση που υπολογίζεται από την μίξη του `normal` και του `bump map`. Τέλος, έχει προστεθεί στις ιδιότητες του μοντέλου των φλεβών η ιδιότητα `"Mesh Collider"` που του δίνει την δυνατότητα να εξομοιώνει κρούσεις με άλλα αντικείμενα που έχουν επίσης αντίστοιχη ιδιότητα. Το αποτέλεσμα είναι ένα δίκτυο φλεβών που προσομοιώνει ένα πραγματικό περιβάλλον από κάθε άποψη και δίνει στον χρήστη μια πιο ζωντανή εικόνα για το πως φαίνεται το εσωτερικό του ανθρωπίνου σώματος εντός του κυκλοφορικού συστήματός του.

Το επόμενο στάδιο είναι η εξομοίωση της κίνησης της μικρο-ρομποτικής συσκευής, για την οποία επιλέχθηκε η τεχνική του μαγνητικού πεδίου καθώς διευκολύνει αρκετά την διαδικασία της κίνησης και δίνει σταθερότητα στην μικρο-ρομποτική συσκευή έναντι των δυνάμεων που αναπτύσσονται από τις κρούσεις των κυττάρων του αίματος με αυτήν. Ως αποτέλεσμα ο χρήστης θα έχει ελευθερία κίνησης και όρασης προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Αυτή η τεχνική ονομάζεται `"Free-look"` και υλοποιήθηκε μέσω `script` στο `Unity` για το σύνολο των μοντέλων και των αντικειμένων που απαρτίζουν την μικρο-ρομποτική συσκευή που χειρίζεται ο χρήστης. Πιο συγκεκριμένα το κομμάτι του κώδικα στο `script` που ελέγχει αυτή την λειτουργία είναι το ακόλουθο:

```
if (Input.GetKey ("space")) {
    // Ensure the cursor is always locked when set
    Screen.lockCursor = lockCursor;
    // Allow the script to clamp based on a desired target value.
    var targetOrientation = Quaternion.Euler (targetDirection);
    // Get raw mouse input for a cleaner reading on more sensitive mice.
    var mouseDelta = new Vector2 (Input.GetAxisRaw ("Mouse X"), Input.GetAxisRaw ("Mouse Y"));

    // Scale input against the sensitivity setting and multiply that against the smoothing value.
    mouseDelta = Vector2.Scale (mouseDelta, new Vector2 (sensitivity.x * smoothing.x, sensitivity.y * smoothing.y));

    // Interpolate mouse movement over time to apply smoothing delta.
    _smoothMouse.x = Mathf.Lerp (_smoothMouse.x, mouseDelta.x, 1f / smoothing.x);
    _smoothMouse.y = Mathf.Lerp (_smoothMouse.y, mouseDelta.y, 1f / smoothing.y);

    // Find the absolute mouse movement value from point zero.
    _mouseAbsolute += _smoothMouse;
}
```

```

// Clamp and apply the local x value first, so as not to be affected by world transforms.
if (clampInDegrees.x < 360)
    _mouseAbsolute.x = Mathf.Clamp(_mouseAbsolute.x, -clampInDegrees.x*0.5f, clampInDegrees.x*0.5f);

var xRotation = Quaternion.AngleAxis (-_mouseAbsolute.y, targetOrientation * Vector3.right);
transform.localRotation = xRotation;
// Then clamp and apply the global y value.
if (clampInDegrees.y < 360)
    _mouseAbsolute.y = Mathf.Clamp(_mouseAbsolute.y, -clampInDegrees.y * 0.5f, clampInDegrees.y * 0.5f);
transform.localRotation *= targetOrientation;

var yRotation = Quaternion.AngleAxis (_mouseAbsolute.x, transform.InverseTransformDirection (Vector3.up));
transform.localRotation *= yRotation;
}
if (Input.GetAxis("Vertical") != 0){
    rigidbody.velocity += transform.forward * 5.5f*Input.GetAxis("Vertical");
}
if (Input.GetAxis("Horizontal") != 0){
    rigidbody.velocity += transform.right * 5.5f*Input.GetAxis("Horizontal");
}
}

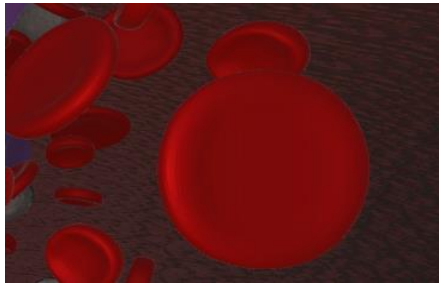
```

Ο παραπάνω κώδικας χωρίζεται σε δυο μέρη. Το πρώτο αφορά την ανίχνευση της κίνησης του ποντικιού μετά το πάτημα του πλήκτρου “space”, καθώς χρειάζεται ο χρήστης να μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα κύτταρα του αίματος χωρίς να εμποδίζεται από την διαρκή αλλαγής της φοράς της συσκευής, που έχει ως αποτέλεσμα την διαρκή μετακίνηση της κάμερας στην σκηνή. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, η φορά της μικρο-ρομποτικής συσκευής θα αλλάζει μόνο όταν ο χρήστης πατά το πλήκτρο “space”. Το δεύτερο μέρος του script αφορά την αλλαγή της κατεύθυνσης της κίνησης της συσκευής ως αποτέλεσμα πατήματος των πλήκτρων κατεύθυνσης από τον χρήστη. Αυτή η αλλαγή αφορά τις τέσσερις κατευθύνσεις μπροστά, πίσω, αριστερά, δεξιά, τις οποίες επιλέγει ο χρήστης μέσω των αντίστοιχων πλήκτρων.

Η μικρο-ρομποτική συσκευή αποτελείται από ένα σύνολο αντικειμένων που παρέχει το Unity. Αρχικά υπάρχει ένας κύβος, ο οποίος έχει μέγεθος και μάζα που υλοποιείται με την ιδιότητα “Rigid body”, ώστε να εξομοιώνει τις κρούσεις μεταξύ των μοντέλων των κύτταρων του αίματος και της μικρο-ρομποτικής συσκευής. Στην συνέχεια υπάρχει ένα αντικείμενο για την φωτεινότητα της σκηνής, το οποίο είναι χαμηλότερα στην ιεραρχία από τον κύβο και έτσι κληρονομεί ιδιότητες όπως η τοποθεσία και η περιστροφή από αυτόν, έχοντας παράλληλα και τοπικές μεταβλητές για αυτές τις ιδιότητες. Έτσι, όταν μετακινείται ο κύβος από τα scripts, μετακινούνται μαζί του και όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται χαμηλότερα στην ιεραρχία από αυτόν. Το επόμενο αντικείμενο που βρίσκεται χαμηλότερα στην ιεραρχία από τον κύβο είναι η κάμερα, η οποία αποτυπώνει την εικόνα που βλέπει η ρομποτική συσκευή δίνοντας στον χρήστη μια προοπτική για το τι βρίσκεται μπροστά από την συσκευή. Πρέπει να τονιστεί ότι το μπροστινό μέρος της μικρο-ρομποτικής συσκευής από το οποίο «κοιτάζει» η κάμερα είναι στην πραγματικότητα ο άξονας Z με σημείο αναφοράς το κέντρο της μικρο-ρομποτικής συσκευής. Όπως με το αντικείμενο της φωτεινότητας, έτσι και στην

περίπτωση της κάμερας, κληρονομούνται οι βασικές ιδιότητες του κύβου και η κάμερα μετακινείται κάθε φορά που μετακινείται ο κύβος από το script, αφού τον έχει σαν σημείο αναφοράς. Το τελευταίο αντικείμενο χαμηλότερα της ιεραρχίας του κύβου είναι ο καμβάς (Canvas) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διεπαφή (User Interface) με τον χρήστη, καθώς περιέχει και αποτυπώνει στην οθόνη όλες τις πληροφορίες που ανακαλύπτει ο χρήστης για τα κύτταρα τα οποία επεξεργάζεται. Τέλος, στον κύβο έχει προστεθεί η ιδιότητα "Box Collider" ώστε να συμμετέχει στην εξομίωση κρούσεων του Unity, με άλλα μοντέλα όπως το μοντέλο των φλεβών που αναλύθηκε παραπάνω.

Όσον αφορά στα κύτταρα του αίματος, υλοποιήθηκαν 3 διαφορετικά είδη κυττάρων. Για αυτά τα κύτταρα υλοποιήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο τους καθώς και η συμπεριφορά τους μέσα στο δίκτυο των φλεβών.



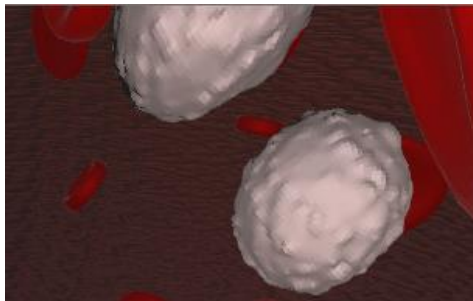
Ερυθρά αιμοσφαίρια

Το πρώτο είδος κυττάρων που υλοποιήθηκε είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου όλων των κυττάρων του αίματος, όπως ακριβώς ισχύει στην πραγματικότητα. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποτελούνται αρχικά από το τρισδιάστατο μοντέλο τους, το οποίο είναι όμοιο σε μορφή με πραγματικό ερυθρό αιμοσφαίριο. Όπως είναι γνωστό, στον πραγματικό κόσμο κάθε κύτταρο διαφέρει σε μορφή ακόμα και από τα υπόλοιπα κύτταρα του είδους του. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί το κύτταρο βρίσκεται σε διαφορετικό κύκλο ηλικίας από τα υπόλοιπα, είτε επειδή επιδρούν άλλοι παράγοντες όπως μεταλλάξεις ή απλοί τυχαίοι παράγοντες που επέδρασαν κατά την ανάπτυξη του. Αν και τα ερυθρά αιμοσφαίρια όταν βρίσκονται στο κυκλοφορικό σύστημα έχουν πάψει να αναπτύσσονται, αυτό δεν σημαίνει ότι η περίοδος ανάπτυξης τους ήταν ίδια για όλα. Έτσι, για την εξομίωση αυτής της ιδιαιτερότητας, κάθε ερυθρό αιμοσφαίριο δημιουργήθηκε δίνοντας τυχαίες παραμέτρους για μήκος, ύψος και πλάτος, με το μήκος και το πλάτος κάθε αιμοσφαιρίου να είναι ίσα ώστε να μην χάνεται το σχεδόν κυκλικό σχήμα τους.

Συνοψίζοντας, το τελικό αποτέλεσμα είναι τα μοντέλα των ερυθρών αιμοσφαιρίων να διαφέρουν μεταξύ τους τόσο, ώστε να δίνουν στον χρήστη την εντύπωση ενός πιο ζωντανού οργανισμού, έτσι ακριβώς όπως βιώνει και την φύση όπου κάθε αντικείμενο διαφέρει έστω και σε μικρό βαθμό από τα υπόλοιπα. Τέλος, έχει προστεθεί στην ιεραρχία των αντικειμένων του Unity ένα αντικείμενο σφαίρα, το οποίο δεν έχει διαστάσεις άλλα χρησιμοποιείται για την ιδιότητα του να

συμμετέχει στον υπολογισμό κρούσεων με τα υπόλοιπα αντικείμενα. Η ιδιότητα αυτή τροποποιήθηκε με την προσθήκη δικού μας script με λειτουργίες που εκτελούνται σε κάθε ανίχνευση κρούσης του συγκεκριμένου αντικειμένου με κάποιο από τα υπόλοιπα, αντί των λειτουργιών που παρέχει το Unity από μόνο του. Αυτό έγινε ώστε να δοθεί στο κύτταρο του αίματος η κίνηση μέσα στο δίκτυο των φλεβών όπως θα αναλύθει πιο κάτω.

Ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με όλα τα κύτταρα του αίματος. Στο σενάριο της εργασίας όμως υπάρχουν και υγιή και μεταλλαγμένα ερυθρά αιμοσφαίρια. Ο χρήστης πατώντας το αριστερό click και βρισκόμενος σε κοντινή απόσταση από το ερυθρό αιμοσφαίριο μπορεί να διαβάσει πληροφορίες για το συγκεκριμένο κύτταρο μέσω του UI (User Interface) που εμφανίζεται στην δεξιά πλευρά της οθόνης. Οι πληροφορίες για το κύτταρο, με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης, προέρχονται από αρχεία τύπου xml όπου έχουν αποθηκευτεί πληροφορίες όπως το όνομα του κυττάρου και μια περιγραφή. Αυτό δίνει μεγαλύτερη ευελιξία στο εικονικό περιβάλλον, καθώς επιτρέπει την αλλαγή του περιεχομένου του εικονικού περιβάλλοντος χωρίς πρόσθετες αλλαγές στον κώδικα. Στην περίπτωση που το ερυθρό αιμοσφαίριο με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης είναι μεταλλαγμένο, εμφανίζεται κατάλληλη σήμανση στο UI ώστε να πάρει απόφαση για την καταστροφή του. Επιπροσθέτως, για ευκολία της προσομοίωσης, έγινε αλλαγή στο χρώμα των μεταλλαγμένων ερυθρών αιμοσφαιρίων ώστε να αναγνωρίζονται από μακρύτερα. Εναλλακτικά θα μπορούσε να τους δοθεί διαφορετική μορφή, ώστε να παραπέμπει περισσότερο σε μεταλλαγμένο κύτταρο.



Λευκά αιμοσφαίρια

Τα επόμενα κύτταρα του αίματος που υλοποιήθηκαν είναι τα λευκά αιμοσφαίρια. Τα λευκά αιμοσφαίρια είναι υπεύθυνα για την άμυνα του οργανισμού. Έχουν ακανόνιστο σχήμα και κινούνται μέσω του κυκλοφορικού συστήματος ψάχνοντας συνεχώς για απειλές προς τον οργανισμό, ή για τυχόν μεταλλαγμένα κύτταρα, τα οποία καταστρέφουν αφού πρώτα τα απορροφήσουν. Για να επιτευχθεί το ακανόνιστο σχήμα τους, το οποίο συνεχώς μεταβάλεται ώστε να τους επιτρέψει να μετακινούνται έξω του κυκλοφορικού συστήματος για να ψάχνουν για απειλές, χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα Shader παρόμοιο με αυτό που υλοποιήθηκε για την κίνηση του μοντέλου του κυκλοφορικού συστήματος, ώστε να δώσει η ακανόνιστη μορφή στο μοντέλο του λευκού αιμοσφαιρίου. Τα λευκά αιμοσφαίρια χρησιμοποιούν ακριβώς τον ίδιο μηχανισμό για ανίχνευση κρούσεων και κίνησης με τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Στην συνέχεια παρατίθεται ο κώδικας του προγράμματος shader που υλοποιεί το ακανόνιστο σχήμα του λευκού αιμοσφαιρίου:

```

SubShader {
    Tags { "RenderType"="Opaque" }
    LOD 200
    CGPROGRAM
        // Physically based Standard lighting model, and enable shadows on all light types
        #pragma surface surf Standard fullforwardshadows vertex:vert
        // Use shader model 3.0 target, to get nicer looking lighting
        #pragma target 3.0
    sampler2D _MainTex;
    sampler2D _BumpMap;
    struct Input {
        float2 uv_MainTex;
        float2 uv_BumpMap;
        float3 worldNormal;
    };

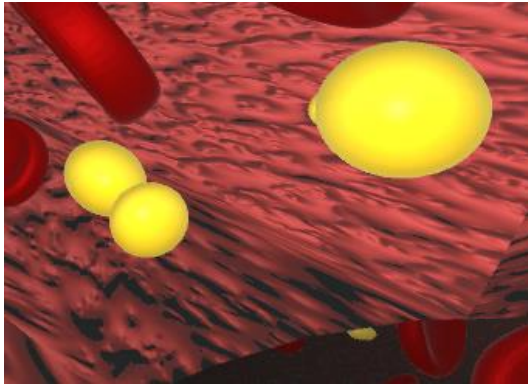
    half _Glossiness;
    half _Metallic;
    fixed4 _Color;
    void vert(inout appdata_full v){
        float phase = _Time.y * 1;
        float4 wpos = mul( _Object2World, v.vertex);
        float offset = (wpos.x + (wpos.z * 0.5)) * 1.5;
        v.vertex.y += sin(phase + offset) * 0.3;
    }
    void surf (Input IN, inout SurfaceOutputStandard o) {
        // Albedo comes from a texture tinted by color
        fixed4 c = tex2D ( _MainTex, IN.uv_MainTex) * _Color;
        o.Albedo = c.rgb;
        // Metallic and smoothness come from slider variables
        o.Metallic = _Metallic;
        o.Smoothness = _Glossiness;

        o.Alpha = c.a;
        o.Normal = UnpackNormal( tex2D( _BumpMap, IN.uv_BumpMap ) );
    }
    ENDCG
}

```



Όπως φαίνεται η διαφοροποίηση του παραπάνω shader με τον shader που υλοποιεί την κίνηση των φλεβών έγκειται στην διαφορά φάσης, δηλαδή στον χρόνο που χρειάζεται για μια ολοκλήρωση της κυματοειδούς συνάρτησης.



Κυτταρα Λίπους

Το επόμενο είδος κύτταρου το οποίο υλοποιήθηκε είναι το κύτταρο λίπους (Blood lipid) του αίματος. Τα συγκεκριμένα κύτταρα είναι υπεύθυνα για την αποθήκευση και μεταφορά λιπικών οξέων διαμέσου του κυκλοφορικού συστήματος σε ολόκληρο το σώμα. Σχετίζονται με παθήσεις που συνδέονται με υψηλή χοληστερόλη και την παχυσαρκία. Τα κύτταρα του λίπους, όταν βρίσκονται σε μεγαλύτερα ποσοστά του φυσιολογικού, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στον άνθρωπο καθώς προσκολλούνται στα τοιχώματα των φλεβών και μπορούν να μειώσουν την φυσιολογική ροή του αίματος. Αυτό είναι ένα σενάριο αρκετά ενδιαφέρον για το εικονικό περιβάλλον της παρούσας εργασίας, καθώς απασχολεί μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού και μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για την υγεία του ασθενούς σε βάθος χρόνου.

Για το κύτταρο λίπους δεν χρειάστηκε να υλοποιηθεί τρισδιάστατο μοντέλο μέσω του Blender καθώς το σχήμα του είναι σχεδόν εξολοκλήρου σφαιρικό και το χρώμα του αναπαριστάται συχνά με το κίτρινο, οπότε στάθηκε δυνατό να χρησιμοποιηθεί το σφαιρικό μοντέλο που παρέχει το Unity και του δόθηκε μια ύψη για τον χρωματισμό του. Ακολουθήθηκαν βέβαια οι τεχνικές τυχαίας παραγωγής κυττάρων που χρησιμοποιήθηκαν και στα προηγούμενα κύτταρα, ώστε να υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις στο μέγεθος των κυττάρων, καθώς και αντίστοιχος μηχανισμός κρούσεων που όμως παραλλάχθηκε στην προκειμένη περίπτωση ώστε να ικανοποιεί τις αποφάσεις του σεναρίου. Έτσι λοιπόν, τα κύτταρα του λίπους σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να συμμετέχουν μεν σε κρούσεις με άλλα κύτταρα, όταν όμως συγκρούονται με τα τοιχώματα του μοντέλου των φλεβών να προσκολλούνται πάνω του. Επιπροσθέτως, αν συγκρουστούν με άλλο κύτταρο λίπους που έχει προσκολληθεί στα τοιχώματα, τότε προσκολλούνται πάνω του ώστε να σχηματίζουν σπινθήδες από κύτταρα που εμποδίζουν την κυκλοφορία των υπολοίπων. Ακόμα, όταν ο χρήστης θα αλληλεπιδρά μαζί τους μετακινώντας τα, θα πρέπει να αλλάζουν κατάσταση ώστε να συνεχίζουν την διαδρομή τους στο αίμα, μέχρι να ξανασυγκρουστούν με τα τοιχώματα του

κυκλοφορικού συστήματος ή με άλλο κύτταρο λίπους που είναι ήδη προσκολλημένο. Ο χρήστης μπορεί επίσης να καταστρέψει τα εν λόγω κύτταρα όπως και τα προηγούμενα. Παρακάτω φαίνεται πως επιτυγχάνεται ο μηχανισμός με τον οποίο τα κύτταρα λίπους προσκολλούνται στα τοιχώματα και αναμεταξύ τους.

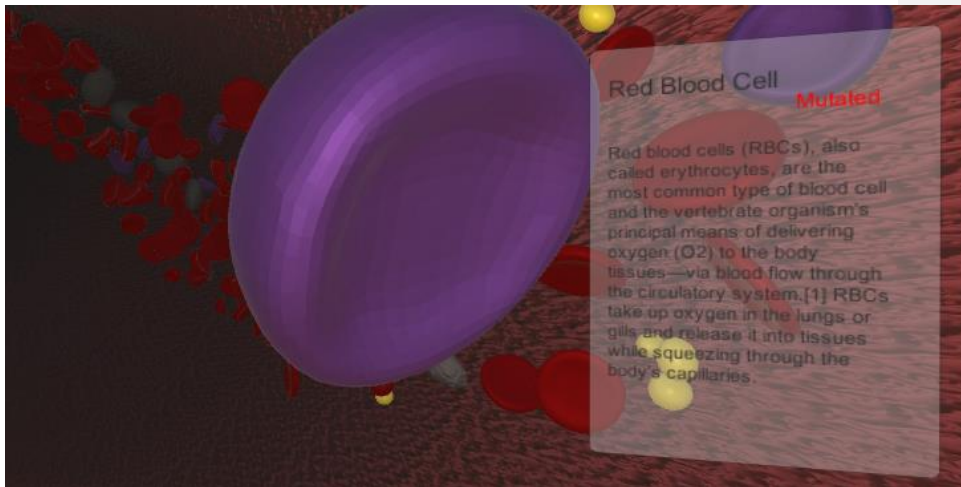
```

public class fatcellmovement : MonoBehaviour {
    // Use this for initialization
    void Start () {
    }
    float amplitudeZ = 0.001f;
    float index;
    bool picked=false;
    public void Update(){
        if (!picked) {
            index += Time.deltaTime;
            float offset = (transform.position.x + transform.position.z) * 0.5f;
            float y = amplitudeZ * Mathf.Sin (offset + index);
            Vector3 newv = new Vector3 (transform.position.x, transform.position.y + y,
transform.position.z);
            this.transform.position = newv;
        }
    }
    void OnCollisionEnter (Collision col)
    {
        if((col.gameObject.name.Equals("blood-vessel") ||
        (col.gameObject.tag.Equals("fat-cell") &&
        col.gameObject.GetComponent<Rigidbody> ().isKinematic)) &&
        picked){
            //selected=false;
            picked=false;
            this.transform.GetComponent<Rigidbody> ().isKinematic=true;
        }
    }
    public void set_select(bool sel){
        picked = sel;
    }
    public bool get_picked(){
        return picked;
    }
}

```

Από τον παραπάνω κώδικα φαίνεται ότι κατά την διάρκεια της ανίχνευσης των κρούσεων (OnCollisionEnter) λιπικών κυττάρων με άλλα αντικείμενα, ελέγχεται αν το αντικείμενο με το οποίο ανιχνεύτηκε κρούση είναι το μοντέλο των φλεβών ή αν είναι άλλο κύτταρο λίπους, το οποίο είναι προσκολλημένο σε αυτές. Εάν πρόκειται για ήδη προσκολλημένο κύτταρο, φαίνεται από την ιδιότητα "isKinematic" στην οποία δίνεται η τιμή "true" όταν ένα κύτταρο λίπους προσκολλείται σε άλλο ή στα τοιχώματα των φλεβών. Από την ιδιότητα αυτή εξαρτάται αν το αντικείμενο θα επηρεάζεται από τις κρούσεις ή όχι, καθώς πρέπει τα κύτταρα λίπους, όταν προσκολλώνται, να παραμένουν έτσι, έξω και αν ο χρήστης αλληλεπιδράσει μαζί τους. Επίσης χρειάζεται τα συγκεκριμένα κύτταρα να συμμετέχουν στην ανιχνεύση κρούσεων, χωρίς όμως να επηρεάζονται από αυτές. Έτσι, όταν ικανοποιούνται οι παραπάνω παραδοχές και το υπο-κίνηση κύτταρο λίπους δεν έχει αλληλεπιδράσει με τον χρήστη, ιδιότητα που φαίνεται από την μεταβλητή "picked", τότε του δίνονται οι κατάλληλες τιμές ώστε να προσκολληθεί και να πάψει να κινείται μέσα στο δίκτυο των φλεβών. Αν ο χρήστης αλληλεπιδράσει μαζί του, αυτές οι τιμές αρχικοποιούνται ώστε το κύτταρο λίπους να συνεχίσει την κίνηση του στο δίκτυο των φλεβών μέχρι να προσκολληθεί ξανά.

Τέλος, όπως φαίνεται στον κώδικα, με την συνάρτηση "Update" μπορεί να ελεγχθεί εάν το κύτταρο λίπους είναι προσκολλημένο. Αυτό γίνεται γιατί, όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενο σημείο, τα τοιχώματα του δικτύου των φλεβών μεταβάλλονται μέσω ενός προγράμματος shader, ώστε να φαίνονται πιο αληθοφανή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα προσκολλημένα κύτταρα λίπους να φαίνονται ακίνητα σε ένα κινούμενο τοίχωμα φλεβών, χάνοντας σε αληθοφάνεια. Έτσι, με την συνάρτηση "Update" μεταβάλλεται η τοποθεσία του κυττάρου λίπους σε παραπλήσια φάση με τα τοιχώματα των φλεβών, ώστε να φαίνεται ότι κινούνται παράλληλα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι αρκετά κοντά στην συμπεριφορά των κυττάρων λίπους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εναλλακτικά σενάρια μπλοκαρισμένων, από κύτταρα λίπους, φλεβών.



Διεπαφή Χρήστη (User Interface)

Σειρά στην ανάλυση έχει η λειτουργία της διεπαφής, δηλαδή της επικοινωνίας του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αναλυθεί πως ο χρήστης χειρίζεται την μικρο-ρομποτική συσκευή, πως την κινεί μέσα στο δίκτυο των φλεβών και πως αλληλεπιδρά με τα κύτταρα του αίματος. Στα προηγούμενα μέρη αναλύθηκε ο τρόπος με τον οποίο υλοποιήθηκε η μικρο-ρομποτική συσκευή, τα αντικείμενα που παρέχει το Unity για την υλοποίηση των λειτουργιών του φωτισμού και της κάμερας και τα scripts τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση της συσκευής μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Δεν έγινε αναφορά όμως στον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης αλληλεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον, καθώς αυτό είναι μέρος της διεπαφής. Στο παρακάτω script φαίνεται πως ο χρήστης επεξεργάζεται τα κύτταρα του αίματος, που αναλύθηκαν νωρίτερα.

```

rigidbody.velocity = Vector3.zero;
if (Input.GetMouseButton (0)) {
    Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay (Input.mousePosition);
    RaycastHit hit;
    if (Physics.Raycast (ray, out hit, 5)) {
        if (hit.collider.tag == "red-blood-cell" || hit.collider.tag == "white-blood-cell" || hit.collider.tag == "fat-cell") {
            cell = hit.transform.gameObject;
            cell.transform.position = Camera.main.ScreenToWorldPoint (new Vector3 (Input.mousePosition.x,
Input.mousePosition.y, 2.0f));
            if (cell.tag == "fat-cell"){
                cell.GetComponent<fatcellmovement> ().set_select (true);
                cell.GetComponent<Rigidbody> ().isKinematic=false;
            } else
                cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell> ().set_select (true);
            if(System.IO.File.Exists(Application.dataPath +"/xmlElements/"+ hit.collider.tag+ ".xml")){
                xmlDoc.LoadXml(System.IO.File.ReadAllText(Application.dataPath +"/xmlElements/"+ hit.collider.tag+
".xml"));
                UnityEngine.UI.Text[] elms = canvas.GetComponentsInChildren<UnityEngine.UI.Text>();
                elms[0].text=xmlDoc.SelectSingleNode("cell").SingleNode("title").InnerText;
                elms[1].text=xmlDoc.SelectSingleNode("cell").SingleNode("description").InnerText;
                if(cell.tag == "red-blood-cell" && cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell> ().mutated)
                    elms[2].enabled=true;
                else
                    elms[2].enabled=false;
                canvas.enabled=true;
            } else {
                Debug.Log (Application.dataPath +"/xmlElements/"+ hit.collider.tag+ ".xml");
            }
        }
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.E)){
            Destroy(cell);
            cell = null;
        }
    }
}

```

```

}else if (cell != null) {
    if (cell.tag != "fat-cell")
        cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell> ().set_select (false);
    cell = null;
    canvas.enabled=false;
} else {
    cell = null;
}
}
}else if (cell != null) {
    if (cell.tag != "fat-cell")
        cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell> ().set_select (false);
    cell = null;
} else {
    cell = null;
    canvas.enabled=false;
}
}
}

```

Field Code Changed

Ο παραπάνω κωδικός δείχνει πως υλοποιείται η διαδικασία διάδρασης του χρήστη με τα τρία είδη κυττάρων του αίματος που υπάρχουν στο εικονικό περιβάλλον. Η διαδικασία ξεκινά μόλις πατήσει ο χρήστης το αριστερό 'κλικ' όπου πυροδοτείται μια τεχνική που παρέχεται από το Unity και ονομάζεται "Ray Casting". Όπως προοιόζει το όνομα πρόκειται για την χρήση μιας ακτίνας ως μαθηματικό δiάνυσμα που εκτείνεται από την κάμερα και έχει κατεύθυνση αυτή όπου «κοιτάζει» η κάμερα. Η τεχνική "Ray Casting" είναι πολύ δημοφιλής σε εφαρμογές με εικονικό περιβάλλον και χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια, κυρίως στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Το δiάνυσμα «ακτίνα» εκτείνεται σε απόσταση 5 μονάδων μέτρησης του Unity που στην προκειμένη περίπτωση είναι το μικρο-μέτρο. Το Unity, μέσω αυτής της μεθόδου, φανερώνει με πιο αντικείμενο υπήρξε σύγκρουση, δηλαδή ήταν πιο κοντά στην μικρο-ρομποτική συσκευή. Στην συνέχεια ελέγχεται αν αυτό το αντικείμενο ήταν ένα από τα τρία κύτταρα του αίματος που έχουν υλοποιηθεί. Αν πρόκειται για ένα από τρία κύτταρα του αίματος ενεργοποιείται το UI (User interface) με πληροφορίες για τον συγκεκριμένο τύπο κυττάρου, από αρχείο xml που έχει σχεδιαστεί για ακριβώς αυτόν τον τύπο κυττάρου. Υπάρχουν δηλαδή τρία αρχεία xml που βρίσκονται σε φάκελο ανεξάρτητο από το εκτελέσιμο αρχείο την εφαρμογής, ώστε να μπορούν να γίνουν αλλαγές ή προσθήκες ακόμα και μετά την δημιουργία εκτελέσιμου, καθιστώντας έτσι την εφαρμογή πιο δυναμική. Τα αρχεία xml περιέχουν το όνομα και την περιγραφή κάθε κυττάρου σε κατάλληλα tags τα οποία διαβάζονται και ανανεώνουν το UI καταλλήλως. Το αντικείμενο που επιλέγεται τοποθετείται 2 μονάδες μέτρησης απόστασης μπροστά από την μικρο-ρομποτική συσκευή, ώστε να μπορεί να το επιβλέψει ο χρήστης. Η ενέργεια αυτή γίνεται σε κάθε ανανέωση του εικονικού περιβάλλοντος και επομένως ο χρήστης πρέπει να κρατάει πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικού ώστε να συνεχίζει να παραμένει ενεργό το UI και να μένει το αντικείμενο μπροστά στην μικρο-ρομποτική συσκευή. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα από τα αρχεία xml.

```

<cell>
  <title>Red Blood Cell</title>
  <description>Red blood cells (RBCs), also called erythrocytes, are the most common type of blood cell and the vertebrate organism's principal means of delivering oxygen (O2) to the body tissues—via blood flow through the circulatory system.[1] RBCs take up oxygen in the lungs or gills and release it into tissues while squeezing through the body's capillaries.</description>
</cell>

```

Και τα τρία είδη κυττάρων του αίματος μοιράζονται την ίδια δομή αρχείου και ώστε να υπάρχει ομοιογένεια και να μπορούν να αναγνωστούν με τον ίδιο τρόπο από την εφαρμογή. Οι πληροφορίες που περιέχουν τα αρχεία και γίνεται να επεκταθούν προσθέτοντας tags, όμως τότε απαιτείται η επικαιροποίηση της εφαρμογής ώστε να ανανεώνεται το UI κατάλληλα.

Ειδικότερα για την περίπτωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων για τα οποία το σενάριο προβλέπει μεταλλάξεις, αν επιλεγεί μεταλλαγμένο ερυθρό αιμοσφαίριο, τότε εμφανίζεται κατάλληλη ένδειξη στο UI, ώστε να ενημερωθεί ο χρήστης και να ακολουθήσει την κατάλληλη ενέργεια. Το σενάριο προβλέπει την καταστροφή κυττάρων όπου ο χρήστης κρίνει απαραίτητο. Η συγκεκριμένη ενέργεια επιτυγχάνεται όταν ο χρήστης πατήσει το πλήκτρο «E» και το αντικείμενο του κυττάρου το οποίο ο χρήστης έχει επιλέξει διαγράφεται από το εικονικό περιβάλλον.

Η διεπαφή του χρήστη με τα κύτταρα του αίματος είναι αρκετά απλή ώστε να μην απομακρύνει την προσοχή του χρήστη από τον σκοπό της εφαρμογής που είναι η εξοικείωση του και η εκμάθηση τεχνικών της ιατρικής, μέσω των υλοποιούμενων σεναρίων. Το συγκεκριμένο σενάριο έχει ένα αρκετά απλό UI, το οποίο όμως μπορεί να εμπλουτιστεί εύκολα, όπως αναφέρθηκε, κάνοντας χρήση των δυναμικών τεχνικών αποθήκευσης και εύρεσης πληροφοριών για τα αντικείμενα του εικονικού περιβάλλοντος.

Έχοντας αναλύσει όλα τα αντικείμενα που απαρτίζουν το εικονικό περιβάλλον, αυτό που απομένει να εξηγηθεί είναι το πως δημιουργούνται δεκάδες κύτταρα από το κάθε είδος. Φυσικά, αυτό δεν μπορεί να γίνει φτιάχνοντας με το χέρι τα αντικείμενα σε προκαθορισμένες θέσεις, καθώς αυτό δεν προσδίδει καθόλου δυναμικά χαρακτηριστικά στην εφαρμογή αλλά την κάνει στατική. Για αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκαν κενά αντικείμενα χωρίς διαστάσεις, αλλά μόνο με τοποθεσία, στα οποία προστέθηκε ένα script το οποίο τρέχει στην αρχή της εφαρμογής για να δημιουργήσει όλα τα είδη κυττάρων που θα κινούνται μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Ειδικότερα, έχουν δημιουργηθεί παραπάνω από ένα κενά αντικείμενα ώστε να δημιουργούνται κύτταρα του αίματος σε όλο το μήκος του δικτύου των φλεβών και σε τυχαίες θέσεις. Παρακάτω θα αναλυθεί ο κώδικας αυτού του script.

```

void Start () {
    for(int i=0; i<75; i++){
        float x = Random.Range ((float)(this.transform.position.x-7),(float)(this.transform.position.x+7));
        float y = Random.Range ((float)(this.transform.position.y-7),(float)(this.transform.position.y+7));
        float z = Random.Range ((float)(this.transform.position.z-7),(float)(this.transform.position.z+7));
        cell= (GameObject)Instantiate(bloodcell , new Vector3(x,y,z), Quaternion.identity);
        if (Random.value >= 0.9){
            cell.GetComponent<Renderer>().material.color = new Color(0.6f,0.3f,0.7f);
            cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell>().mutated=true;
        }else
            cell.transform.GetChild (0).GetComponent<RedBloodCell>().mutated=false;
        float r=Random.Range (0.6f,1.4f);
        cell.transform.localScale=new Vector3(r,r,Random.Range (0.6f,1.4f));
    }
}

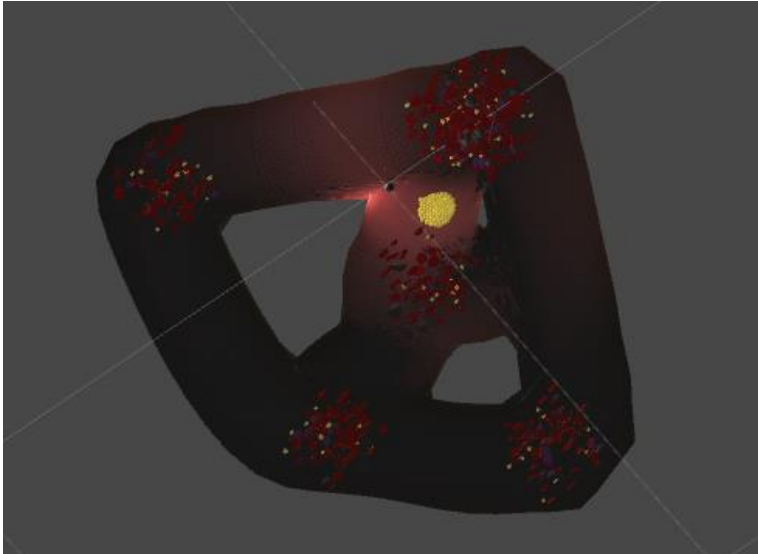
for(int i=0; i<4; i++){
    float x = Random.Range ((float)(this.transform.position.x-7),(float)(this.transform.position.x+7));
    float y = Random.Range ((float)(this.transform.position.y-7),(float)(this.transform.position.y+7));
    float z = Random.Range ((float)(this.transform.position.z-7),(float)(this.transform.position.z+7));
    cell= (GameObject)Instantiate(whitecell , new Vector3(x,y,z), Quaternion.identity);
    float r=Random.Range (0.8f,1.5f);
    cell.transform.localScale=new Vector3(r,r,Random.Range (0.6f,1.4f));
}

for(int i=0; i<10; i++){
    float x = Random.Range ((float)(this.transform.position.x-7),(float)(this.transform.position.x+7));
    float y = Random.Range ((float)(this.transform.position.y-7),(float)(this.transform.position.y+7));
    float z = Random.Range ((float)(this.transform.position.z-7),(float)(this.transform.position.z+7));
    cell= (GameObject)Instantiate(fatcell , new Vector3(x,y,z), Quaternion.identity);
    float r=Random.Range (0.5f,1f);
    cell.transform.localScale=new Vector3(r,r,Random.Range (0.5f,1f));
    cell.GetComponent<fatcellmovement> ().set_select (true);
    cell.GetComponent<Rigidbody> ().isKinematic=false;
}
}

```



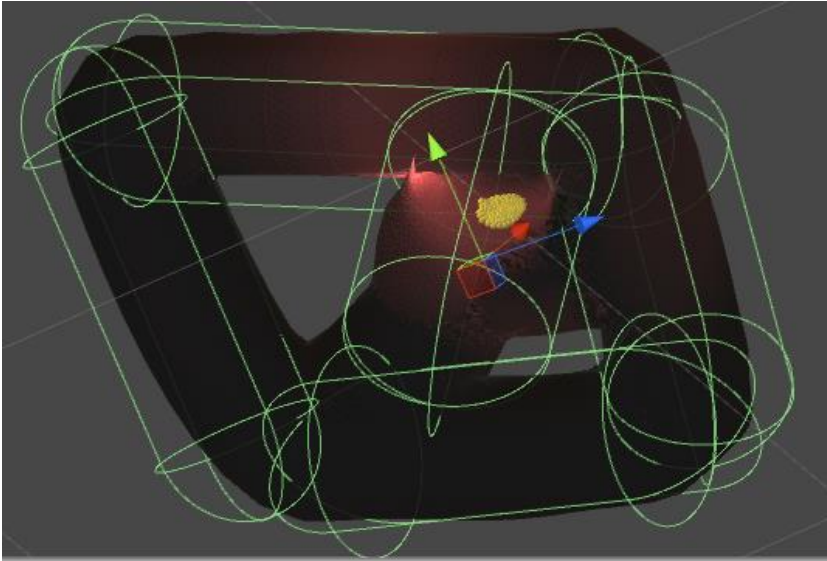
Όπως φαίνεται από τον παραπάνω κώδικα, κάθε ένα από τα κενά αντικείμενα, που δημιουργήθηκαν για να προσθέσουν τα κύτταρα του αίματος στο εικονικό περιβάλλον, τρέχει το παραπάνω script μία μόνο φορά με το που δημιουργείται χάρη στην συνάρτηση "Start". Μέσα σε αυτήν την συνάρτηση τρέχουν τρεις επαναλαμβανόμενες διαδικασίες "loops", οι οποίες είναι υπεύθυνες για την δημιουργία των κυττάρων του αίματος. Όπως φαίνεται, κάθε script δημιουργεί 75 ερυθρά αιμοσφαίρια, 4 λευκά αιμοσφαίρια και 10 κύτταρα λίπους. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποτελούν το μεγαλύτερο σύνολο από όλα τα άλλα κύτταρα του αίματος, σε ποσοστό κοντά στο 50% με αποκλίσεις, καθώς κάθε οργανισμός έχει διαφορετικές τιμές ανάλογα με την ηλικία, το φύλο και την κατάσταση της υγείας του. Καθώς όμως στο υπό-δοκιμή εικονικό περιβάλλον υπάρχουν μόνο 3 είδη κυττάρων του αίματος, λήφθηκε η απαραίτητη απόφαση να ανεβεί το ποσοστό των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Στην πρώτη διαδικασία δημιουργούνται τα ερυθρά αιμοσφαίρια με τυχαίες τιμές για τις μεταβλητές x,y,z που αποτελούν τις συντεταγμένες τοποθεσίας για κάθε κύτταρο. Ομοίως, δίνονται τυχαίες τιμές και για το μέγεθος των κυττάρων, ώστε να μην είναι όλα ίδια μεταξύ τους, τεχνική που αναλύθηκε παραπάνω, με την επισήμανση ότι οι διαστάσεις μήκους και πλάτους κάθε κυττάρου είναι ίδιες, έτσι ώστε να μην έχουμε δυσανάλογες αποκλίσεις και στο σχήμα των κυττάρων. Για τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποφασίζεται τυχαία αν θα περιέχουν μετάλλαξη ή όχι, μέσω της μεταβλητής "mutated". Η παραπάνω διαδικασία εγγυάται ότι το εικονικό περιβάλλον θα περιέχει αρκετά κύτταρα του αίματος ώστε να δίνει στον χρήστη την ευκαιρία να εξερευνήσει και να διαδράσει με αρκετά από αυτά, επεκτείνοντας τον αριθμό των κυττάρων που δημιουργούνται ή αυξάνοντας τον αριθμό των αντικειμένων που δημιουργούν κύτταρα του αίματος, με το script που αναλύθηκε πιο πάνω, ώστε να υπάρχει ένα εικονικό περιβάλλον που να προσομοιάζει κατά το δυνατό στις πραγματικές συνθήκες στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Βέβαια, όσο αυξάνεται ο αριθμός των κυττάρων του αίματος και ως εκ τούτου ο αριθμός των αντικειμένων που διαχειρίζεται το εικονικό περιβάλλον, ανεβαίνουν και οι απαιτήσεις της εφαρμογής σε πόρους. Αυτό θα πρέπει να προβλεφθεί για μελλοντικά σενάρια έτσι ώστε, είτε να αναπτυχθούν τεχνικές βελτιστοποίησης, είτε να προταθεί ένα πιο «δυνατό» σύστημα που θα μπορεί να διαχειριστεί την εφαρμογή πιο ομαλά.



Εικόνα 6: Τοποθεσίες δημιουργίας κύτταρων του αίματος

Στην εικόνα 6 φαίνεται το αποτέλεσμα του "script" που δημιουργεί τα κύτταρα του αίματος κατά την έναρξη της εφαρμογής και στην εικόνα 7 εκτελείται σε 5 προκαθορισμένες τοποθεσίες μέσα στο δίκτυο των φλεβών. Οι τοποθεσίες αυτές θα μπορούσαν να αυξηθούν, όπως δυνατή είναι και η τροποποίηση του "script" ώστε να δημιουργεί κύτταρα με πιο έξυπνο τρόπο, αλλά για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ο τρόπος αυτός είναι αρκετός.

Η τελευταία λειτουργία στην οποία θα γίνει αναφορά είναι η κίνηση των κυττάρων του αίματος στο δίκτυο των φλεβών. Σε ένα ανθρώπινο σώμα, τα κύτταρα που απαρτίζουν το αίμα κινούνται χάρη στην δύναμη που αναπτύσσεται από τους χτύπους της καρδιάς με ρυθμικό τρόπο, δύναμη που ωθεί τα κύτταρα του αίματος σε μια σχεδόν κυκλική διαδρομή, σε ολόκληρο τον οργανισμό. Για να εξομοιωθούν οι δυνάμεις που κινούν τα κύτταρα του αίματος παράλληλα με τα τοιχώματα του δικτύου των φλεβών, δημιουργήθηκαν κυλινδρικά αντικείμενα, που παρέχονται από το Unity, τα οποία δεν έχουν κάποια υφή "Material" και με διαστάσεις παρόμοιες με αυτές των φλεβών, ώστε να σχηματίζουν ένα δίκτυο όμοιο με αυτό των φλεβών, αλλά ελαφρώς μεγαλύτερο δε σε διάσταση, ώστε να το υπερκαλύπτει. Παρακάτω δίνεται μια αναπαράσταση για το πως μοιάζει αυτό το δίκτυο.



Εικόνα 7: Δίκτυο Δυνάμεων Φλεβών

Όπως φαίνεται το δίκτυο των δυνάμεων του αίματος επικαλύπτει το δίκτυο των φλεβών, ώστε να μην υπάρχει σημείο όπου δεν δρουν μέσα στις φλέβες όπως και στην πραγματικότητα. Χάρη σε αυτήν την ιδιότητα του, το δίκτυο χρησιμοποιείται ώστε να κινηθούν τα κύτταρα του αίματος με την βοήθεια των λειτουργιών ανίχνευσης συγκρούσεων που παρέχει το Unity. Έτσι, σε κάθε κύκλο σχεδίασης, θα ανιχνεύεται για κάθε κύτταρο με πια αντικείμενα "συγκρούεται". Επειδή το δίκτυο δυνάμεων του αίματος υπερκαλύπτει το δίκτυο των φλεβών, πάντα τα κύτταρα του αίματος θα "συγκρούονται" με τουλάχιστον ένα αντικείμενο του δικτύου δυνάμεων του αίματος. Έτσι τελικά, η δύναμη που θα δοθεί στα κύτταρα του αίματος θα έχει φορά ίδια με το διάνυσμα  $Y$  που σχηματίζεται από τις τιμές της τοπικής περιστροφής του συγκεκριμένου αντικειμένου δύναμης του αίματος. Το μέτρο της κίνησης πρέπει να είναι ρυθμικό έτσι ακριβώς όπως η καρδιά στο ανθρώπινο σώμα κινεί τα κύτταρα του αίματος ρυθμικά, ως αποτέλεσμα των συσπάσεων της. Η δύναμη αυτή είναι ίδια για όλα τα κύτταρα του εικονικού περιβάλλοντος και έτσι το script που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι το ίδιο. Στη συνέχεια δίνεται ο κώδικας του script:

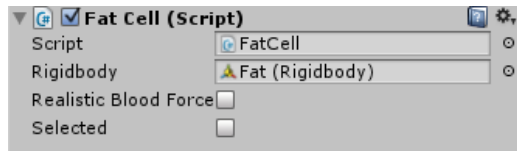
```

void OnTriggerStay(Collider other) {
    if( selected ){
        rigidbody.velocity =new Vector3(0,0,0);
    }else if (other.gameObject.tag == "blood-force" &&
this.transform.parent.GetComponent<fatcellmovement>().get_picked()) {
        if(realisticBloodForce==true){
            rigidbody.velocity += (Mathf.Sin(Time.fixedTime*5) *
other.gameObject.transform.transform.up * 8 + other.gameObject.transform.transform.up*5);
        }else{
            rigidbody.velocity += other.gameObject.transform.transform.up *5.5f;
            if(rigidbody.velocity.magnitude > 5.5f) {
                rigidbody.velocity = rigidbody.velocity.normalized * 5.5f;
            }
        }
    }
}

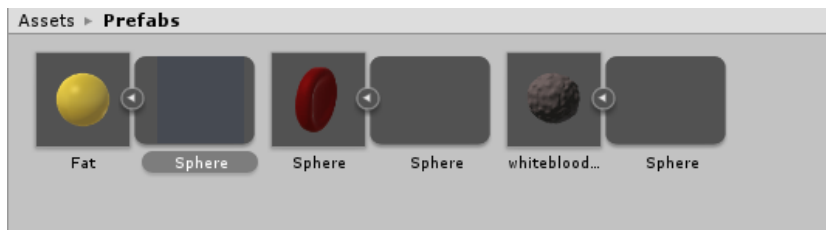
void Update () {
    if (realisticBloodForce == true) {
        rigidbody.velocity =new Vector3(0,0,0);
    }
}

```

Στο άνωθεν script υπάρχουν δυο συναρτήσεις, η OnTriggerStay και η Update. Η OnTriggerStay είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση συγκρούσεων και συγκεκριμένα για την διαρκή παραμονή του αντικείμενου εντός ενός άλλου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το αντικείμενο δυνάμεων του αίματος. Στην συνάρτηση OnTriggerStay ελέγχεται εάν το αντικείμενο έχει επιλεγεί από τον χρήστη και αν όχι, τότε ελέγχεται εάν έχει ανιχνευθεί σύγκρουση με κάποιο αντικείμενο και αν αυτό το αντικείμενο είναι αντικείμενο δυνάμεων του αίματος. Στην συνέχεια, ελέγχεται μια εξωτερική μεταβλητή realisticBloodForce για το αν θα εξομοιωθεί η ρεαλιστική ρυθμική κίνηση του αίματος ή η σταθερή κίνηση. Στην συνάρτηση Update μηδενίζεται η επιτάχυνση του συγκεκριμένου αντικείμενου, εάν έχει επιλεγεί η ρυθμική κίνηση, και αυτό γιατί πρέπει να μηδενίζεται η τιμή της επιτάχυνσης σε κάθε ανανέωση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να έχει υλοποιηθεί ένας μηχανισμός κίνησης που δεν είναι απολύτως προβλέψιμος, όπως θα ήταν αν είχαν υλοποιηθεί τεχνικές κίνησης σε προκαθορισμένα μονοπάτια όπου τα αντικείμενα δεν θα παρεκκλίνουν της πορείας τους. Τέτοια τεχνική δεν θα ήταν αρκετά αποτελεσματική καθώς είναι επιθυμητό ένα πιο δυναμικό περιβάλλον, όπου τα αντικείμενα θα συγκρούονται και θα παρεκκλίνουν της πορείας τους ή ακόμα και θα την χάνουν. Με τους δύο τύπους κίνησης, τον ρεαλιστικό και τον σταθερό, έχει καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος απαιτήσεων και παρέχεται εναλλακτική για πιο αδύναμα συστήματα, μιας και ο ρεαλιστικός τρόπος κίνησης είναι πιο απαιτητικός σε πόρους.



Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση παραμέτρου Realistic Blood Force



Prefabs αντικείμενα

Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η χρήση και η αλλαγή της παραμέτρου "realisticBloodForce"δ χρειάζεται πρώτα να αναλυθεί η έννοια του Prefab που χρησιμοποιείτε στο Unity. Τα αντικείμενα Prefabs είναι η γενική δήλωση αντικειμένων στο Unity, η οποία περιέχει όλες τις λειτουργίες και όλες τις παραμέτρους, εκτός από τις παραμέτρους τοποθεσίας και μεγέθους (Transform). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων στο εργαλείο Unity, αντικειμένων που μοιράζονται κοινές λειτουργίες όπως "scripts", "Materials". Τα Prefabs μπορούν να αποτελούν ολόκληρες ιεραρχίες από αντικείμενα, υλοποιώντας έτσι πιο πολύπλοκες δομές. Η ευκολία που παρέχουν είναι πως επιτρέπουν στον σχεδιαστή να αλλάξει τις λειτουργίες πολλών όμοιων αντικειμένων, αλλάζοντας απλά τις λειτουργίες των Prefabs. Ευκολία ιδιαίτερα σημαντική σε πιο δυναμικά περιβάλλοντα, όπου αντικείμενα δημιουργούνται και καταστρέφονται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του εικονικού περιβάλλοντος, όπως στο παρόν, καθώς είναι μεγάλο πλεονέκτημα να υπάρχουν κάπου συγκεντρωμένες οι δομές των αντικειμένων που χρειάζεται να δημιουργηθούν και να μην χρειάζεται να τίθεται εξ αρχής κάθε λειτουργία και παράμετρος την ώρα της λειτουργίας του εικονικού περιβάλλοντος.

Έχοντας κατανοήσει την έννοια του Prefab μπορούμε να καταλάβουμε ότι για την αλλαγή της εξομείωσης της κίνησης των κυττάρων του αίματος το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να αλλάξουμε την μεταβλητή realisticBloodForce αλλάζοντας έτσι και την συμπεριφορά όλων των αντικειμένων που την περιέχουν.

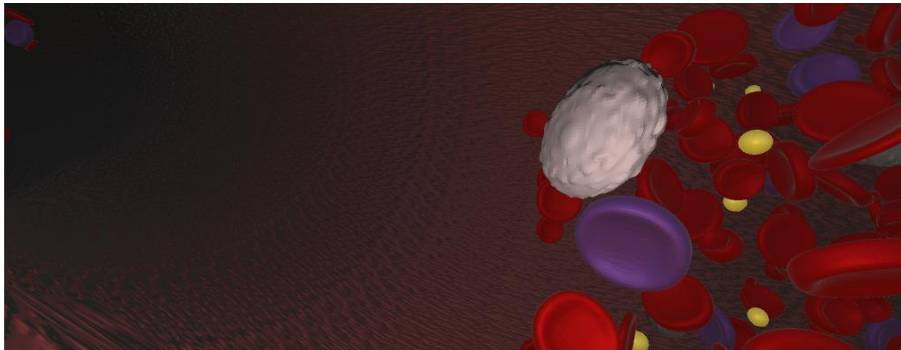
Έχοντας αναλύσει όλες τις λειτουργίες του εικονικού περιβάλλοντος, το επόμενο τμήμα συνεχίζει με την ανάλυση του σεναρίου που υλοποιήθηκε, καθώς και με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτό.

## 5. Μελέτες περίπτωσης, αποτελέσματα, αξιολόγηση

Το σενάριο, το οποίο υλοποιήθηκε στο εικονικό περιβάλλον της παρούσας εργασίας, αφορά την εξερεύνηση, εύρεση και καταστροφή μεταλλαγμένων κυττάρων του αίματος. Συγκεκριμένα, υπάρχουν μεταλλαγμένα ερυθρά αιμοσφαίρια τα οποία είναι αναγνωρίσιμα από το διαφορετικό (μοβ) χρώμα τους. Αυτήν η επιλογή λήφθηκε προς εξοικονόμηση χρόνου, μιας και στο εικονικό περιβάλλον υπάρχει μεγάλος αριθμός κυττάρων, με το μεγαλύτερο σύνολο να αποτελούν τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Έτσι, χωρίς αυτή την επιλογή, ο χρήστης θα έπρεπε να αφιερώσει πολύ χρόνο για να ανακαλύψει έστω και μερικά από αυτά, χρόνο που μπορεί να χρησιμοποιήσει για την εξερεύνηση και την καλύτερη εξοικείωση του με το εικονικό περιβάλλον και τα υπόλοιπα αντικείμενα που υλοποιήθηκαν.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η λειτουργία χρήσης της εφαρμογής, ώστε να κατανοηθεί και από την σκοπιά του χρήστη η εμπειρία χρήσης της εφαρμογής αυτής.

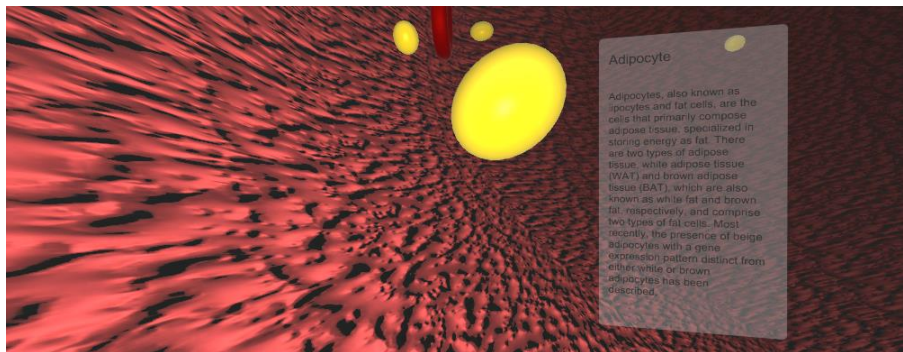
Καθώς ξεκινάει η εφαρμογή, ο χρήστης βρίσκεται μέσα στο δίκτυο των φλεβών και μπορεί να παρατηρήσει τα διάφορα είδη κυττάρων του αίματος, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Ο χρήστης σε αυτό το σημείο μπορεί να κινήσει την κάμερα με την χρήση του ποντικιού, πατώντας πρώτα το πλήκτρο space και κρατώντας το πατημένο για όλο το διάστημα που επιθυμεί να μετακινήσει την κάμερα. Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, αυτό γίνεται προκειμένου να επιτραπεί στον χρήστη η ελεύθερη κίνηση του ποντικιού, χωρίς να μετακινείται η κάμερα με κάθε κίνηση, καθώς αυτό θα προκαλούσε σύγχυση.

Στην συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να μετακινηθεί μέσα στο εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα w,a,s,d, τα οποία μετακινούν την μικρο-ρομποτική συσκευή μπροστά, αριστερά, δεξιά και προς τα πίσω αντίστοιχα. Η κίνηση μπορεί να συνδυαστεί και με την αλλαγή κατεύθυνσης με την χρήση του ποντικιού, πατώντας το πλήκτρο space, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να μετακινηθεί μέσα στο δίκτυο των φλεβών με μεγάλη ευκολία.

Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα διάφορα κύτταρα του αίματος, πλησιάζοντας τα και πατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού. Τότε, το κύτταρο τοποθετείται μπροστά από την μικρο-ρομποτική συσκευή και πληροφορίες για αυτό το κύτταρο εμφανίζονται σε επιφάνεια στην δεξιά πλευρά της οθόνης, όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα.



Στην συνέχεια, ο χρήστης μπορεί, είτε να αφήσει το κύτταρο που έχει επιλέξει απελευθερώνοντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, είτε να το καταστρέψει πατώντας το πλήκτρο E του πληκτρολόγιου.

Σημειώνεται πως στο εκτελέσιμο της εφαρμογής, που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη επίδειξη, δημιουργήθηκαν τα ακόλουθα κύτταρα:

1. Ερυθρά αιμοσφαίρια: 525
2. Λευκά αιμοσφαίρια: 28
3. Κύτταρα λίπους: 70

Για πιο ρεαλιστική εξομοίωση της σύνθεσης του αίματος, θα έπρεπε για κάθε ένα λευκό αιμοσφαίριο να υπάρχουν 600 ερυθρά αιμοσφαίρια και 40 κύτταρα λίπους. Αυτό όμως, θα δυσχαίρενε την αλληλεπίδραση με όλα τα κύτταρα του αίματος, δυσκολία που δεν ήταν επιθυμητή στο συγκεκριμένο σενάριο.

Συνοψίζοντας, το αποτέλεσμα είναι αρκετά κοντά στην εξομοίωση ενός πραγματικού δικτύου φλεβών, με τον χρήστη να αλληλεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον αποκτώντας πληροφορίες για κάθε κύτταρο που υλοποιήθηκε, ενώ παράλληλα οι δυνατότητες και τα σενάρια του εικονικού περιβάλλοντος μπορούν να επεκταθούν με ευκολία χάρις στα εργαλεία και τις λειτουργίες που παρέχει το Unity.

## 6. Συμπεράσματα, μελλοντικές κατευθύνσεις

Το εικονικό περιβάλλον της παρούσας εργασίας εμπεριέχει μόνο ένα σενάριο και λειτουργίες που μπορούν να βελτιωθούν σε επόμενη έκδοση, ώστε να είναι πιο αληθοφανείς και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και για εξομίωση συμπεριφοράς υγρών του αίματος ή για εξομίωση δοκιμαστικών σεναρίων μικρο-ρομποτικών συσκευών. Ένας από τους μηχανισμούς που θα μπορούσε να βελτιωθεί έχει σχέση με την ιδιότητα των κυττάρων λίπους του αίματος να προσκολλώνται το ένα στο άλλο και στα τοιχώματα των φλεβών, σχεδιάζοντας την εφαρμογή έτσι, ώστε να λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος και η θέση προσκόλλησης τους καθώς και το αποτέλεσμα που έχουν οι κρούσεις με τα άλλα κύτταρα του αίματος. Ακόμα για ένα πιο ρεαλιστικό εικονικό περιβάλλον θα μπορούσε να γίνει μελέτη ώστε να σχεδιαστούν τα αντικείμενα σύμφωνα με τις πραγματικές διαστάσεις και αναλογίες, το οποίο δεν αποτελούσε στόχο της παρούσας έκδοσης. Επιπλέον, θα πρέπει για πιο σταθερές εγκαταστάσεις να γίνουν οι απαραίτητες βελτιστοποιήσεις που προβλέπει το Unity, ώστε η εφαρμογή να μην είναι πολύ απαιτητική σε πόρους και να μπορούν να προστεθούν περισσότερα αντικείμενα στο εικονικό περιβάλλον χωρίς να επηρεάζεται η εμπειρία του χρήστη. Τέλος, καθώς ο κλάδος της ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων είναι ένας κλάδος υπό ανάπτυξη, όπως και ο κλάδος της πληροφορικής συνολικά, είναι σίγουρο πως μελλοντικά θα αναπτυχθούν τεχνολογίες που θα απλοποιήσουν ακόμα περισσότερο την ανάπτυξη εικονικών περιβαλλόντων, όπως παρατηρούμε και από την πρόοδο του εργαλείου Unity τα τελευταία χρόνια. Αυτές τις εξελίξεις, η έρευνα μπορεί να τις εκμεταλλευτεί, γενικεύοντας τις λειτουργίες και τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν εδώ, σε μορφή module ή plugin, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα εργαλεία ή σε νεότερες εκδόσεις του Unity.



## 7. Αναφορές

- [1] Fatikow, S., (2008). Automated Nanohandling by Microrobots. Springer Series in Advanced Manufacturing.
- [2] Nelson, B. J. (2006). Microrobotics in medicine. ETH Zurich Institute of Robotics and Intelligent Systems, Tech. rep.
- [3] Κόσα, G., Shoham, M., & Zaaroor, M. (2005, April). Propulsion of a swimming micro medical robot. In Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on (pp. 1327-1331). IEEE.
- [4] Asgari, M., Ghanbari, A., & Nahavandi, S. (2011, January). 3D particle-based cell modelling for haptic microrobotic cell injection. In ICMT 2011: Proceedings of the 15th International Conference on Mechatronics Technology: Precision Mechatronics for Advanced Manufacturing, Service, and Medical Sectors (pp. 1-6). [ICMT].
- [5] Li, H., Tan, J., & Zhang, M. (2009). Dynamics modeling and analysis of a swimming microrobot for controlled drug delivery. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 6(2), 220-227.
- [6] Ghanbari, A., Chen, X., Wang, W., Horan, B., Abdi, H., & Nahavandi, S. (2010, December). Haptic microrobotic intracellular injection assistance using virtual fixtures. In Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2010 11th International Conference on (pp. 781-786). IEEE.
- [7] Martel, S. (2012). Magnetic microbots to fight cancer. IEEE Spectrum, 25.
- [8] Ladjal, H., Hanus, J. L., & Ferreira, A. (2011, September). Microrobotic simulator for assisted biological cell injection. In Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on (pp. 1315-1320). IEEE.
- [9] Nelson, B. J., Kaliakatsos, I. K., & Abbott, J. J. (2010). Microrobots for minimally invasive medicine. Annual review of biomedical engineering, 12, 55-85.
- [10] Copot, M., Popescu, A., Lung, I., & Moldovanu, A. (2009). Achievements and perspectives in the field of nanorobotics.
- [11] Jing, W., & Cappelleri, D. (2014). A magnetic microrobot with in situ force sensing capabilities. Robotics, 3(2), 106-119.
- [12] Adler, S. N., & Metzger, Y. C. (2011). PillCam COLON capsule endoscopy: recent advances and new insights. Therapeutic advances in gastroenterology, 4(4), 265-268.

Formatted: English (United States)

[13] Yesin, K. B., Vollmers, K., & Nelson, B. J. (2006). Modeling and control of untethered biomicrobots in a fluidic environment using electromagnetic fields. *The International Journal of Robotics Research*, 25(5-6), 527-536.