



# DIGITAL TWINS IN HEALTHCARE

Χρυσανθακοπούλου Διονυσία  
Υποψήφια Δρ.

NVIDIA's Planet Digital Twin

EARTH 2.0

# DIGITAL TWINS- ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ



- Το ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή συστήματος.
- Η απεικόνιση αυτή περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, ενημερώνεται από δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιεί προσομοίωση, μηχανική μάθηση και συλλογιστική για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.

# IN SILICO

- Η έκφραση *in silico* χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει βιολογικά πειράματα που υλοποιούνται μέσω «εκτέλεσης μιας διαδικασίας σε υπολογιστή ή μέσω προσομοίωσης σε υπολογιστή.

- Miramontes 1989



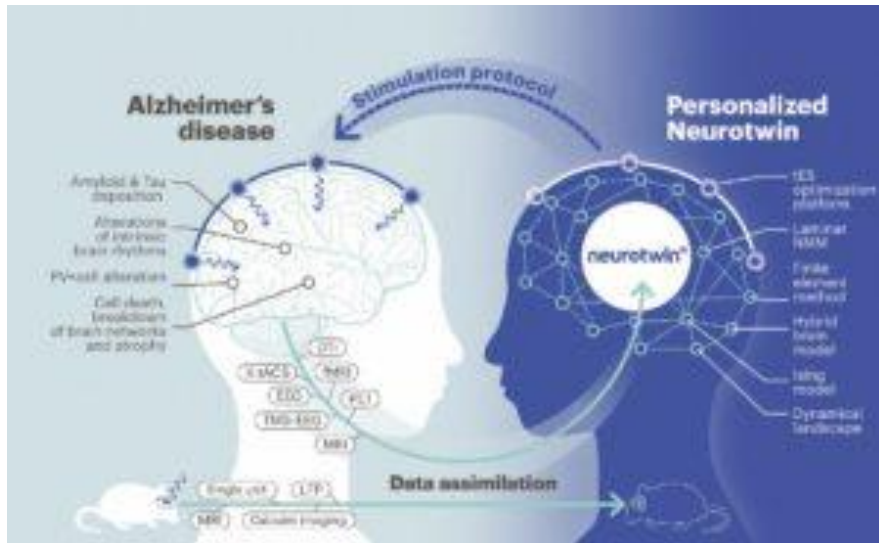
## IN SILICO- ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δυνατότητα τεράστιου αριθμού επαναλήψεων
- Μικρό κόστος χρήσης
- Εποπτεία σε κάθε στάδιο του πειράματος
- Αυξημένες δυνατότητες παρέμβασης
- Αξιοποίηση ήδη υπαρχόντων δεδομένων
- Timesaver
- Ηθικά ορθό

# Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΔΙΔΥΜΟΥ

- NASA, 2010
- Αεροναυπηγική
- «Ολοκληρωμένη πολλαπλή φυσική, πολλαπλής κλίμακας, πιθανολογική προσομοίωση ενός οχήματος ή συστήματος που χρησιμοποιεί τα καλύτερα διαθέσιμα φυσικά μοντέλα, ενημερώσεις αισθητήρων, ιστορικό στόλου κ.λπ., για να αναπαραχθεί η ζωή του ιπτάμενου αντίστοιχου του»

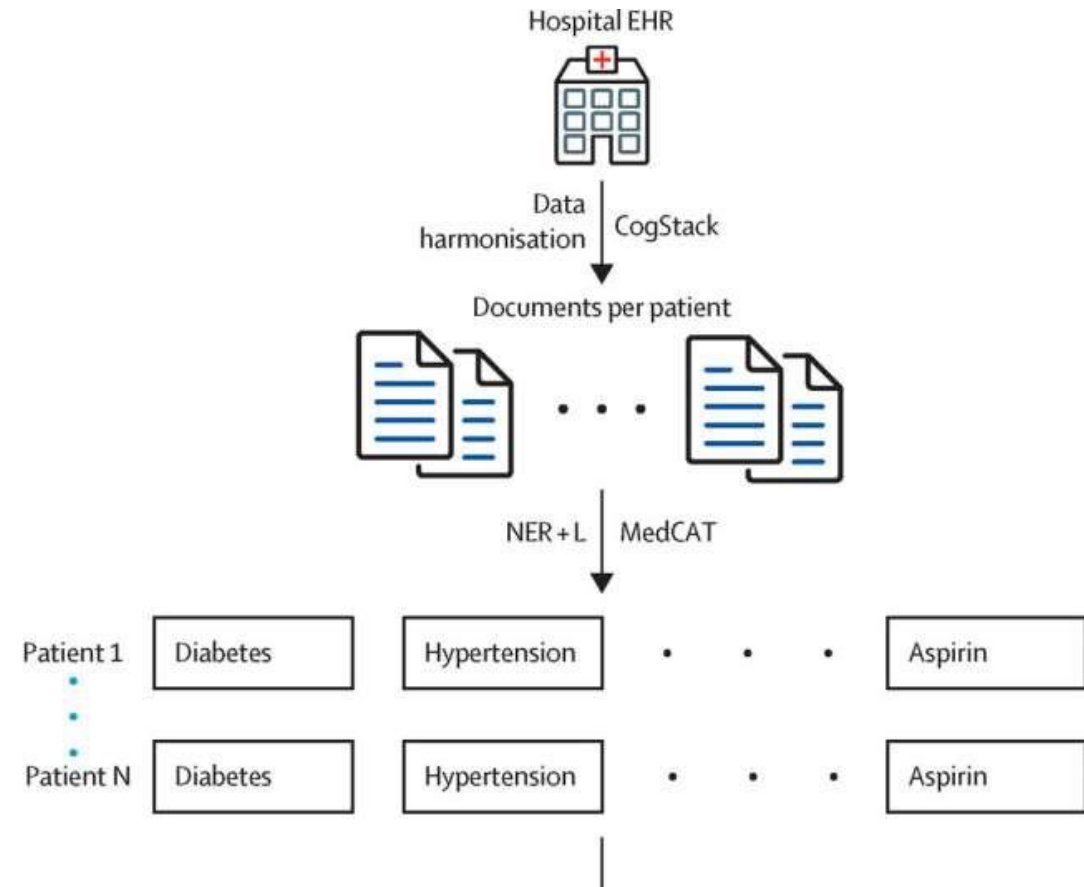
# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΔΙΔΥΜΟΥ



- Μαθηματικό μοντέλο
- Πρόβλεψη μελλοντικών συμπεριφορών
- Παρέμβαση για βελτιστοποίηση

# ΤΑ ΨΔ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΥΓΕΙΑΣ

- Υποστήριξη κλινικών αποφάσεων
- Ιατρική ακρίβεια & φροντίδα
- Ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προηγμένων αναλύσεων και εικονικών προσομοιώσεων
- Προγνωστικές αναλύσεις
- Έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων
- Βελτιστοποιημένη κατανομή πόρων
- Συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης





# ΤΑ ΨΔ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ



- Προσομοίωση ανθρώπινης φυσιολογίας, ασθενειών & επιπτώσεων φαρμάκων
- Σύνδεση δεδομένων γενικού πληθυσμού με δεδομένα ειδικά για ασθενείς σε πραγματικό χρόνο
- Βελτίωση λήψης αποφάσεων
- Πρόβλεψη της έκβασης πολύπλοκων ασθενειών
- Ενίσχυση ιατρικής ακρίβειας
- Πρόληψη
- Διαχείριση διαφόρων ασθενειών

# ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ & ΨΔ

Καρδιακά ψηφιακά  
δίδυμα

Μοντελοποίηση  
καρδιακής  
λειτουργίας

Geodesic-BP - νέα  
μέθοδος

Υψηλή ακρίβεια  
στην ανακατασκευή  
της καρδιακής  
ενεργοποίησης

Δυνατότητες για  
εξατομικευμένη  
ιατρική &  
καρδιολογία

# ΨΔ & ΚΑΡΚΙΝΟΣ

- Ανάπτυξη ψηφιακών διδύμων ασθενών με καρκίνο
- Πρόληψη, διάγνωση και θεραπεία
- Βελτίωση δοσιμετρίας ακτινοβολίας & δόσεων θεραπείας στην Πυρηνική Ιατρική
- Δεδομένα δοσιμετρίας με βιολογικά χαρακτηριστικά του όγκου
- Εξατομικευμένη ραδιοφαρμακευτική θεραπεία

Προσομοίωση αποτελεσματικότητας  
υποψηφίων φαρμάκων

Ασφάλεια υποψηφίων φαρμάκων & ιατρικών  
συσκευών

Ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης

Βοηθούν σε σχεδιασμό & εφαρμογή κλινικών  
δοκιμών

Δυνατότητα για τη βελτίωση εντοπισμού &  
χειρουργικού σχεδιασμού σε άτομα με ανοχή  
στα φάρμακα

# ΦΑΡΜΑΚΟΛΟΓΙΑ & ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

# ΚΑΚΩΣΕΙΣ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ & ΨΔ

- Πρόβλεψη αποτελεσμάτων της νόσου
- Πρόβλεψη αποτελεσμάτων θεραπείας
- Μείωση της ανάγκης για ελέγχους εικονικού φαρμάκου
- Νευρομυοσκελετικά μοντέλα με λεπτομερή κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των εντολών του νευρικοκινητικού συστήματος
- Αποτελέσματα κίνησης υπό διαφορετικές συνθήκες
- Βελτιστοποίηση αποκατάστασης

# ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΠ'Ο.. ΑΠΟΣΤΑΣΗ

- Εξ αποστάσεως θεραπεία
- Ιδιαίτερα στο πλαίσιο κάποιας πανδημίας (πχ COVID-19)
- Απομακρυσμένη θεραπεία με VR & ρομποτ
- Μείωση χρόνου μετακίνησης σε εξειδικευμένα κέντρα
- Διεθνή θεραπεία
- Άτομα με σοβαρούς περιορισμούς κινητικότητας & ηλικιωμένους
- Απαιτεί: σταθερή συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο, εξοπλισμό, ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, ακρίβεια της συσκευής και ασφάλεια των χρηστών



# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

- 2021: μοντέλο κυκλοφορίας του αίματος που προβλέπει μετεγχειρητική πυλαία υπέρταση
- 2021: μοντέλο οσφυϊκής μοίρας σπονδυλικής στήλης για να προβλέψει τις εμβιομηχανικές ιδιότητες
- 2021: σύστημα για προσομοίωση διαδικασίας εμβολίου για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας
- 2022: τρισδιάστατες εικόνες ακτίνων X για να προσομοίωση σεναρίων επούλωσης των οστών & αξιολόγησης κινδύνου κατάγματος
- 2022: οδικός χάρτης ανοσοποιητικού συστήματος για την επιτάχυνση της βιοϊατρικής έρευνας

# ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΨΔ

- Συνεργασία διάφορων κλάδων όπως η επιστήμη του εγκεφάλου, η ψυχολογία και η εμβιομηχανική
- Ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο
- Ασφαλής επεξεργασία δεδομένων
- Αποτελεσματική συγχώνευση δεδομένων από πολλούς αισθητήρες και συσκευές
- Διασφάλιση ορθής ερμηνευσιμότητας των μοντέλων μηχανικής μάθησης



# ΨΔ & ΗΘΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

- Ηθικά διλήμματα σχετικά με τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων
- Τα ρυθμιστικά πλαίσια θεωρούν την εφαρμογή ΨΔ μη τυποποιημένη, υποβάλλοντας τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης σε αυξημένα πρότυπα νομικής ευθύνης, καθυστερώντας την υιοθέτησή τους
- Ασαφή όρια μεταξύ ψηφιακού & φυσικού πεδίου
- Ερωτήματα σχετικά με την προσωπική ταυτότητα & επιδείνωση υπαρχουσών ανισοτήτων
- Απαιτούνται: ισχυρά πλαίσια διακυβέρνησης για τη ρύθμιση της συλλογής και χρήσης προσωπικών βιολογικών δεδομένων και δεδομένων τρόπου ζωής, διασφαλίζοντας τη δίκαιη και υπεύθυνη χρήση των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη

# SIM<sub>4</sub>LIFE (1/2)

- Προηγμένη υπολογιστική πλατφόρμα, που αναπτύχθηκε από κοινού από την IT'IS και την ZMT Zurich MedTech AG για τεχνικό σχεδιασμό συστημάτων (π.χ. κινητά τηλέφωνα) και βιοϊατρικές προσομοιώσεις (π.χ. διεγέρτες πνευμονογαστρικού νεύρου) πάνω και εντός της πλήρους ανθρώπινης ανατομίας
- Οι μέθοδοι υπολογιστικής προσομοίωσης αποτελούν έναν από τους βασικούς πυλώνες των ερευνητικών δραστηριοτήτων στο IT'IS. Μαζί με το Πανεπιστήμιο του Κάλγκαρι και τη NVIDIA, η IT'IS ήταν η πρώτη που χρησιμοποίησε συμπλέγματα μονάδων επεξεργασίας γραφικών για να ξεπεράσει τα όρια της πολυπλοκότητας του προβλήματος, μια προσέγγιση που είναι πλέον τελευταίας τεχνολογίας.

# SIM<sub>4</sub>LIFE (2/2)

- Τα τελευταία 15 χρόνια, αποκτούνται όλο και περισσότερα έργα για την αντιμετώπιση επιστημονικών ερωτημάτων που απαιτούν μοντελοποίηση διαφόρων φυσικών αλληλεπιδράσεων και διαδικασιών στον ζωντανό ιστό και στην ανθρώπινη φυσιολογία
- Βελτιώνονται συνεχώς οι δυνατότητες των φυσικών και φυσιολογικών λύσεων που χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό των πιο λεπτομερών ανατομικών μοντέλων υπολογιστών ζώων ( ViZoo ) και ανθρώπου, εικονικού πληθυσμού (25+ διαφορετικοί σωματότυποι με 120 ζωτικά ανατομικά χαρακτηριστικά και πάνω από 300 ιστούς και όργανα με ακρίβεια).

# ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΔΙΔΥΜΟΣ (1/2)

SIM<sub>4</sub>LIFE/ MIDA MODEL/  
FDA APPROVED

- Λεπτομερές ανατομικό υπολογιστικό μοντέλο βάση την πολυτροπική απεικόνιση
- Όργανα & ιστοί αναπαρίστανται από τρισδιάστατα, εξαιρετικά λεπτομερή αντικείμενα σχεδιασμού
- Εργαλείο προσομοίωσης νευρωνικής ενεργοποίησης
- Προσωποποιημένα στοιχεία (π.χ. MRI ασθενούς/ προσομοίωση αποτελέσματος παρέμβασης του ασθενή)



# ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΔΙΔΥΜΟΣ (2/2)

- Χρήση σε μελέτες υπολογιστικής μοντελοποίησης που περιλαμβάνουν αναπαραστάσεις ανθρώπινης ανατομίας, όπως ηλεκτρομαγνητικές, θερμικές, ακουστικές, μηχανικές και υπολογιστικές προσομοιώσεις
- Υπολογιστικές προσομοιώσεις ιατρικών συσκευών μέσα, πάνω ή κοντά στο κεφάλι, όπως εφαρμογές διακρανιακής διέγερσης με εναλλασσόμενο ρεύμα
- Προτείνεται ως εργαλείο για τη διερεύνηση ασφάλειας και αποτελεσματικότητας της νευροδιέγερσης, όπως συσκευές βαθιάς εγκεφαλικής διέγερσης, κοχλιακά εμφυτεύματα

# SIM<sub>4</sub>LIFE PLATFORM

- [SIM<sub>4</sub>LIFE VIDEO](#)



# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ.. (1/3)

- Εκτεταμένες δυνατότητες για επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη σε διάφορους τομείς, όπως των εικονικών οργάνων, της γονιδιωματικής ιατρικής, των εξατομικευμένων πληροφοριών υγείας και της προσαρμογής της φαρμακευτικής αγωγής
- Περίπλοκες προσομοιώσεις για διαγνωστικούς σκοπούς, σχεδιασμό θεραπείας και κατανόηση του αντίκτυπου των συνθηκών στη λειτουργία των οργάνων
- Εξατομικευμένες παρεμβάσεις με βάση σε γενετικούς δείκτες, παρέχοντας προηγμένες γνώσεις σχετικά με τη γενετική σύνθεση ενός ατόμου

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ.. (2/3)

- Συγκέντρωση & ανάλυση συνόλων δεδομένων για την υγεία ενός ατόμου ώστε να προσφέρουν προσαρμοσμένες συστάσεις για προληπτική φροντίδα και αλλαγές στον τρόπο ζωής
- Προσαρμογή φαρμάκων με βάση τη μοναδική φυσιολογία ενός ατόμου, βελτιστοποιώντας τη δοσολογία και ελαχιστοποιώντας τις παρενέργειες
- Έγκαιρη ανίχνευση νόσου σαρώνοντας ολόκληρο το σώμα
- Δυνατότητα απομακρυσμένης αποκατάστασης



# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ.. (3/3)

- Αξιοποίηση μητρώων ασθενών & των τεχνικών πρόβλεψης
- Εξατομικευμένη φροντίδα & βελτιωμένος σχεδιασμός κλινικών δοκιμών
- Ωστόσο: Ζητήματα απορρήτου & ασφάλειας δεδομένων, ζητήματα δια-λειτουργικότητας, ηθικά, πολυπλοκότητας των συστημάτων & περιορισμού πόρων
- Η υπέρβαση αυτών των προκλήσεων είναι απαραίτητη για την απελευθέρωση του μετασχηματιστικού δυναμικού των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη

# Βιβλιογραφία

1. Abdollahi H, Saboury B, Soltani M, Shi K, Uribe C, Rahmim A. Radiopharmaceutical therapy on-a-chip: a perspective on microfluidic-driven digital twins towards personalized cancer therapies. *Sci Bull (Beijing)*. 2023 Sep 30;68(18):1983-1988. doi: 10.1016/j.scib.2023.08.009. Epub 2023 Aug 4. PMID: 37573246.
2. Abeltino A, Bianchetti G, Serantoni C, Riente A, De Spirito M, Maulucci G. Putting the Personalized Metabolic Avatar into Production: A Comparison between Deep-Learning and Statistical Models for Weight Prediction. *Nutrients*. 2023 Feb 27;15(5):1199. doi: 10.3390/nu15051199. PMID: 36904199; PMCID: PMC10004838.
3. Cellina M, Cè M, Alì M, Irmici G, Ibba S, Caloro E, Fazzini D, Oliva G, Papa S. Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine? *Applied Sciences*. 2023; 13(13):7940. <https://doi.org/10.3390/app13137940>
4. Chang HC, Gitau AM, Kothapalli S, Welch DR, Sardu ME, McCoy MD. Understanding the need for digital twins' data in patient advocacy and forecasting oncology. *Front Artif Intell*. 2023 Nov 10;6:1260361. doi: 10.3389/frai.2023.1260361. PMID: 38028666; PMCID: PMC10667907.
5. Sheng B, Wang Z, Qiao Y, Xie SQ, Tao J, Duan C. Detecting latent topics and trends of digital twins in healthcare: A structural topic model-based systematic review. *Digit Health*. 2023 Oct 12;9:20552076231203672. doi: 10.1177/20552076231203672. PMID: 37846404; PMCID: PMC10576938.
6. Spitzer M, Dattner I, Zilcha-Mano S. Digital twins and the future of precision mental health. *Front Psychiatry*. 2023 Mar 13;14:1082598. doi: 10.3389/fpsy.2023.1082598. PMID: 36993921; PMCID: PMC10040602.
7. Yang PC, Jeng MT, Yarov-Yarovoy V, Santana LF, Vorobyov I, Clancy CE. Toward Digital Twin Technology for Precision Pharmacology. *JACC Clin Electrophysiol*. 2024 Feb;10(2):359-364. doi: 10.1016/j.jacep.2023.10.024. Epub 2023 Dec 6. PMID: 38069976.
8. Yankeelov TE, Hormuth DA 2nd, Lima EABF, Lorenzo G, Wu C, Okereke LC, Rauch GM, Venkatesan AM, Chung C. Designing clinical trials for patients who are not average. *iScience*. 2023 Nov 29;27(1):108589. doi: 10.1016/j.isci.2023.108589. PMID: 38169893; PMCID: PMC10758956
9. Peshkova M, Yumasheva V, Rudenko E, Kretova N, Timashev P, Demura T. Digital twin concept: Healthcare, education, research. *J Pathol Inform*. 2023 Apr 16;14:100313. doi: 10.1016/j.jpi.2023.100313. PMID: 37168801; PMCID: PMC10165159.
10. Pizzolato C, Gunduz MA, Palipana D, Wu J, Grant G, Hall S, Dennison R, Zafonte RD, Lloyd DG, Teng YD. Non-invasive approaches to functional recovery after spinal cord injury: Therapeutic targets and multimodal device interventions. *Exp Neurol*. 2021 May;339:113612. doi: 10.1016/j.expneurol.2021.113612. Epub 2021 Jan 14. PMID: 33453213.



Σας ευχαριστώ!