



Η Καθοριστική Συμβολή της Χημείας στην Ιατρική Ακριβείας: Από τη Μοριακή Ανάλυση στις Εξατομικευμένες Θεραπείες Καινοτομίες, Εφαρμογές και Μελλοντικές Προοπτικές

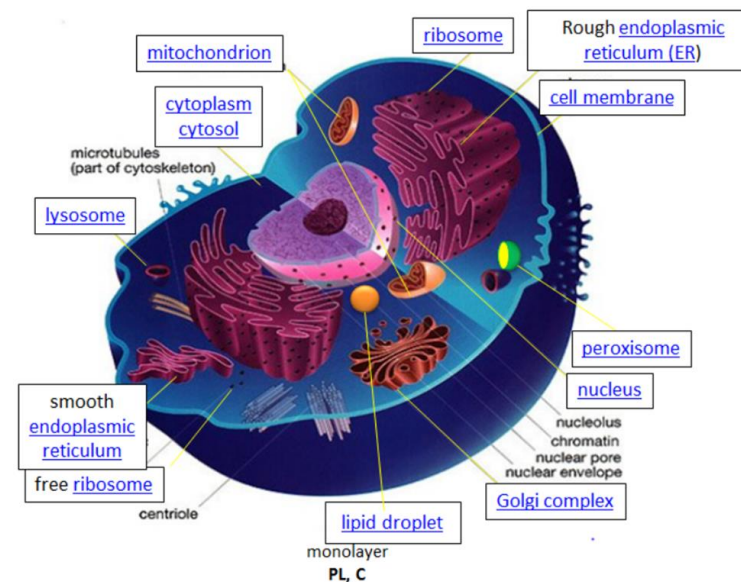
Αντιγόνη Σουρλά MD. PhD
Παθολογοανατόμος
Διευθύντρια Παθολογοανατομικού Εργαστηρίου Ομίλου Βιοιατρικής

Η Χημεία ως Βασικός Άξονας στην Κατανόηση της Δομής και Λειτουργίας του Κυττάρου και του Ανθρώπινου Οργανισμού

- Η Χημεία είναι η βάση της ζωής και διαμορφώνει τη θεμελιώδη κατανόησή μας για τη βιολογία.
- Κάθε βιολογική διεργασία που λαμβάνει χώρα στο κύτταρο είναι αποτέλεσμα **χημικών αντιδράσεων και μοριακών αλληλεπιδράσεων**.

1. Χημεία και Δομή του Κυττάρου

- DNA και το RNA
- φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες, δομικά και λειτουργικά στοιχεία των κυττάρων, σχηματίζουν δομές μέσω υδρογονικών δεσμών, υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων και ιοντικών δεσμών.
- Υδατάνθρακες , ιόντα , ιχνοστοιχεία



Element	Symbol	Percentage in Body	At a Look
Oxygen	O	65.0	
Carbon	C	18.5	
Hydrogen	H	9.5	
Nitrogen	N	3.2	
Calcium	Ca	1.5	
Phosphorus	P	1.0	
Potassium	K	0.4	
Sulfur	S	0.3	
Sodium	Na	0.2	
Chlorine	Cl	0.2	
Magnesium	Mg	0.1	
Trace elements include boron (B), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), fluorine (F), iodine (I), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), selenium (Se), silicon (Si), tin (Sn), vanadium (V), and zinc (Zn)		less than 1.0	

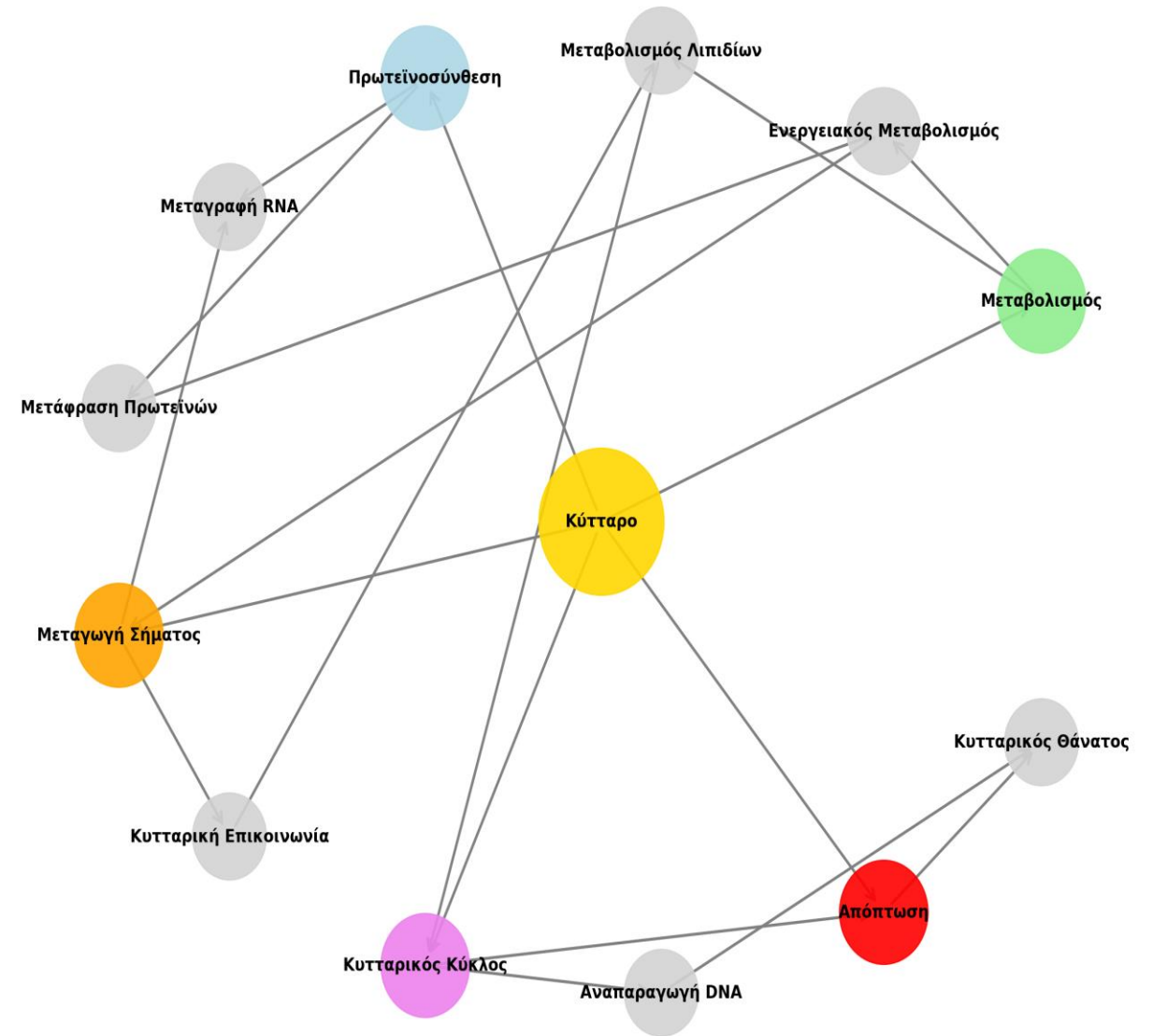
2. Γενετική Πληροφορία

3. Κυτταρική Διαίρεση-Απόπτωση

Κυτταρική Ρύθμιση-Θάνατος

4. Χημικές Διαδικασίες στη Λειτουργία του Ανθρώπινου Οργανισμού

- **Μιτοχόνδρια και Παραγωγή Ενέργειας**, κυτταρική αναπνοή, οξειδοαναγωγική ισορροπία, μεταβολισμός, κύκλος του Krebs και η φωσφορυλίωση του ATP
- **Αντιγονικές αλληλεπιδράσεις, Ανοσολογική απόκριση**
- **5. Χημική Σηματοδότηση και Κυτταρική Επικοινωνία**
- **Ορμονική Ρύθμιση και Βιοχημική Ισορροπία** (ορμόνες, όπως η ινσουλίνη και η αδρεναλίνη, υποδοχείς μεμβράνης ανιχνεύουν ορμόνες και ενεργοποιούν σηματοδοτικές οδούς)
- **Νευροδιαβιβαστές και Νευρωνική Μετάδοση** (λειτουργία του εγκεφάλου και τη συμπεριφορά /ντοπαμίνη, η σεροτονίνη και η ακετυλοχολίνη)
- **6. Βιοχημικές Διαδικασίες**
- Οξείδωση και Αντιοξειδωτική Άμυνα (ελεύθερες ρίζες, αντιοξειδωτικές ουσίες π.χ. βιταμίνη C, γλουταθειόνη)



ΧΗΜΕΙΑ-ΜΟΡΙΑΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ-ΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ολιστική Ανάλυση των μορίων και των λειτουργιών των κυττάρων των ζωντανών οργανισμών

ΓΕΝΩΜΙΚΗ (Genomics): Γονιδιακές υπογραφές –Στοχεύσιμες μεταλλάξεις

ΜΕΤΑΓΡΑΦΩΜΙΚΗ (Metagraphomics): Μελέτη γονιδιακής έκφρασης

ΠΡΩΤΕΩΜΙΚΗ (Proteomics): Ανίχνευση και ποσοτικοποίηση χιλιάδων πρωτεϊνών σε ένα βιολογικό δείγμα

ΜΕΤΑΒΟΛΟΜΙΚΗ (Metabolomics): - Ανίχνευση μικρών μορίων (μεταβολιτών) σε βιολογικά υγρά που παίζουν κεντρικό ρόλο σε κακοήθη νοσήματα, διαβήτη, νευροεκφυλιστικά και καρδιαγγειακά νοσήματα- Μεταβολικές υπογραφές

ΜΕΤΑΓΕΝΟΜΙΚΗ (Metagenomics): Ανάλυση μικροοργανισμών που βρίσκονται στο ανθρώπινο σώμα, μέσω αλληλούχισης DNA και RNA. Παρέχει πληροφορίες για το μικροβίωμα και τη συμβολή του σε διάφορες ασθένειες.

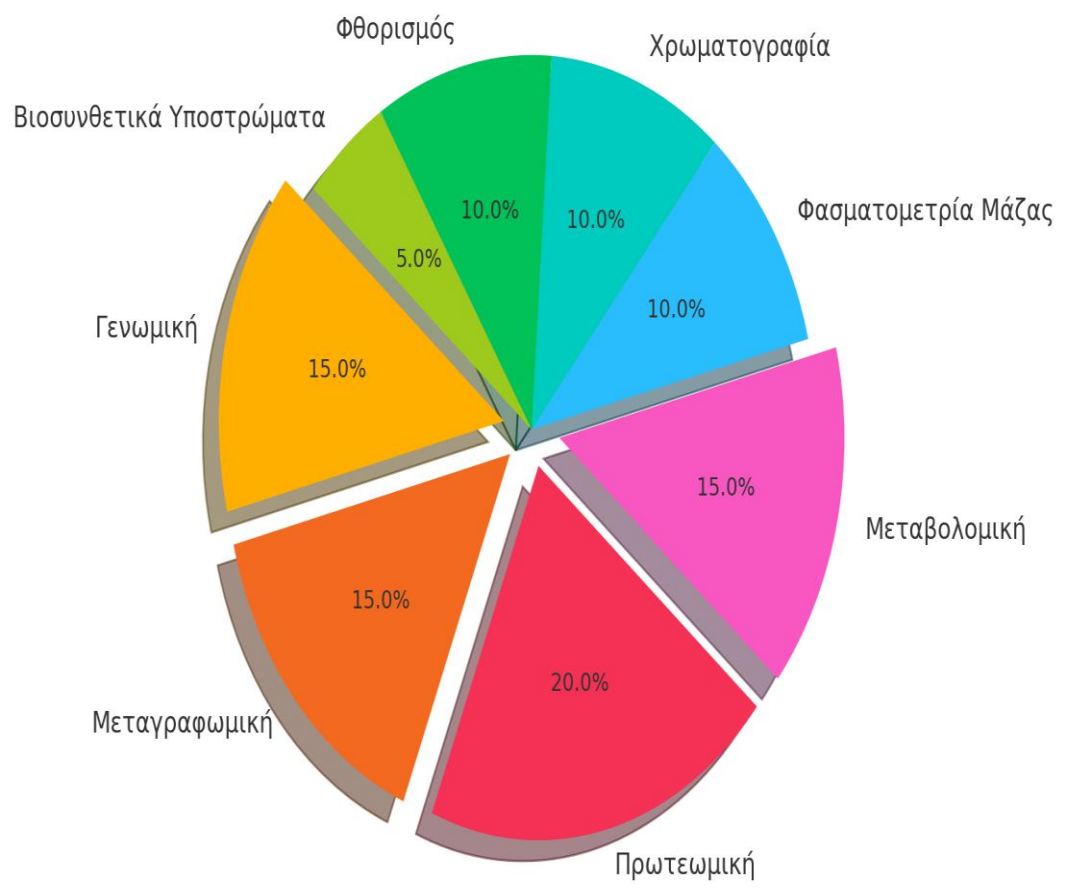
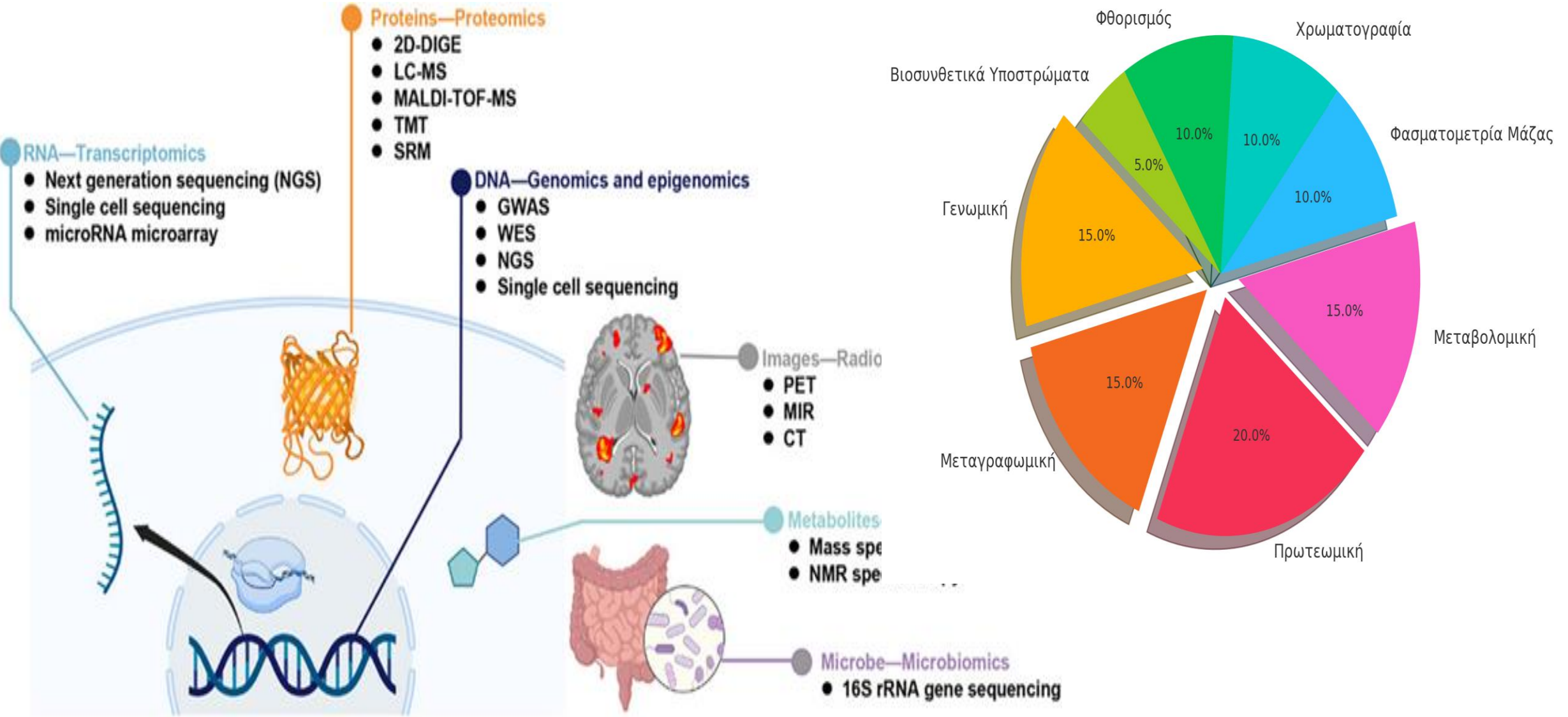
ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ (Microbiomics): Μελέτη του συνόλου των μικροοργανισμών που ζουν στο ανθρώπινο σώμα και παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη θεραπειών.

ΦΑΡΜΑΚΟΓΟΝΙΔΙΩΜΑΤΙΚΗΣ (Pharmacogenomics): Ανάλυση του γενετικού προφίλ ασθενών για την πρόβλεψη της ανταπόκρισης τους σε φαρμακευτικές θεραπείες.

INTERACTOMICS/Αλληλεπιδρωμική Βιολογία: Μελέτη των μοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων και μεταβολιτών.



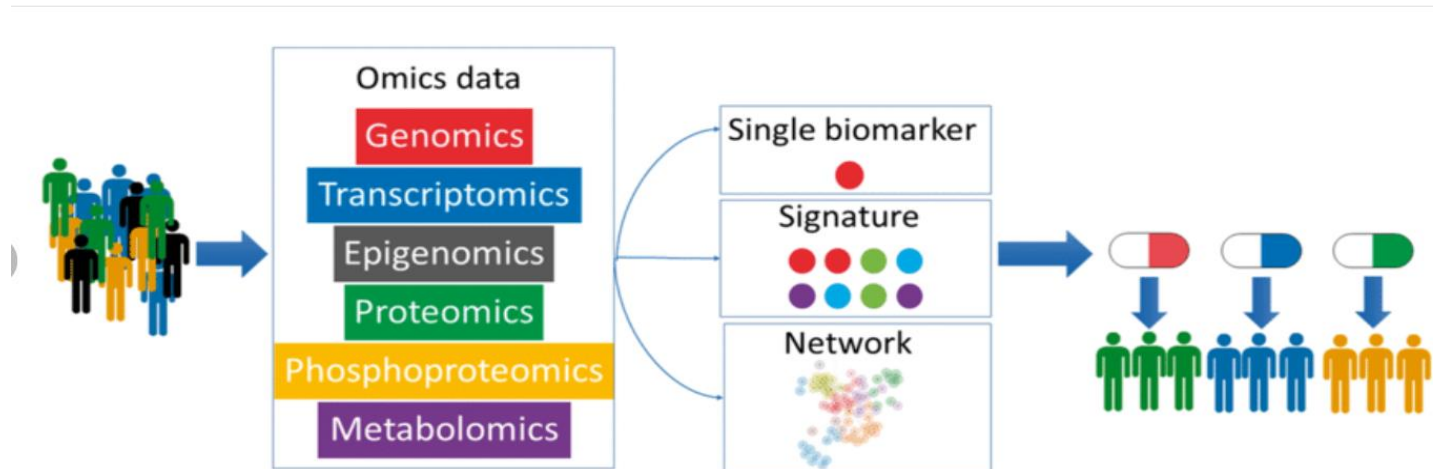
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΟΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΟΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



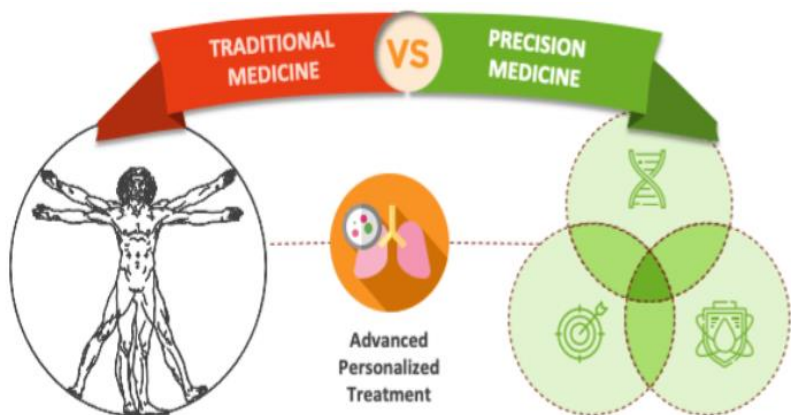
ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Ιατρική Διάγνωση και Θεραπεία

- Η **Ιατρική Ακρίβειας (Precision Medicine)** είναι μια καινοτόμος προσέγγιση στην υγειονομική περίθαλψη που στοχεύει στην εξατομίκευση της διάγνωσης και της θεραπείας.



- **Εξατομικευμένη ιατρική** : Εξατομικευμένες θεραπείες οι οποίες απευθύνονται σε κάθε ασθενή λαμβάνοντας υπόψιν το γενετικό υπόβαθρο, περιβαλλοντικούς παράγοντες και τρόπο ζωής.



- ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ–ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΧΡΟΝΟ
- ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
- ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Βιοδείκτες

Οι βιοδείκτες είναι **μετρήσιμες βιολογικές παράμετροι-μόρια** που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση, πρόγνωση, παρακολούθηση και θεραπεία ασθενειών, βελτιστοποιώντας το κλινικό αποτέλεσμα

☐ Περιλαμβάνουν:

- **Γενετικούς δείκτες (DNA, RNA)**
- **Πρωτεϊνικούς δείκτες (αντισώματα, ένζυμα)**
- **Μεταβολίτες (λιπίδια, αμινοξέα, οργανικά οξέα, νουκλεοτίδια)**

☐ Η Χημεία έχει κυρίαρχο ρόλο στη **βελτίωση της ακρίβειας και ευαισθησίας** των βιοδεικτών μέσω:

- Ανάπτυξη καινοτόμων διαγνωστικών μεθόδων
- Χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό βιοδεικτών
- Σύνθεση νέων φαρμάκων με στοχευμένη δράση



- **Διαγνωστικά εργαλεία υψηλής ευαισθησίας και ειδικότητας**
 - **Αναπαραγωγιμότητα και αξιοπιστία**
- **Γρήγορη και ακριβής ανάλυση σύνθετων βιολογικών δειγμάτων**
- **Δυνατότητα ταυτόχρονης ανάλυσης μεγάλου αριθμού μεταβολιτών (profiling)**

Η Χημεία έχει συμβάλει στη **βελτίωση της ακρίβειας και ευαισθησίας**
των βιοδεικτών
Διάσημοι Χημικοί και οι Συνεισφορές τους στην Ιατρική
Ακρίβειας

Επιστήμονας	Συνεισφορά	Τεχνολογία/Προσέγγιση
Jennifer Doudna & Emmanuelle Charpentier	Γονιδιακή επεξεργασία	Ανάπτυξη CRISPR-Cas9
Kary Mullis	Μοριακή διάγνωση	Ανάπτυξη PCR
Paul Lauterbur & Peter Mansfield	Ιατρική απεικόνιση	Ανάπτυξη MRI
Frances Arnold	Βιομηχανική Χημεία	Κατευθυνόμενη Εξέλιξη Ενζύμων
Daniele Castagnolo	Συνθετική Χημεία	Ανάπτυξη αντιβακτηριακών φαρμάκων

Πηγές: *Health and Medicine - Challenges for the Chemical Science in the 21st Century.*

Βιοδείκτες και Διάγνωση

- Πρώιμη διάγνωση-παρακολούθηση κακοήθων νεοπλασμάτων

- Αλλαγές στον μεταβολισμό λιπιδίων (Manaprasertsak, 2025) –Μεταβολικά προφίλ**

- ✓ Χολίνη και φωσφοχολίνη: καρκίνωμα μαστού, προστάτη και εγκεφάλου (Glunde et al., 2015).

- ✓ Κυκλοφορούντα αμινοξέα (π.χ. προλίνη, σερίνη): Η αλλαγή στα επίπεδα αμινοξέων στο αίμα αποτελεί έναν πρώιμο βιοδείκτη για καρκίνο των ωοθηκών και των πνευμόνων (Wishart et al., 2016).

- ✓ Γαλακτικό οξύ και μεταβολίτες γλυκόλυσης: Αυξημένα επίπεδα γαλακτικού οξέος, (Warburg effect), (Pavlova & Thompson, 2016).

- Χημικά τροποποιημένα RNA μόρια microRNAs (miRNAs), long non-coding RNAs (lncRNAs) και ειδικά χημικά τροποποιημένα nucleosides (π.χ. m6A, ψ-ψευδουριδίνη) (καρκίνος πνεύμονα, προστάτη, ωοθηκών)**

- Εξωκυτταρικά κυστίδια (μικροκυστίδια /microvesicles) και εξωσώματα /exosomes) (πνεύμονα, παχέος εντέρου, μαστός, προστάτης)**

ΔΙΑΓΝΩΣΗ

Καινοτόμες διαγνωστικές μέθοδοι

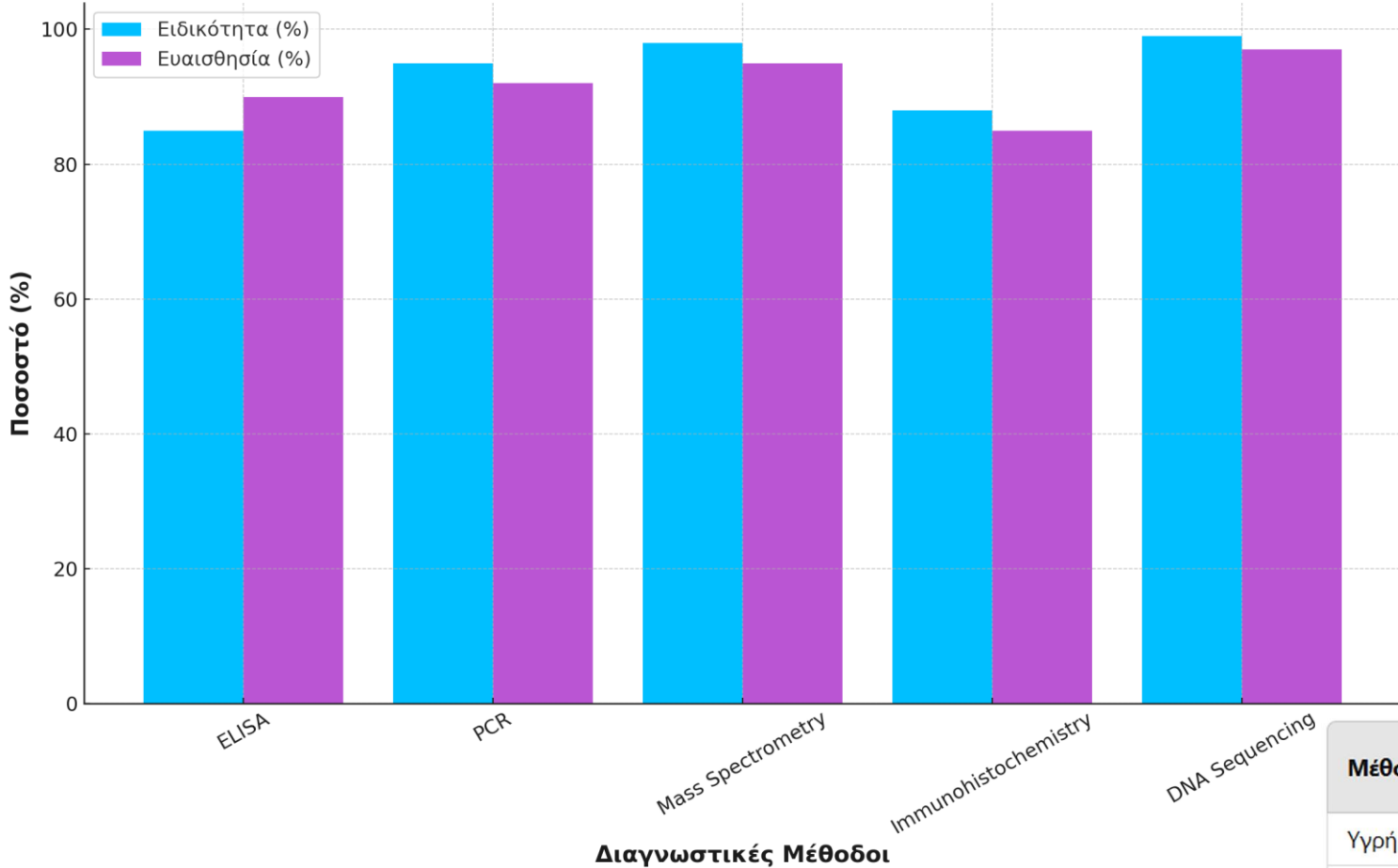
□ Βιοχημικές Αναλύσεις και Μοριακές Μέθοδοι

- Χρωματογραφία (GC, HPLC) για διαχωρισμό και ανίχνευση με Φασματομετρία μαζών (MSMS, TOF, MALDI) για τον εντοπισμό μεταβολιτών, πεπτιδίων και βιοδεικτών.
- PCR και RT-qPCR για ανίχνευση γενετικών μεταλλάξεων και ιικών λοιμώξεων (Yu et al., 2025).
- Βιοαισθητήρες & μικρορευστονικές διατάξεις (Lab-on-a-Chip) για την ταχεία και ακριβή διάγνωση (Dudzic et al., 2025).

□ Νανοτεχνολογία

- Νανოსωματίδια άνθρακα & μεταλλικών οξειδίων
- Βιοαισθητήρες υψηλής ευαισθησίας (Zeinalipour-Yazdi et al., 2025)
- Μικρορομπότ με μαγνητικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για ανίχνευση καρκινικών κυττάρων και βιοδεικτών (Zhang et al., 2025).

Σύγκριση Ειδικότητας και Ευαισθησίας Διαγνωστικών Μεθόδων στην Ιατρική Ακριβείας



Μέθοδος	Χρήση	Ευαισθησία (%)	Ειδικότητα (%)
Υγρή Βιοψία	Ανίχνευση DNA όγκου στο αίμα	95	92
Φασματομετρία Μάζας	Ανάλυση μεταβολιτών και πρωτεϊνών	98	94
NMR	Ανίχνευση βιοδεικτών στον ορό αίματος	93	90

Diamandis, E.P. (2004). *Clinical Chemistry*, 50(8), 1423-1435.

Brennan, D. J. et al. (2010). *Nature Reviews Cancer*, 10(9), 605-617.

Geyer, P. E. et al. (2017). *Molecular Systems Biology*, 13(9), 942.


Srinivas, P. R. et al. (2001). *The Lancet Oncology*, 2(11), 698-704.

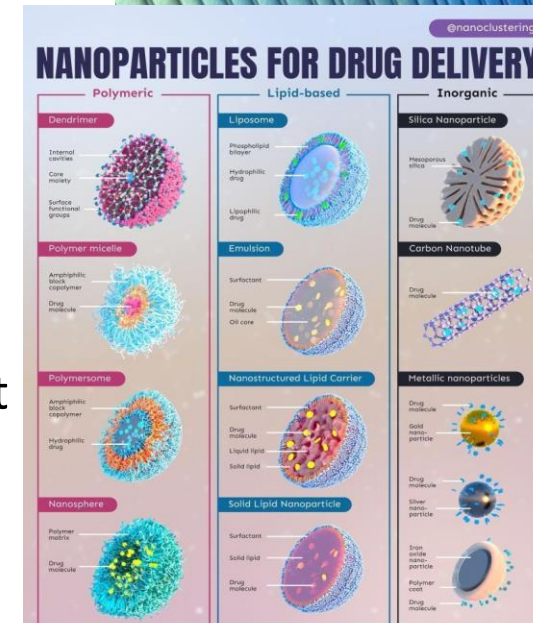
ΘΕΡΑΠΕΙΑ

Καινοτόμα φαρμακευτικά συστήματα

- **Φαρμακογονιδιωματική:** εξατομικευμένη χορήγηση φαρμάκων βάσει γενετικών και μοριακών χαρακτηριστικών αλλά και το μεταβολικό προφίλ των ασθενών:
 - **Αναστολείς τυροσινικών κινασών (TKIs)**, όπως το Imatinib, χρησιμοποιούνται σε αιματολογικές κακοήθειες.
 - **Μονοκλωνικά αντισώματα** (π.χ. Trastuzumab για HER2 καρκίνους).
 - **Γονιδιακή επεξεργασία με CRISPR-Cas9**, επαναστατική τεχνολογία στην ογκολογία, γονιδιακή θεραπεία (Weerarathna et al., 2025).

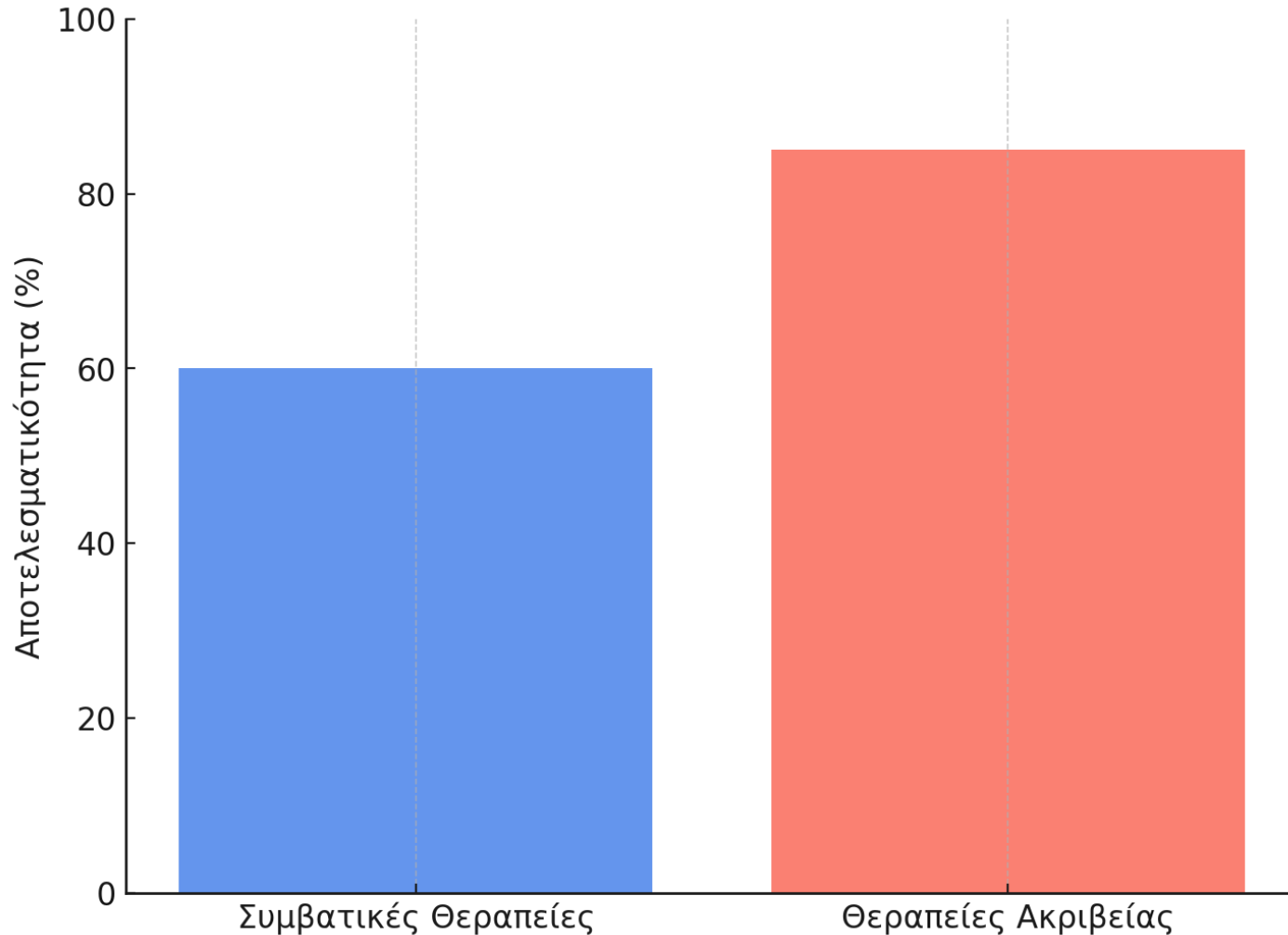
□ Νανοφαρμακευτική και Ελεγχόμενη Χορήγηση Φαρμάκων

- **Λιποσώματα & πολυμερή νανοσωματίδια** για στοχευμένη μεταφορά αντικαρκινικών φαρμάκων (Dhankhar et al., 2025).
- **Μαγνητικά νανοσωματίδια** για εξατομικευμένη αντικαρκινική θεραπεία (Abaidullah et al., 2025) .



ΘΕΡΑΠΕΙΑ

Σύγκριση αποτελεσματικότητας συμβατικών θεραπειών και θεραπειών ακριβείας

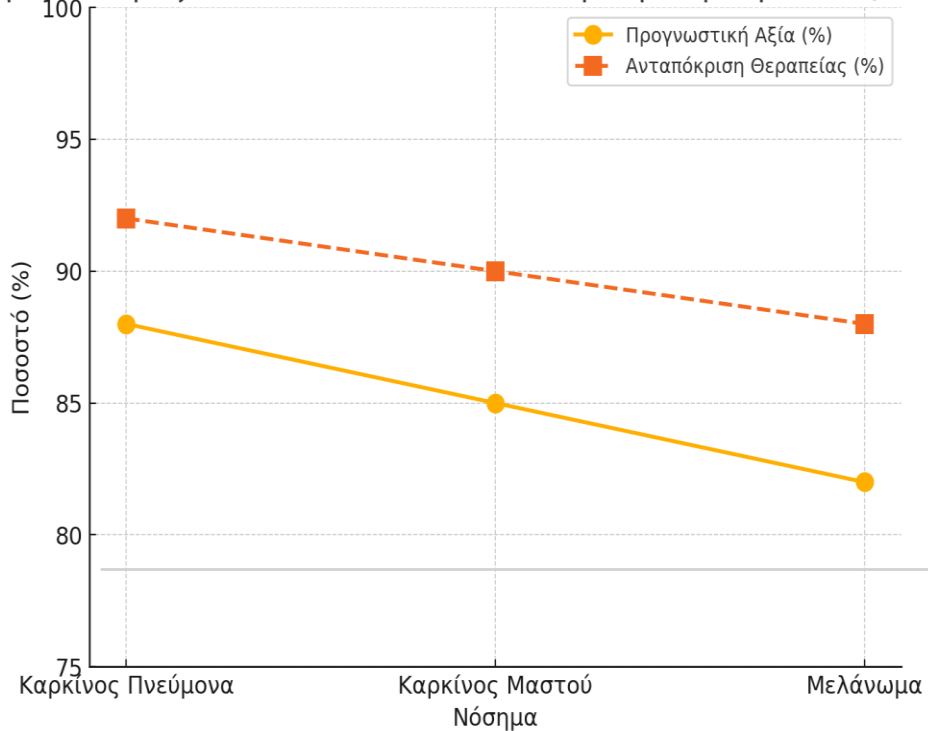


- Dugger et al. (2023). Precision Oncology: Nature Reviews Clinical Oncology, 20(1), 45-62.
- Lee et al. (2024). Journal of Precision Medicine, 12(3), 210-219.
- Garcia et al. (2022). Nature Medicine, 28(8), 1523-1531.
- Smith et al. (2025).. Chemical Reviews, 125(2), 897-932.
- Johnson et al. (2024). Analytical Chemistry, 96(15), 6055-6067

Στατιστική συσχέτιση βιοδεικτών με πρόγνωση και θεραπευτική απόκριση (2022-2025)

Ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ παρουσίας βιοδεικτών και καλύτερης πρόγνωσης/απόκρισης

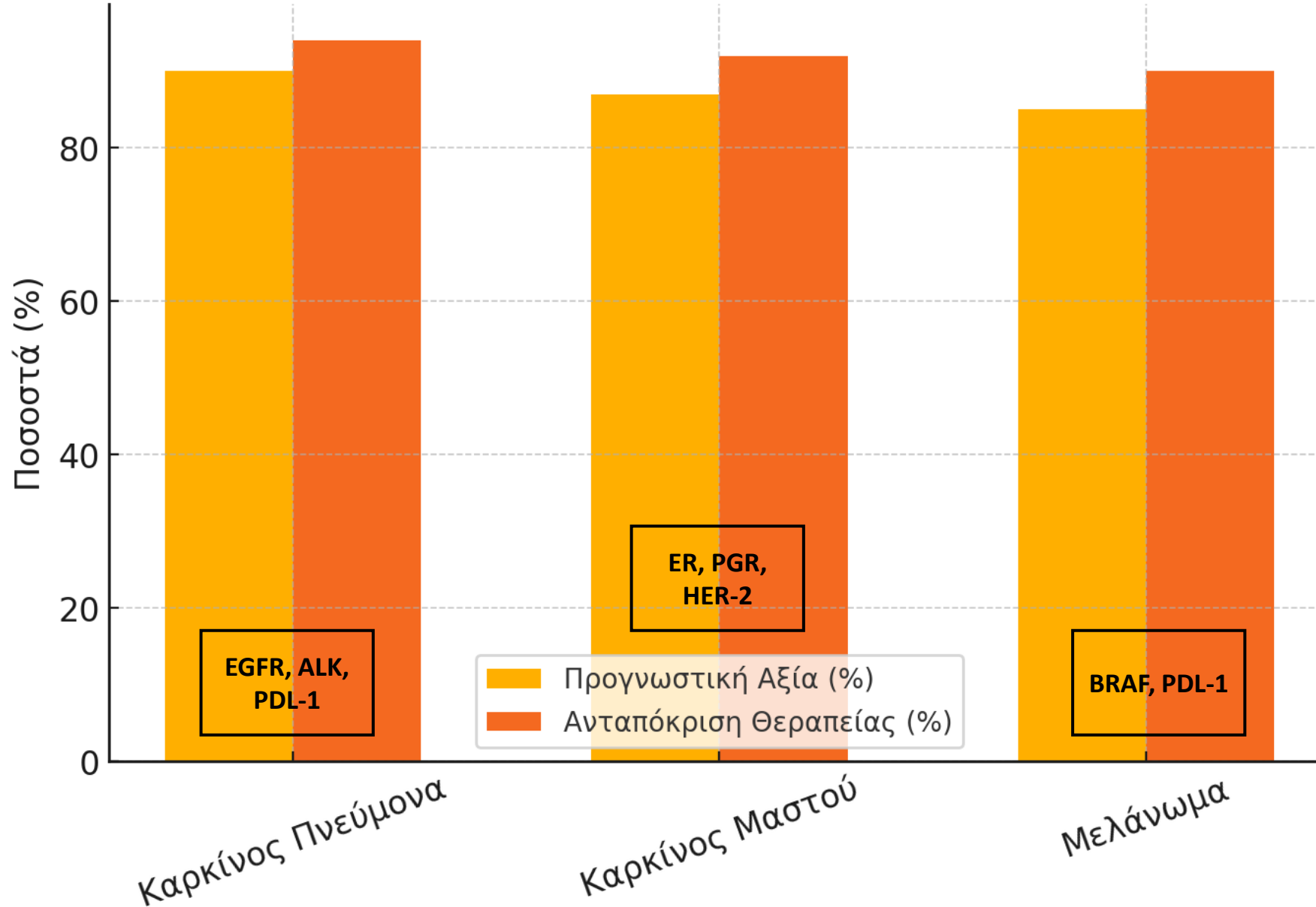
Προγνωστική Αξία Βιοδεικτών και Ανταπόκριση στη Θεραπεία (2022-2025)



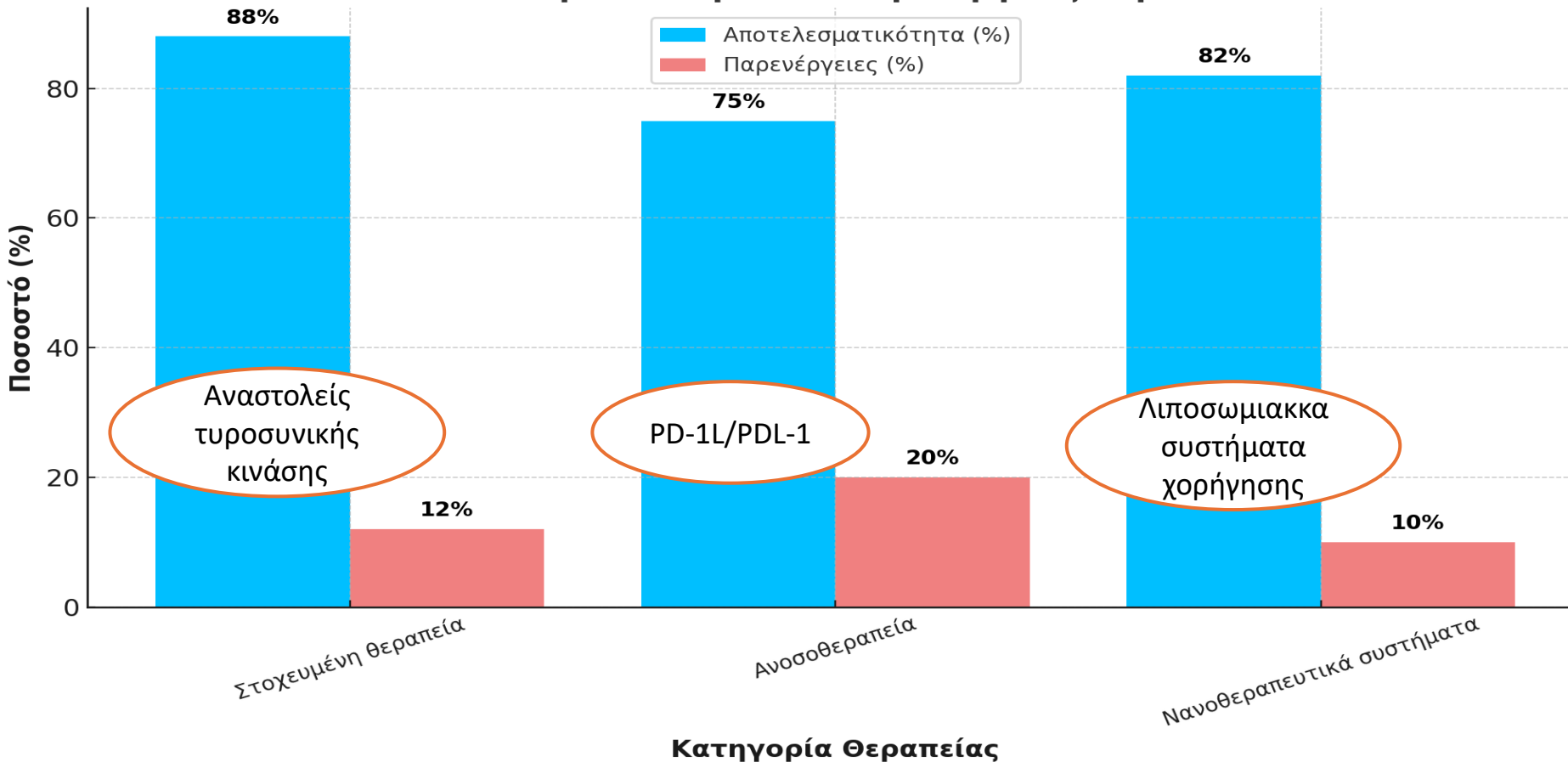
Καρκίνος	Βιοδείκτης	Συσχέτιση με Πρόγνωση (%)	Ανταπόκριση Θεραπείας (%)
Πνεύμονα	EGFR, ALK	85	90
Μαστού	HER2, ER, PR	80	85
Παχέος Εντέρου	KRAS, MSI	78	88

Huang et al. (2023). Nature Chemical Biology, 19(2), 145-157.
Muller et al. (2024). Journal of Precision Oncology, 11(1), 78-88.
Patel et al. (2024). Analytical Chemistry, 96(9), 4420-4432.
Brown et al. (2022). Chemical Reviews, 122(11), 9567-9600.
Lopez et al. (2025). Journal of Precision Medicine, 14(1), 101-113.

Σύγκριση Προγνωστικής Αξίας και Ανταπόκρισης Θεραπείας



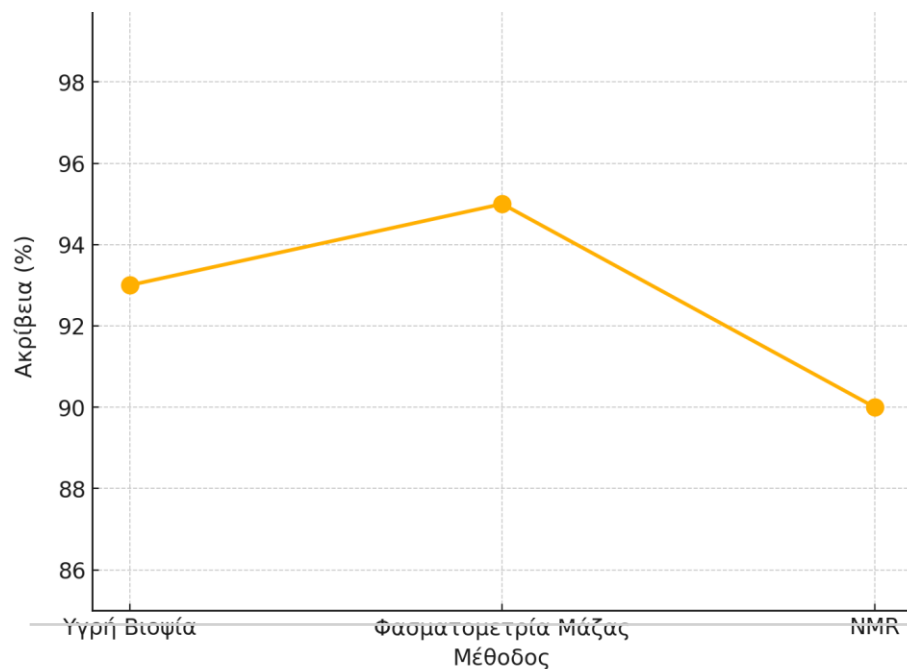
Αποτελεσματικότητα και Παρενέργειες Θεραπειών



Παράμετρος	Συμβατικές Θεραπείες	Στοχευμένες Θεραπείες
Αποτελεσματικότητα (%)	60	85
Ποσοστό Παρενεργειών (%)	35	15
Ειδικότητα δράσης	Χαμηλή	Υψηλή
Κόστος θεραπείας (μέσο)	Μέτριο	Υψηλό

Χημικές Μέθοδοι στην Παρακολούθηση της Ανταπόκρισης

Η Χημεία συμβάλλει ουσιαστικά στην παρακολούθηση και αξιολόγηση της ανταπόκρισης στις θεραπείες.



Μέθοδος	Εφαρμογή	Ακρίβεια Παρακολούθησης (%)
Υγρή Βιοψία	Παρακολούθηση μεταλλάξεων στο DNA όγκου	93
Φασματομετρία Μάζας	Ανάλυση πρωτεϊνικών δεικτών	95
NMR Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός	Παρακολούθηση μεταβολικών αλλαγών	90

ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ: ΚΑΘΡΕΦΤΗΣ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

Χημεία

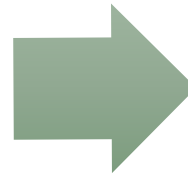
Αναλυτικές τεχνικές υψηλής ευαισθησίας
Ανοσοϊστοχημεία (IHC)-FISH/CISH-PCR
ER, PGR, P53, Ki-67, MMR, BRAF, HER-2, KRAS,
HPV

Ιστός



ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗ

Ιστομορφολογία
Εκτίμηση έκφρασης βιοδεικτών
Εξασφάλιση ποιότητας και επάρκειας
ιστικών δειγμάτων

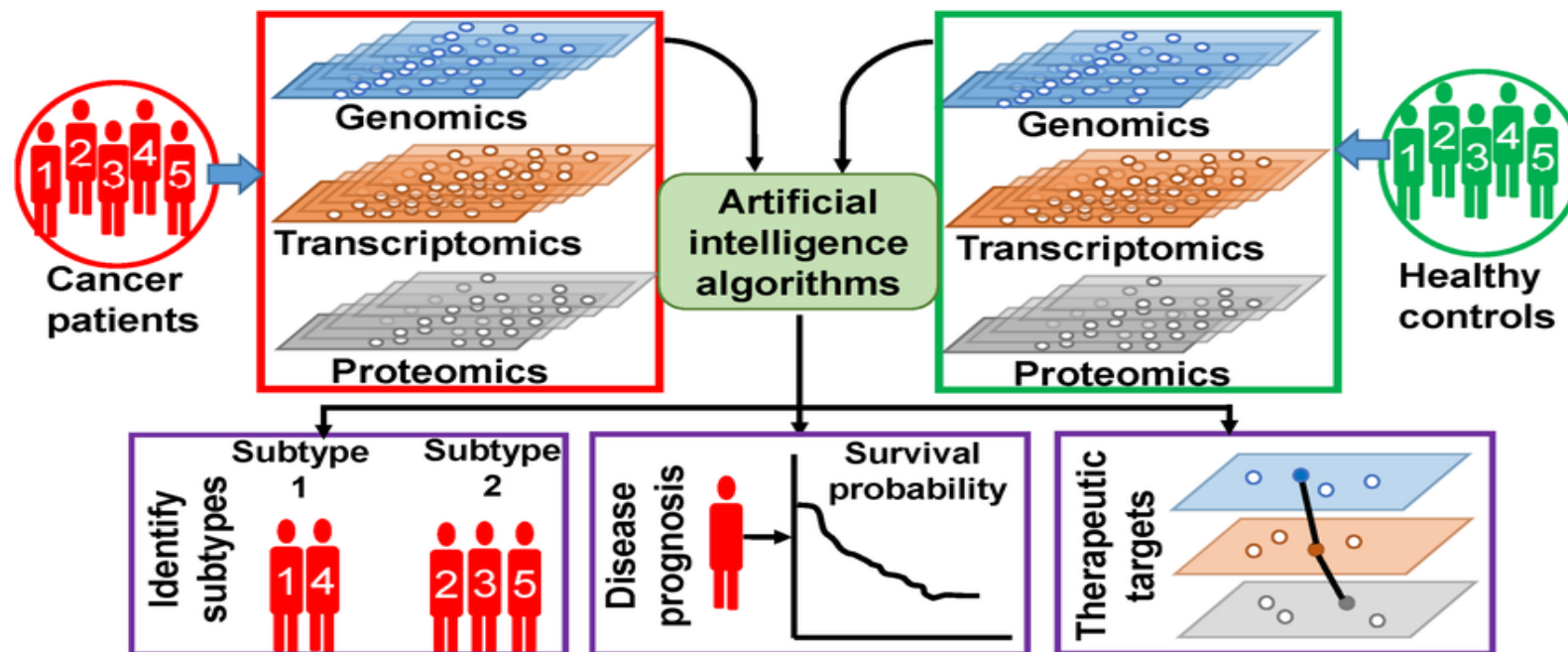


Εξατομικευμένη Θεραπεία και Ιατρική Ακρίβειας

Trastuzumab (Herceptin) για HER2-
θετικό καρκίνο μαστού
EGFR-TKIs (Gefitinib, Erlotinib) για
καρκίνο πνεύμονα με EGFR
μετάλλαξη
BRAF αναστολείς (Vemurafenib)
για μελάνωμα με μετάλλαξη BRAF
V600E

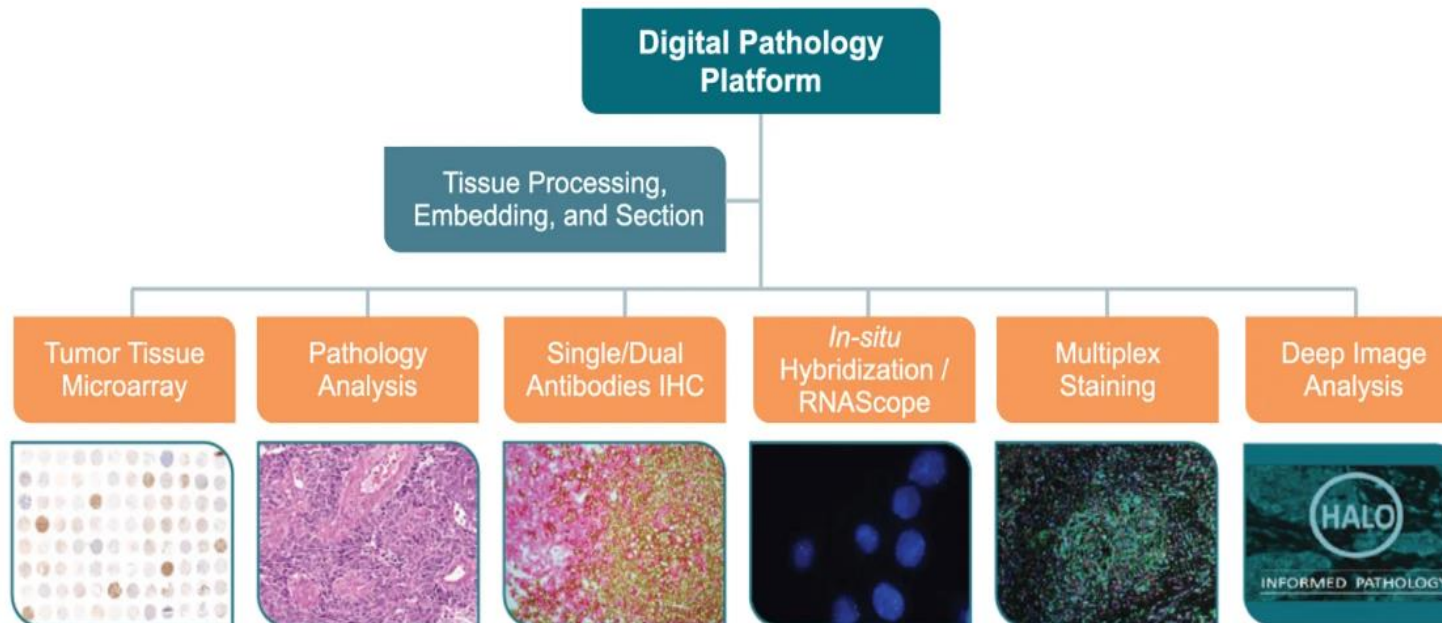
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

- Η χημεία είναι το **θεμέλιο** της Ιατρικής Ακρίβειας και **παίζει καθοριστικό ρόλο** προσφέροντας καινοτόμες λύσεις για καλύτερη διάγνωση και θεραπεία ασθενειών.
- **Τεχνητή Νοημοσύνη & Βιοπληροφορική στη Χημική Ανάλυση**
- AI για διάγνωση μέσω ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (big data).
- Εφαρμογή μηχανικής μάθησης (machine learning) για ανίχνευση μοριακών μοτίβων σε καρκινικούς όγκους (Natarajan et al., 2025)
- Χρήση AI σε μεταβολομικές και πρωτεομικές αναλύσεις (Singh et al., 2025).



➤ Ψηφιακή Παθολογοανατομία

- Η ανάπτυξη ψηφιακών παθολογικών εικόνων και η εφαρμογή **Machine Learning** αλγορίθμων επιτρέπουν αυτοματοποιημένη ανάλυση ιστών και μοριακών δεδομένων.
- **AI-based histopathology** χρησιμοποιείται ήδη για την ταξινόμηση όγκων (αποδοτικότερη και πιο ακριβής διάγνωση)

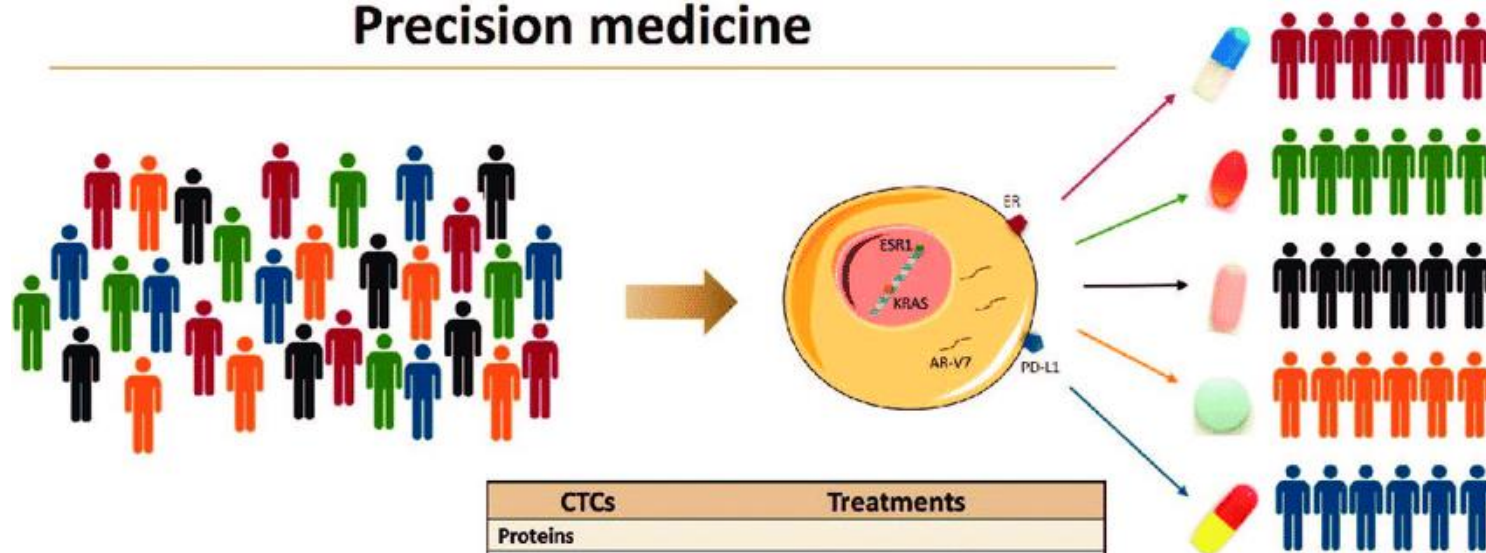


Υγρή Βιοψία και Κυκλοφορούντα Βιομόρια (Liquid Biopsy & ctDNA Analysis)

- Αντί της κλασσικής βιοψίας
- η ανάλυση ελεύθερου κυκλοφορούντος DNA (cfDNA)
- εξωσωματικών κυστιδίων (EVs) στο περιφερικό αίμα
- CTC s

➤ πληροφορίες για την εξέλιξη των κακοήθων όγκων, ανταπόκριση και ανάπτυξης αντίστασης στη θεραπεία, χωρίς επεμβατικές μεθόδους ή όταν ο ιστός δεν είναι διαθέσιμος ή επαρκής

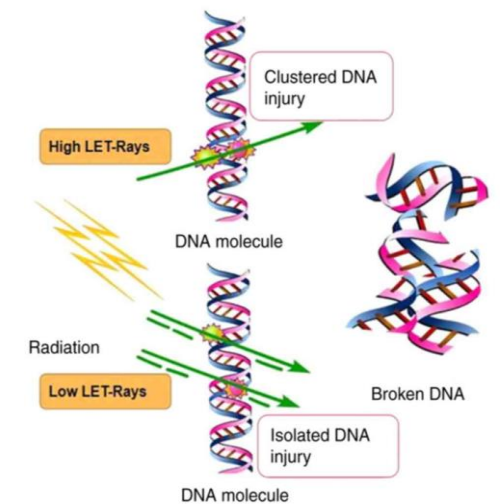
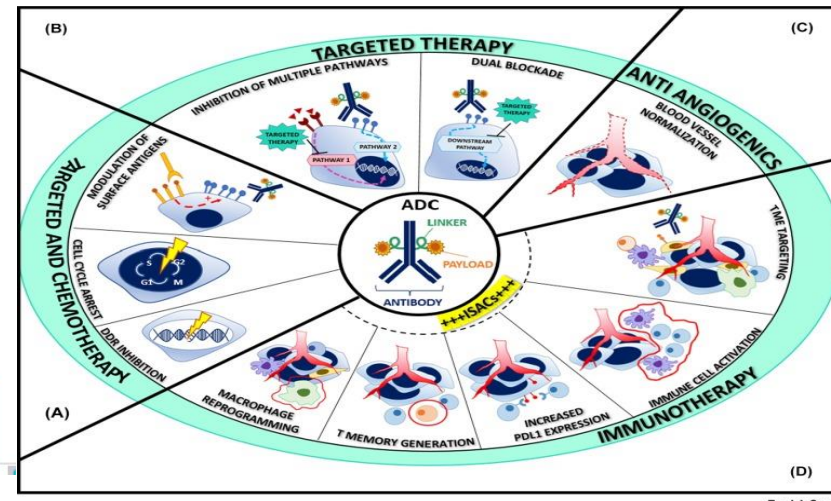
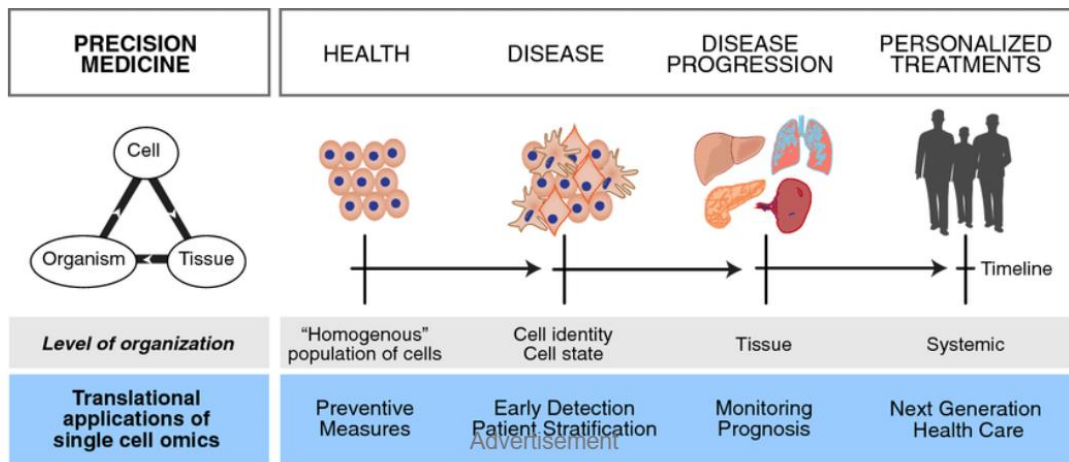
Precision medicine



CTCs	Treatments
Proteins	
ER	Endocrine therapies
Her2-neu	Her2 targeted therapies
PD-L1	Immunotherapies - PD-L1 inhibitors
ARNm	
AR-V7	Resistance to endocrine therapies
DNA mutation	
KRAS	EGFR targeted therapies
BRAF	BRAF targeted therapies
PI3K	PI3K pathway inhibitors Resistance to EGFR therapies
ESR1	Resistance to endocrine therapies
T790M	Third generation of Tyrosine Kinase Inhibitors

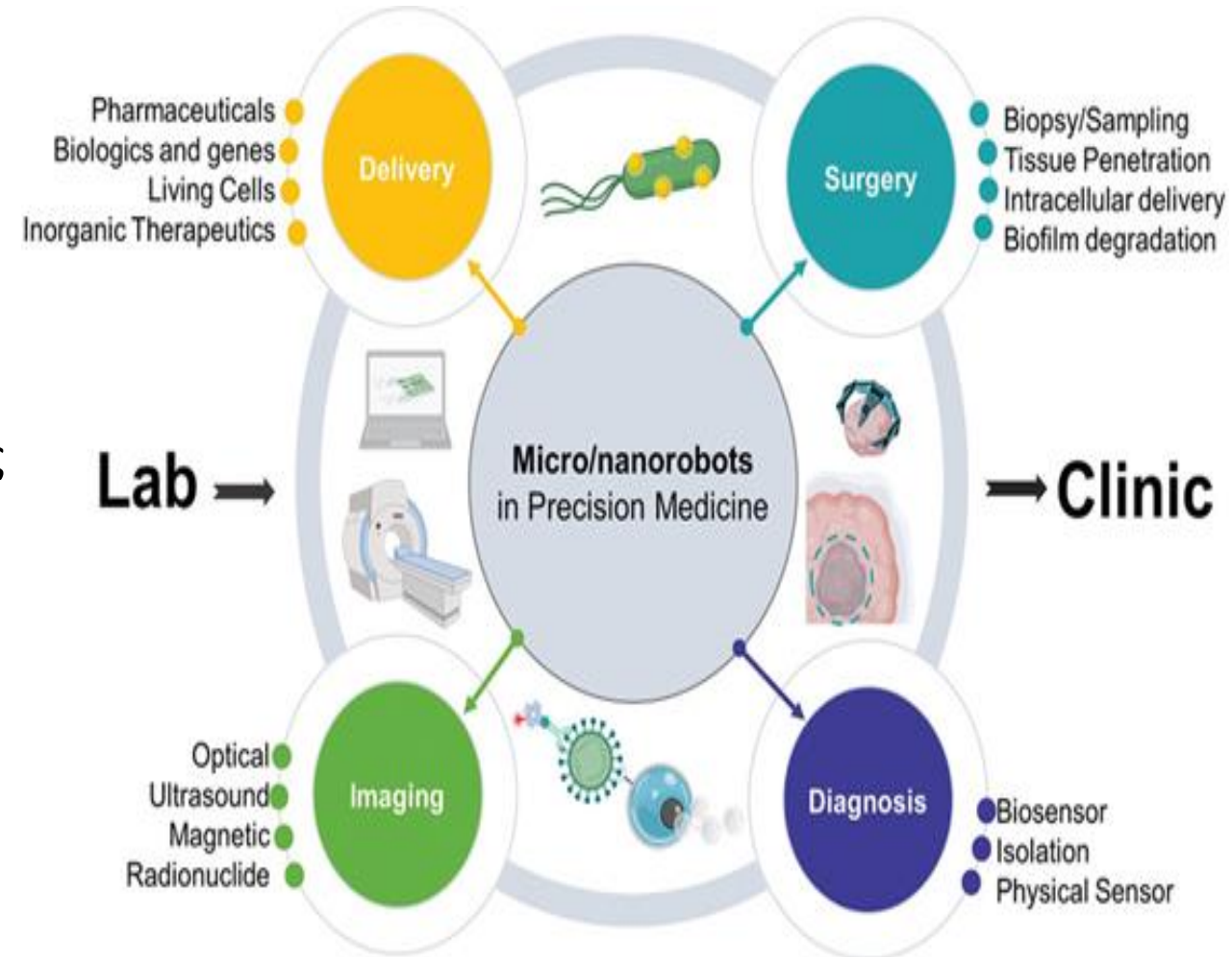
➤ Νέες Τεχνολογίες Ανίχνευσης Βιοδεικτών

- Single-cell RNA sequencing (scRNA-seq) →
- Ανάλυση γονιδιακής έκφρασης σε επίπεδο μεμονωμένων κυττάρων όγκου.
- Εφαρμογή της μεταβολομικής για την πρώιμη διάγνωση ασθενειών.
- **Νέες στρατηγικές στη χημειοθεραπεία και ακτινοθεραπεία**
- ADCs - Antibody-Drug Conjugates (π.χ HERCEPTIN)
- Στοχευμένη ακτινοθεραπεία με ραδιοφάρμακα π.χ¹⁷⁷Lu-PSMA-617)
- *FLASH radiotherapy* (π.χ μεταστατικούς όγκους στα οστά)

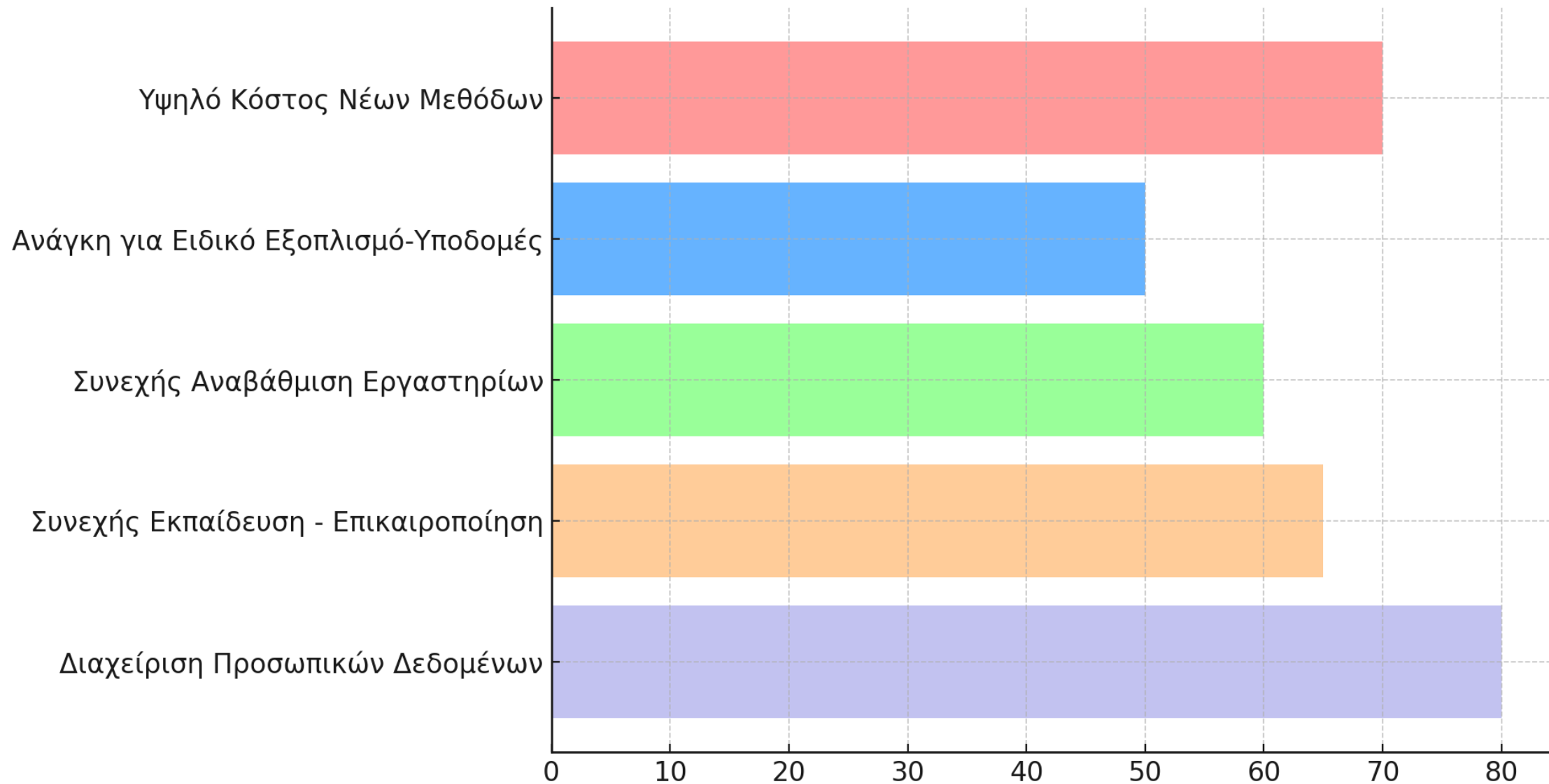


➤ Βιοαισθητήρες & νανοτεχνολογία

- Ανάπτυξη νανοσωματιδίων και νανορομπότ για υπερευαίσθητη διάγνωση βιοδεικτών και για στοχευμένες θεραπείες
- Συνδυασμός Τεχνολογίας CRISPR-Νανοτεχνολογίας (CAR-T Therapy, CRISPR-Cas9) για
 - ✓ αντικαρκινικές
 - ✓ αντιακές
 - ✓ γονιδιακές θεραπείες

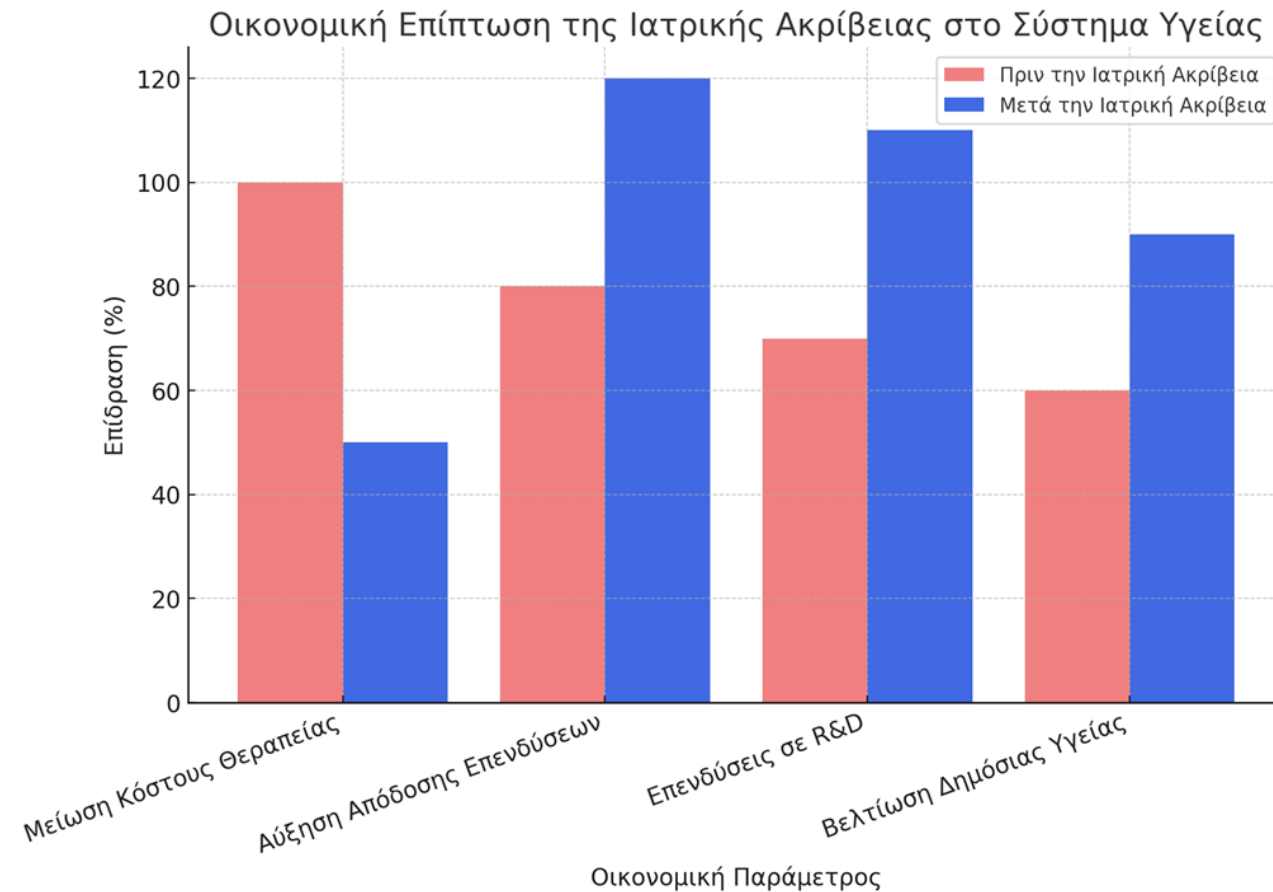


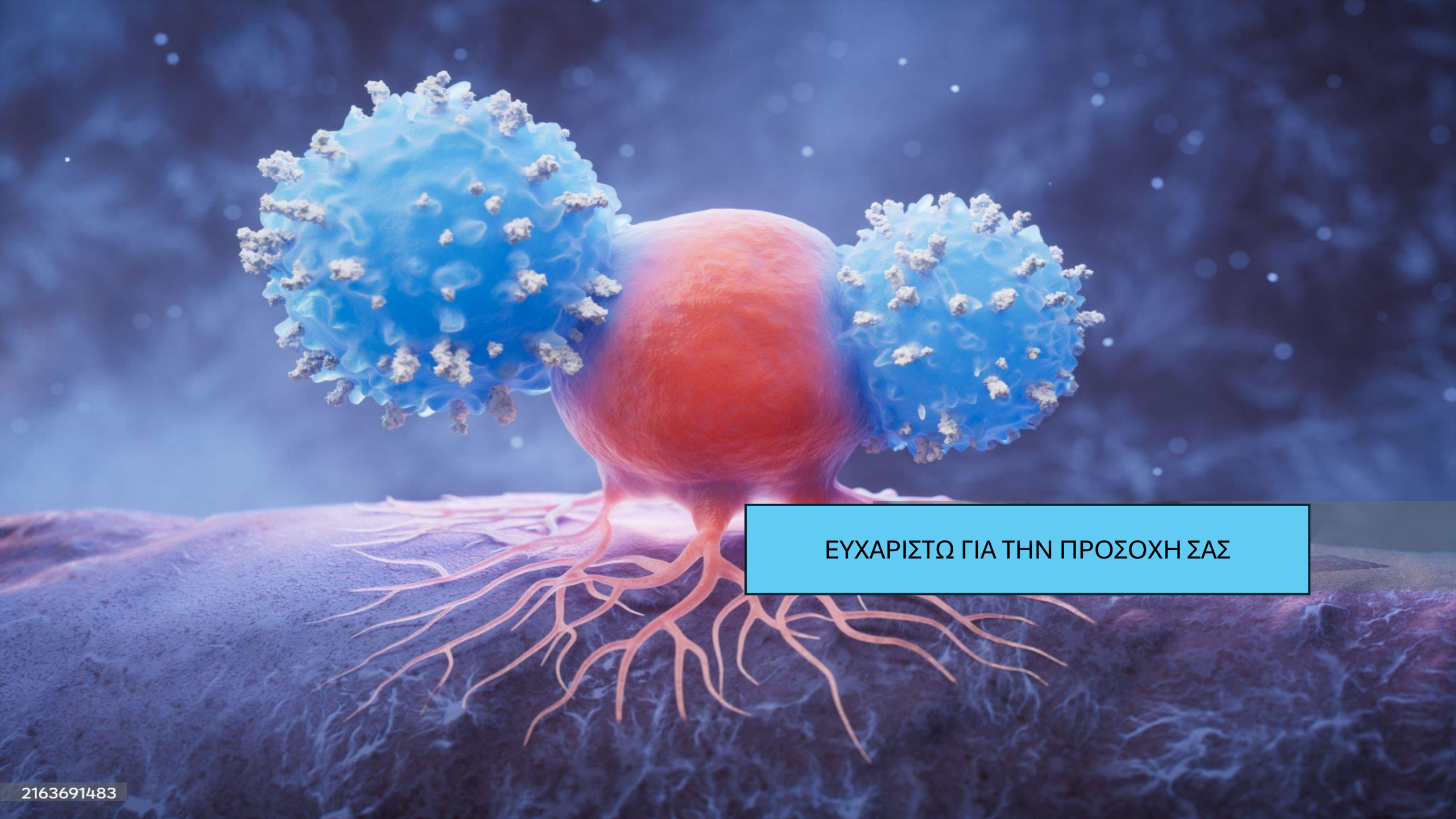
ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ



Η συνεχής εξέλιξη των Εφαρμογών της Χημείας και η πρόοδος της Ιατρικής Ακρίβειας

- **Μείωση του κόστους θεραπείας:** Η στοχευμένη διάγνωση και θεραπεία μέσω ομικών αναλύσεων μειώνει τις άσκοπες δαπάνες σε φάρμακα και νοσηλεία.
- **Αύξηση της απόδοσης των φαρμακευτικών επενδύσεων:** Οι βιοφαρμακευτικές εταιρείες επενδύουν σε εξατομικευμένες θεραπείες, δημιουργώντας νέα προϊόντα με υψηλή αποδοτικότητα.
- **Επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη:** Η ανάπτυξη προηγμένων χημικών τεχνικών και βιοτεχνολογιών οδηγεί σε νέες αγορές και θέσεις εργασίας στον τομέα της υγείας.
- **Βελτίωση της δημόσιας υγείας:** Η μείωση των χρόνιων παθήσεων μέσω στοχευμένων θεραπειών βελτιώνει τη συνολική ποιότητα ζωής και μειώνει την οικονομική επιβάρυνση των συστημάτων υγείας.





ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ