

Κατάψυξη βλαστικών κυττάρων. Εφαρμογές τους στην αναγεννητική ιατρική και ανασκόπηση των ηθικών και κοινωνικών ζητημάτων

Cryopreservation of Stem Cells. Their Applications in Regenerative Medicine and a Review of Ethical and Social Issues

Μιλτιάδης Μπλέτσας
Προπτυχιακός Φοιτητής
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών/Κατεύθυνση Ιατρικών
Εργαστηρίων, ΠαΔΑ
miltiadis.bltsas@gmail.com

Ευστάθιος Μιχαλόπουλος
Ειδικός Λειτουργικός Επιστήμονας Β'
Ελληνική Τράπεζα Ομφαλοπλακουντιακού Αίματος
Ίδρυμα Ιατροβιολογικών Ερευνών Ακαδημίας Αθηνών
smichal@uniwa.gr

Πέτρος Καρκαλούσος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών/Κατεύθυνση Ιατρικών
Εργαστηρίων, ΠαΔΑ
petef@uniwa.gr

Εγκρίθηκε τον Ιούλιο του 2025

Περίληψη – Η αναγεννητική ιατρική στοχεύει στην αποκατάσταση ή αντικατάσταση κατεστραμμένων κυττάρων, ιστών και οργάνων, αξιοποιώντας τις μοναδικές ιδιότητες των βλαστικών κυττάρων. Μπορεί να εφαρμοσθεί στη θεραπεία σοβαρών ασθενειών όπως καρδιοπάθειες, διαβήτης και νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Η κατάψυξη των κυττάρων διασφαλίζει τη μακροχρόνια συντήρησή τους για μελλοντική χρήση, ενώ πειραματικές προσεγγίσεις, όπως η δημιουργία βιομηχανικών ιστών και οργανοειδών, ενισχύουν τις δυνατότητες εξατομικευμένης θεραπείας. Παράλληλα, η πρόοδος συνοδεύεται από προκλήσεις όπως ηθικά διλήμματα, ρυθμιστικούς νομικούς??? κινδύνους και κινδύνους ασφαλείας των ασθενών από μη εγκεκριμένες θεραπείες. Συνεπώς, οι εν λόγω εφαρμογές της αναγεννητικής ιατρικής απαιτούν ένα σαφές νομοθετικό ρυθμιστικό πλαίσιο, διαφάνεια των διαδικασιών και διασφάλιση της υγείας των ασθενών, προκειμένου οι καινοτόμες θεραπείες να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στην κλινική πράξη.

Λέξεις κλειδιά: βλαστοκύτταρα, αναγεννητική ιατρική, κατάψυξη βλαστοκυττάρων

Summary – Regenerative medicine focuses on restoring or replacing damaged cells, tissues, and organs by leveraging the unique properties of stem cells. These cells offer promising therapeutic potential for conditions such as heart disease, diabetes, and neurodegenerative disorders. Cryopreservation plays a crucial role in maintaining cell viability for future applications. Experimental approaches, including the development of bioengineered tissues and organoids, are expanding the possibilities for personalized treatments. However, the field also faces important challenges, including ethical dilemmas, regulatory law risks,

and patients' health safety issues, possibly associated with unapproved therapies. This should therefore create a clear regulatory environment, transparency and patient safety so that innovative can be effectively integrated into practice.

Keywords: stem cells, regenerative medicine, stem cells cryopreservation

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναγεννητική ιατρική συνιστά έναν από τους πλέον πρωτοποριακούς και υποσχόμενους κλάδους της σύγχρονης βιοϊατρικής, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για την αντιμετώπιση παθήσεων και τραυματισμών που μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν μη αναστρέψιμοι. Οι τεχνολογικές προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τη γονιδιακή θεραπεία, τη μηχανική ιστών, τη μεταμόσχευση βλαστικών κυττάρων και τον κυτταρικό επαναπρογραμματισμό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται και στην κρυοσυντήρηση των βλαστικών κυττάρων, μια κρίσιμη διαδικασία που διασφαλίζει τη μακροχρόνια βιωσιμότητα και λειτουργικότητα των κυττάρων για μελλοντική θεραπευτική χρήση.

Τα αιμοποιητικά βλαστικά κύτταρα (HSCs) χρησιμοποιούνται ευρέως σε μεταμοσχεύσεις μυελού των οστών, ενώ τα μεσεγχυματικά βλαστικά κύτταρα (MSCs) εφαρμόζονται σε θεραπείες αποκατάστασης οστών και χόνδρων, καθώς και σε φλεγμονώδεις παθήσεις. Παράλληλα, πειραματικές προσεγγίσεις όπως η χρήση οργανοειδών και η εμφύτευση βιομηχανικών ιστών (π.χ. τεχνητό ήπαρ) αναδεικνύουν τις δυνατότητες της αναγεννητικής ιατρικής για εξατομικευμένη ιατρική και δοκιμές φαρμάκων (1).

Blatsas M, Michalopoulos E, Karkalousos P. Cryopreservation of Stem Cells. Their Applications in Regenerative Medicine and a Review of Ethical and Social Issues. J Med Sci, 2025; July (3):15-19

Ωστόσο, η πρόοδος στον τομέα συνοδεύεται από σημαντικές ηθικές και ρυθμιστικές προκλήσεις όπως η συναίνεση των ασθενών, η ισότιμη πρόσβαση στις θεραπείες και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των θεραπειών με βλαστικά κύτταρα. Το ρυθμιστικό πλαίσιο παραμένει σύνθετο, ενώ η ανεξέλεγκτη χρήση μη εγκεκριμένων θεραπειών ενέχει κινδύνους για την ασφάλεια των ασθενών (2).

Η κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της κρυοσυντήρησης βλαστικών κυττάρων και των εφαρμογών τους στην αναγεννητική ιατρική, αναδεικνύουν παράλληλα τις κοινωνικές και ηθικές διαστάσεις που συνοδεύουν την κλινική τους αξιοποίηση.

II. ΒΛΑΣΤΟΚΥΤΤΑΡΑ

Τα βλαστοκύτταρα είναι πρωτογενή κύτταρα με την ικανότητα αυτοανανέωσης και διαφοροποίησης σε εξειδικευμένους κυτταρικούς τύπους, γεγονός που τα καθιστά θεμελιώδη για την ανάπτυξη, την αναγέννηση και τη θεραπεία ιστών. Διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το δυναμικό διαφοροποίησής τους: ολοδύναμα, πολυδύναμα, ολιγοδύναμα, και μονοδύναμα (iPSCs) (3).

Οι πηγές προέλευσης των βλαστοκυττάρων είναι τα εμβρυϊκά βλαστοκύτταρα (ESCs) τα οποία προέρχονται από την εσωτερική κυτταρική μάζα της βλαστοκύστης, τα ενήλικα (ASCs) τα οποία εντοπίζονται σε ιστούς όπως ο μυελός των οστών και το ήπαρ, τα μεσεγχυματικά (MSCs), τα αιμοποιητικά (HSCs) και τα επαγόμενα πολυδύναμα βλαστοκύτταρα (iPSCs) τα οποία είναι τεχνητά παραγόμενα από σωματικά κύτταρα και προσφέρουν λύσεις σε ηθικά και ανοσολογικά ζητήματα (2).

III. ΚΡΥΟΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΒΛΑΣΤΟΚΥΤΤΑΡΩΝ

Η κρυοσυντήρηση των βλαστοκυττάρων αποτελεί κρίσιμη τεχνική αποθήκευσης σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες με στόχο την διατήρηση της βιωσιμότητας και της λειτουργικότητάς τους σε θεραπευτικές εφαρμογές (4). Οι βασικές τεχνικές κρυοσυντήρησης περιλαμβάνουν:

- **Αργή κατάψυξη:** Σταδιακή ψύξη των κυττάρων με χρήση κρυοπροστατευτικών παραγόντων όπως το DMSO, ώστε να μειωθεί ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου (4).
- **Υαλοποίηση:** Ταχεία κατάψυξη με υψηλές συγκεντρώσεις CPAs για αποφυγή σχηματισμού πάγου (5).
- **Ελεγχόμενη κατάψυξη:** Χρήση προγραμματιζόμενων καταψυκτών για ακριβή έλεγχο του ρυθμού ψύξης (4).
- **Μικροεγκλεισμός:** Επικάλυψη των κυττάρων με προστατευτικό υλικό για αυξημένη βιωσιμότητα κατά την κατάψυξη και απόψυξη (5).
- **Φωτοθερμική και ηλεκτρομαγνητική απόψυξη:** Προηγμένες τεχνικές που χρησιμοποιούν φως ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία για ομοιόμορφη και ασφαλή απόψυξη (5).

IV. ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Η αναγεννητική ιατρική ορίζεται ως η διαδικασία αναγέννησης ή αντικατάστασης ανθρωπίνων κυττάρων, ιστών ή οργάνων με στόχο την αποκατάσταση της φυσιολογικής λειτουργίας, χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η γονιδιακή θεραπεία, η μεταμόσχευση βλαστοκυττάρων, η μηχανική ιστών και ο λειτουργικός? επαναπρογραμματισμός. Οι κυριότερες μέθοδοι περιλαμβάνουν την κυτταρική θεραπεία με αυτόλογα ή αλλογενή κύτταρα, τη μηχανική ιστών με χρήση σκαλωσιών και βιοϋλικών, και τη θεραπεία με βλαστοκύτταρα, όπως τα MSCs, τα ASCs και τα iPSCs, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικές δυνατότητες διαφοροποίησης και αναγέννησης (6).

Η γονιδιακή θεραπεία, με τεχνικές όπως το CRISPR/Cas9 και το συνθετικό mRNA, επιτρέπει τη διόρθωση γενετικών ελαττωμάτων και την ενίσχυση της αναγέννησης ιστών (6). Τα βιοϋλικά, φυσικά ή συνθετικά, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία σκαλωσιών που υποστηρίζουν την ανάπτυξη κυττάρων και την απελευθέρωση βιοδραστικών παραγόντων. Παράλληλα, η τεχνολογία των οργανοειδών, με τη δημιουργία τρισδιάστατων κυτταρικών δομών που μιμούνται τα όργανα, προσφέρει νέες δυνατότητες για την εξατομικευμένη ιατρική και τη μελέτη ασθενειών (6).

Οι κλινικές εφαρμογές της αναγεννητικής ιατρικής είναι εκτενείς και περιλαμβάνουν την ορθοπαιδική, την καρδιολογία, τη νευρολογία, την επούλωση τραυμάτων, την αναγέννηση οργάνων, την ουρολογία και την αναπαραγωγική ιατρική (6).

Ωστόσο, η εφαρμογή της αναγεννητικής ιατρικής συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις. Αυτές περιλαμβάνουν την ανοσοσυμβατότητα, τη μεταβλητότητα των κυτταρικών πηγών, τη δυσκολία μετάφρασης των προκλινικών ευρημάτων σε κλινική πράξη, τις ηθικές και ρυθμιστικές ανησυχίες, το υψηλό κόστος και τις τεχνικές δυσκολίες στην εμφύτευση των κυττάρων (6). Επιπλέον, η αγγείωση των ιστών και η βιοσυμβατότητα των σκαλωσιών παραμένουν κρίσιμα ζητήματα για την επιτυχία των θεραπειών.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις περιλαμβάνουν τη χρήση βιομηχανικών μεθόδων, την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η ρομποτική και η νανοτεχνολογία, καθώς και την ανάπτυξη νέων υλικών και μη κυτταρικών θεραπειών. Η έρευνα επικεντρώνεται στην κατανόηση των μηχανισμών αναγέννησης και στην αξιοποίηση των κυτταρικών εκκρίσεων και της in vivo γονιδιακής θεραπείας για την ενίσχυση της αναγεννητικής ικανότητας (7). Η πρόοδος στην επιστήμη των υλικών και η ανάπτυξη τεχνολογιών όπως τα όργανα σε τσιπ και τα εμφυτεύματα εγκεφάλου υπόσχονται να μεταμορφώσουν την ιατρική περίθαλψη, καθιστώντας την αναγεννητική ιατρική ακρογωνιαίό λίθο των μελλοντικών θεραπειών.

V. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΒΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Bltsas M, Michalopoulos E, Karkalousos P. Cryopreservation of Stem Cells. Their Applications in Regenerative Medicine and a Review of Ethical and Social Issues. J Med Sci, 2025; July (3):15-19

Τα βλαστικά κύτταρα συμβάλλουν σημαντικά σε διάφορους τομείς της αναγεννητικής ιατρικής:

Καρδιακές Ασθένειες: Τα βλαστικά κύτταρα προσφέρουν θεραπευτικές εναλλακτικές για καρδιακές παθήσεις όπως στην ισχαιμική καρδιοπάθεια με ενδοστεφανιαίες και ενδομυοκαρδιακές ενέσεις βλαστικών κυττάρων, με μικτά αποτελέσματα και στις συγγενείς καρδιοπάθειες, με υποσχόμενα αποτελέσματα στη βελτίωση των αποτελεσμάτων στους ασθενείς (8).

Αναγέννηση Δέρματος: Τα μεσεγχυματικά βλαστικά κύτταρα μπορούν να μεταναστεύσουν σε σημεία τραυματισμού, ενισχύοντας τις διαδικασίες επούλωσης μέσω των ανοσορυθμιστικών τους επιδράσεων(1) .

Αναγέννηση Οστών: Τα βλαστικά κύτταρα χρησιμοποιούνται ευρέως στην επούλωση των οστών λόγω της ικανότητάς τους να διαφοροποιούνται σε οστεοβλάστες και να προωθούν την αποκατάσταση του οστικού ιστού. Είναι αποτελεσματικά στη θεραπεία καταγμάτων και μη επουλώσης οστικών τραυματισμών (9) .

Αναγέννηση Νευρών: Τα βλαστικά κύτταρα έχουν δείξει δυνατότητες στην αναγέννηση των νευρών και στη θεραπεία νευρολογικών διαταραχών. Τα νευρικά βλαστικά κύτταρα (NSCs) μπορούν να μειώσουν τη φλεγμονή και να προωθήσουν την αναγέννηση των νευρώνων (9) .

Ηπατική Νόσος ή Τραυματισμός Ήπατος: Τα βλαστικά και προγονικά κύτταρα (MSCs, ESCs, iPSCs) εξετάζονται ως εναλλακτικές θεραπείες. Τα MSCs προάγουν την επιδιόρθωση μέσω αυξητικών παραγόντων, ενώ τα ESCs και iPSCs διαφοροποιούνται σε ηπατοκύτταρα και οργανοειδή για μοντελοποίηση ασθενειών, δοκιμή φαρμάκων και αναγεννητική ιατρική (10).

Ανάπλαση Πνεύμονα: Οι θεραπείες με MSCs έχουν δείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε προκλινικά μοντέλα πνευμονικών τραυματισμών, ωστόσο τα αποτελέσματα από τις κλινικές δοκιμές παραμένουν ανάμεικτα. Η περαιτέρω κατανόηση των μηχανισμών δράσης των MSCs και η βελτιστοποίηση των κλινικών μελετών είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους (11).

Θεραπεία Διαβήτη: Η αντικατάσταση των καταστραμμένων β-κυττάρων με κύτταρα ενδοκρινών που προέρχονται από PSCs προσφέρει μια πιθανή θεραπεία επαναφέροντας τον ενδογενή έλεγχο της γλυκαιμίας (12). Τα PSCs, συμπεριλαμβανομένων των ESCs και των iPSCs, προσφέρουν μια σχεδόν απεριόριστη πηγή κυττάρων και μπορούν να διαφοροποιηθούν σε επιθυμητούς τύπους κυττάρων. Τα iPSCs προέρχονται από τα κύτταρα του ασθενούς, μειώνοντας τον κίνδυνο απόρριψης. Η κατανόηση των σταδίων και των σηματοδοτικών μονοπατιών που εμπλέκονται στην ανάπτυξη του παγκρέατος είναι κρίσιμη για τη διαφοροποίηση των PSCs σε κύτταρα που παράγουν ινσουλίνη (12).

Αναγέννηση Θυλακίων Τριχών: Τα βλαστικά κύτταρα που προέρχονται από λιπώδη ιστό έχουν ερευνηθεί για την

ικανότητά τους να προωθούν την ανάπτυξη θυλακίων τριχών και να ενισχύουν την αναγέννηση των τριχών (9).

Στην αναγεννητική ιατρική, η κλινική αξιοποίηση των βλαστοκυττάρων συναντά εμπόδια που σχετίζονται με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα. Τα MSCs, για παράδειγμα, έχουν δείξει εντυπωσιακά αποτελέσματα στην αναγέννηση του δέρματος, όμως η χρήση τους περιορίζεται από προβλήματα όπως η ανοσολογική απόρριψη και ο κίνδυνος καρκινογένεσης (13). Παρόμοιες δυσκολίες εμφανίζονται και στην οδοντιατρική, όπου τα βλαστοκύτταρα από τον οδοντικό πολφό και τον περιοδοντικό σύνδεσμο υπόσχονται πολλά, αλλά η νοσηρότητα που σχετίζεται με τη λήψη δειγμάτων από τον δότη και το υψηλό κόστος αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες (14). Στην καρδιολογία, οι κλινικές δοκιμές με βλαστοκύτταρα δεν έχουν αποδώσει τα αναμενόμενα, κυρίως λόγω ανεπαρκούς κατανόησης των μηχανισμών αναγέννησης (15).

Η ανάγκη για τυποποίηση και ποιοτικό έλεγχο είναι επιτακτική. Η μεταβλητότητα στις πηγές και τις μεθόδους καλλιέργειας των κυττάρων οδηγεί σε ασυνεπή αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στην περίπτωση των βλαστοκυττάρων από ADSCs (16). Παράλληλα, η ανοσολογική απόκριση και οι φλεγμονώδεις αντιδράσεις παραμένουν σημαντικά εμπόδια, με τις ερευνητικές προσπάθειες να επικεντρώνονται σε τεχνικές όπως η γονιδιακή επεξεργασία και η ενθυλάκωση κυττάρων (8).

Η τεχνολογία των οργανοειδών, αν και πολλά υποσχόμενη, αντιμετωπίζει τεχνικές δυσκολίες όπως η αναπαραγωγιμότητα και η ωριμότητα των κυττάρων. Παράλληλα, η χρήση νανοτεχνολογίας και εμφυτεύσιμης ρομποτικής φέρνει στο προσκήνιο ζητήματα ασφάλειας και ενεργειακής τροφοδοσίας (6).

Στον τομέα της κρυοσυντήρησης, οι προκλήσεις είναι εξίσου σημαντικές. Η διαφοροποίηση των PSCs σε λειτουργικά κύτταρα και η επιτυχής ενσωμάτωσή τους στους ιστούς του ξενιστή παραμένουν δύσκολες (12). Η τοξικότητα των κρυοπροστατευτικών, όπως το DMSO, αποτελεί άλλο ένα εμπόδιο, με την έρευνα να στρέφεται σε λιγότερο τοξικές εναλλακτικές (11). Η κλιμάκωση της παραγωγής για κλινική χρήση απαιτεί βιοαντιδραστήρες και αυστηρή τυποποίηση (12), ενώ η διατήρηση της βιωσιμότητας μετά την απόψυξη είναι κρίσιμη για την αποτελεσματικότητα των θεραπειών (16).

Στο άρθρο των Makarevich και Tkachuk (2024), σκιαγραφείται ένα μέλλον όπου η αναγεννητική ιατρική στοχεύει στην καθολική αναγέννηση του σώματος. Η έρευνα επικεντρώνεται σε ιστούς όπως το ενδομήτριο και αξιοποιεί βιολογικό υλικό και βιομηχανικές τεχνικές για ασφαλή και μεταφράσιμα αποτελέσματα.

Παράλληλα, η μηχανική ιστών αντικαθιστά την κυτταρική θεραπεία με βιοϋλικά που ενισχύουν τη λειτουργία των κυττάρων. Δημιουργούνται, επίσης, αθάνατες κυτταρικές σειρές για ευρύτερη χρήση, ενώ μη κυτταρικές

Bltsas M, Michalopoulos E, Karkalousos P. Cryopreservation of Stem Cells. Their Applications in Regenerative Medicine and a Review of Ethical and Social Issues. J Med Sci, 2025; July (3):15-19

μέθοδοι (π.χ. γονιδιακή θεραπεία, εκκριτικά προϊόντα) προσφέρουν ασφαλέστερες και πιο μακροχρόνιες λύσεις. (7).

VI. ΗΘΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ ΒΛΑΣΤΟΚΥΤΤΑΡΩΝ. ΕΡΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Η αναγεννητική ιατρική, με αιχμή τη χρήση βλαστοκυττάρων, εγείρει πληθώρα ηθικών και κοινωνικών ζητημάτων που απαιτούν προσεκτική θεώρηση. Κεντρικό ζήτημα βιοηθικής αποτελεί η προέλευση των βλαστοκυττάρων, με τα εμβρυϊκά (ESCs) να προκαλούν αντιπαραθέσεις λόγω της καταστροφής εμβρύων (18). Αντίθετα, τα iPSCs και τα MSCs θεωρούνται λιγότερο αμφιλεγόμενα, αν και εγείρουν ανησυχίες για γενετικές ανωμαλίες και κινδύνους σχηματισμού όγκων (17).

Η πλήρως ενημερωμένη συναίνεση αναδεικνύεται ως θεμελιώδης πυλώνας της ηθικής πρακτικής με προκλήσεις που αφορούν την κατανόηση της επιστημονικής πολυπλοκότητας και την αποφυγή καταναγκασμού (1). Παράλληλα, η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα των θεραπειών απαιτούν αυστηρή κλινική εποπτεία, καθώς οι πιθανότητες καρκινογένεσης και γονιδιωματικής αστάθειας παραμένουν υψηλές (17).

Η εμπορευματοποίηση των θεραπειών και η διάδοση μη αδειοδοτημένων κλινικών πρακτικών, εγείρουν ανησυχίες για εκμετάλλευση ασθενών και υποβάθμιση της επιστημονικής ακεραιότητας (17). Επιπλέον, ζητήματα όπως η κλωνοποίηση για θεραπευτικούς σκοπούς, η χρήση ζώων και το δίλημμα διπλής χρήσης απαιτούν ηθική επαγρύπνηση (18).

Σε κοινωνικό επίπεδο, η πρόσβαση στις θεραπείες απειλείται από οικονομικές και γεωγραφικές ανισότητες, ενώ η δημόσια αποδοχή επηρεάζεται από πολιτισμικές και θρησκευτικές πεποιθήσεις (18). Η παραπληροφόρηση και η υπερβολική προβολή των δυνατοτήτων των βλαστοκυττάρων εντείνουν τη δυσπιστία (17).

Το ρυθμιστικό πλαίσιο της ΕΕ, μέσω των Κανονισμών 536/2014, 1394/2007 και του πρόσφατου 2024/1938, θέτει αυστηρές προϋποθέσεις για την ασφάλεια, την ιχνηλασιμότητα και την ηθική συμμόρφωση στη χρήση βλαστοκυττάρων, ενισχύοντας την προστασία δοτών και ληπτών και προάγοντας τη διαφάνεια και τη συνεργασία μεταξύ κρατών μελών (19, 20, 21).

VII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναγεννητική ιατρική αναδεικνύεται ως ένας από τους πιο υποσχόμενους τομείς της σύγχρονης βιοϊατρικής επιστήμης, με τη δυνατότητα να μεταμορφώσει ριζικά την προσέγγιση της ιατρικής φροντίδας. Η χρήση βλαστοκυττάρων σε συνδυασμό με τις πλέον εξελιγμένες τεχνικές κρυοσυντήρησης καθιστά δυνατή τη διατήρηση της κυτταρικής ζωτικότητας, με σκοπό τη μελλοντική αξιοποίησή της σε θεραπευτικές παρεμβάσεις. Οι μέθοδοι αυτές, σε συνδυασμό με τεχνολογίες όπως η κυτταρική θεραπεία, η

μηχανική ιστών και η γονιδιακή παρέμβαση, προσφέρουν νέες δυνατότητες για την αποκατάσταση της λειτουργίας κατεστραμμένων ιστών και οργάνων.

Παράλληλα, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών σε κλινικό επίπεδο, σε τομείς όπως η ορθοπαιδική, η καρδιολογία, η νευρολογία και η επούλωση τραυμάτων, αποδεικνύει την πρακτική αξία της αναγεννητικής ιατρικής. Ωστόσο, η πρόοδος αυτή συνοδεύεται από σημαντικά ηθικά και κοινωνικά ζητήματα. Η προέλευση των βλαστοκυττάρων, η ανάγκη για πλήρως ενημερωμένη συναίνεση των δωρητών και η αποτροπή της εμπορευματοποίησης των θεραπειών αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την ηθική εφαρμογή των καινοτόμων αυτών πρακτικών. Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί θέτουν υψηλά πρότυπα για την ποιότητα και την προστασία των ουσίων ανθρώπινης προέλευσης, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη του κοινού και της επιστημονικής κοινότητας. Ο νέος Κανονισμός (ΕΕ) 2024/1938 ενισχύει τη θεσμική θωράκιση του πεδίου, θέτοντας αυστηρά πρότυπα για την ποιότητα και την ασφάλεια.

Τέλος, η αναγεννητική ιατρική εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η ανοσολογική συμβατότητα και η μεταβλητότητα της θεραπευτικής απόκρισης. Η περαιτέρω πρόοδος απαιτεί βαθύτερη κατανόηση των βιολογικών μηχανισμών, ενίσχυση της διεπιστημονικής συνεργασίας και αξιοποίηση τεχνολογιών αιχμής, όπως τα οργανοειδή και η γονιδιακή τροποποίηση.

Η αναγεννητική ιατρική δεν αποτελεί μόνο μια επιστημονική καινοτομία, αλλά και μια ελπίδα για το μέλλον της ιατρικής, όπου η θεραπεία δεν θα περιορίζεται στην ανακούφιση των συμπτωμάτων, αλλά θα στοχεύει στην πλήρη αποκατάσταση της υγείας και της ποιότητας ζωής των ασθενών.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

	Αγγλική ορολογία	Ελληνική ορολογία
CPAs	Cryoprotective agents	Κρυοπροστατευτικοί παράγοντες
CRISP/Cas9	Clustered regularly interspaced short palindromic repeats and CRISP-associated protein 9	Σύμπλεγμα μικρών παλινδρομικών αλληλουχιών τακτικής χωροκατανομής/ ένζυμο Cas9
DMSO	Dimethyl sulfoxide	Διμεθυλοσουλφοξείδιο
HSCs	Hematopoietic stem cells	Αιμοποιητικά βλαστικά κύτταρα
iPSCs	Induced pluripotent stem cells	Επαγόμενα πολυδύναμα βλαστοκύτταρα
MSCs	Multipotent stem cells	Μεσεγγυματικά βλαστικά κύτταρα
PSCs	Pluripotent stem cells	Πολυδύναμα βλαστικά κύτταρα
T1D	Type 1 diabetes	Σακχαρώδης διαβήτης τύπου 1

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Bletsas M, Michalopoulos E, Karkalousos P. Cryopreservation of Stem Cells. Their Applications in Regenerative Medicine and a Review of Ethical and Social Issues. *J Med Sci*, 2025; July (3):15-19

- Margiana R, Markov A, Zekiy AO, Hamza MU, Al-Dabbagh KA, Al-Zubaidi SH, Hameed NM, Ahmad I, Sivaraman R, Kzar HH, Al-Gazally ME, Mustafa YF, Siahmansouri H. Clinical application of mesenchymal stem cell in regenerative medicine: a narrative review. *Stem Cell Res Ther*. 2022 Jul 28;13(1):366. doi: 10.1186/s13287-022-03054-0.
- Petrosyan A, Martins PN, Solez K, Uygur BE, Gorantla VS, Orlando G. Regenerative medicine applications: An overview of clinical trials. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Nov 25;10:942750. doi: 10.3389/fbioe.2022.942750.
- Qiu C, Ge Z, Cui W, Yu L, Li J. Human Amniotic Epithelial Stem Cells: A Promising Seed Cell for Clinical Applications. *Int J Mol Sci*. 2020 Oct 19;21(20):7730. doi: 10.3390/ijms21207730.
- Wang J, Li R. Effects, methods and limits of the cryopreservation on mesenchymal stem cells. *Stem Cell Res Ther*. 2024 Sep 29;15(1):337. doi: 10.1186/s13287-024-03954-3.
- Wang X, Wang E, Zhao G. Advanced cryopreservation engineering strategies: the critical step to utilize stem cell products. *Cell Regen*. 2023 Aug 2;12(1):28. doi: 10.1186/s13619-023-00173-8.
- Altayr AE, El-Sayed A, Abdeen A, Piscopo M, Mousa SA, Najda A, Abdel-Daim MM. Future regenerative medicine developments and their therapeutic applications. *Biomed Pharmacother*. 2023 Feb;158:114131. doi: 10.1016/j.biopha.2022.114131.
- Makarevich PI, Tkachuk VA. Fundamental and Practical Perspectives in Regenerative Medicine. *Int J Mol Sci*. 2024 Oct 26;25(21):11508. doi: 10.3390/ijms252111508.
- Gulati J, Zhu M, Gilbreth J, Wang S. The Use of Stem Cells in Cardiac Pathologies: A Review. *Georgetown Medical Review*. 2024;7(1). doi:10.52504/001c.94024.
- Jin Y, Li S, Yu Q, Chen T, Liu D. Application of stem cells in regeneration medicine. *MedComm* (2020). 2023 Jun 17;4(4):e291. doi: 10.1002/mco2.291.
- Nikokiraki C, Psaraki A, Roubelakis MG. The Potential Clinical Use of Stem/Progenitor Cells and Organoids in Liver Diseases. *Cells*. 2022 Apr 21;11(9):1410. doi: 10.3390/cells11091410.
- Hynds RE, Magin CM, Ikononou L, Aschner Y, Beers MF, Burgess JK, Heise RL, Hume PS, Krasnodembskaya AD, Mei SHJ, Misharin AV, Park JA, Reynolds SD, Tschumperlin DJ, Tanneberger AE, Vaidyanathan S, Waters CM, Zettler PJ, Weiss DJ, Ryan AL. Stem cells, cell therapies, and bioengineering in lung biology and diseases 2023. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2024 Sep 1;327(3):L327-L340. doi:10.1152/aj-lung.00052.2024.
- Carvalho AM, Nunes R, Sarmiento B. From pluripotent stem cells to bioengineered islets: A challenging journey to diabetes treatment. *Eur J Pharm Sci*. 2022 May 1;172:106148. doi: 10.1016/j.ejps.2022.106148.
- Wu S, Sun S, Fu W, Yang Z, Yao H, Zhang Z. The Role and Prospects of Mesenchymal Stem Cells in Skin Repair and Regeneration. *Biomedicines*. 2024 Mar 27;12(4):743. doi: 10.3390/biomedicines12040743.
- Inchingolo AM, Inchingolo AD, Nardelli P, Latini G, Trilli I, Ferrante L, Malcangi G, Palermo A, Inchingolo F, Dipalma G. Stem Cells: Present Understanding and Prospects for Regenerative Dentistry. *J Funct Biomater*. 2024 Oct 15;15(10):308. doi: 10.3390/jfb15100308.
- Povsic TJ, & Gersh BJ. Stem Cells in Cardiovascular Diseases: 30,000-Foot View. *Cells* 2021; 10(3):600. doi: 10.3390/cells10030600
- Papadopoulos KS, Piperi C, Korkolopoulou P. Clinical Applications of Adipose-Derived Stem Cell (ADSC) Exosomes in Tissue Regeneration. *Int J Mol Sci*. 2024 May 29;25(11):5916. doi: 10.3390/ijms25115916.
- Charitos IA, Ballini A, Cantore S, Boccellino M, Di Domenico M, Borsani E, Nocini R, Di Cosola M, Santacroce L, Bottalico L. Stem Cells: A Historical Review about Biological, Religious, and Ethical Issues. *Stem Cells Int*. 2021 Apr 29;2021:9978837. doi: 10.1155/2021/9978837.
- Hermerén G. The ethics of regenerative medicine. *Biologia Futura*. 2021 Feb 20;72. doi: 10.1007/s42977-021-0005-3.
- European Union. (2014). Regulation (EU) No 536/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on clinical trials on medicinal products for human use, and repealing Directive 2001/20/EC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, L 158, 1–76. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/536/oj/eng>
- European Union. (2007). Regulation (EC) No 1394/2007 of the European Parliament and of the Council of 13 November 2007 on advanced therapy medicinal products and amending Directive 2001/83/EC and Regulation (EC) No 726/2004 (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, L 324, 121–137. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2007/1394/oj/eng>
- European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1938 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on standards of quality and safety for substances of human origin intended for human application and repealing Directives 2002/98/EC and 2004/23/EC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, L 1938, 17.7.2024. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1938/oj/eng>