

Κεφάλαιο 5

Σενάρια Ιατρικής Φαντασίας

Ιατρική Εξ' αποστάσεως

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και της υποδομής των τηλεπικοινωνιών τα τελευταία 40 χρόνια έφερε καινούργιες προοπτικές και στον τομέα της ιατρικής. Το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στο τομέα της τηλεϊατρικής [1]. Τηλεϊατρική σημαίνει, στην κυριολεξία, ιατρική εξ' αποστάσεως! Είναι η ταχύτατη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο ιατρικών κέντρων για σκοπούς υποστήριξης της διάγνωσης ή θεραπείας ή/και για σκοπούς εκπαίδευσης. Ακόμα μπορεί να περιλαμβάνει την παροχή ιατρικής βοήθειας σε ασθενή εκτός των ιατρικών κέντρων. Γενικά, είναι η χρήση των σύγχρονων μέσων επικοινωνίας στην παροχή ιατρικών πληροφοριών και υπηρεσιών. Γίνεται με την άμεση σύνδεση γιατρού, ασθενή και πληροφοριών έστω και αν και τα τρία βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία της γης. Η τηλεϊατρική συμπεριλαμβάνει βασικές έννοιες τηλεπικοινωνιών, διαδικτύου, υπολογιστών, υλικού και λογισμικού. Τα τελευταία χρόνια η τηλεϊατρική, με την μια μορφή ή την άλλη, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται σε πολλά νοσοκομεία και να γίνεται μέρος της σύγχρονης ιατρικής πρακτικής.



Η ιστορία της τηλεϊατρικής πηγαίνει πολλά χρόνια πίσω, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Αρχίζει με τον Άιντχοβεν και την εφεύρεση του ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Ο Άιντχοβεν χρησιμοποιούσε τηλεφωνικά καλώδια για να καταγράφει ηλεκτροκαρδιογραφήματα σε ένα μηχάνημα που βρισκόταν στο εργαστήριο του από ασθενή στο γειτονικό νοσοκομείο, 1,5 μίλι μακριά. Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '20, οι γιατροί χρησιμοποιούσαν ασύρματες επικοινωνίες, φωνής ή κώδικα μορς, για να στείλουν πληροφορίες και συμβουλές σε άρρωστους ναυτικούς που ταξίδευαν στην θάλασσα. Την δεκαετία του '60 η τηλεόραση χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση και μεταφορά ιατρικών εικόνων κάτι που στις μέρες μας γίνεται με ηλεκτρονικούς υπολογιστές και το διαδίκτυο. Η μετάδοση ηλεκτροκαρδιογραφημάτων και άλλων λειτουργικών πληροφοριών των ασθενών είναι σήμερα συνηθισμένη. Γίνεται για την παρακολούθηση του ασθενή από το σπίτι του, την μετάδοση των πληροφοριών έγκαιρα από αεροπλάνα, πλοία, ή απομακρυσμένες περιοχές, ακόμα και από ασθενοφόρα κατά την διάρκεια της διαδρομής τους προς το νοσοκομείο.

Η τηλεϊατρική μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές: διάγνωση και εξαγωγή συμπερασμάτων, τηλεπαρακολούθηση και συνεργασία για εξ' αποστάσεως φροντίδα των ασθενών. Η κάθε περιοχή βρίσκει εφαρμογές στους τομείς της διάγνωσης, της θεραπείας και της εκπαίδευσης. Η τηλεϊατρική μπορεί να αποβεί σε εξαιρετικά χρήσιμη εργαλείο για

1. παροχή βοήθειας και υπηρεσιών σε απόμερες περιοχές που δεν διαθέτουν επαρκές ιατρικό δίκτυο
2. πιο ολοκληρωμένη και παραγωγική χρήση της ιατρικής υποδομής που είδη υπάρχει.
3. προσέλκυση, στα ιδιωτικά νοσοκομεία, ασθενών από άλλες περιοχές

Ο όρος τηλεϊατρική περιγράφει την χρήση τηλεπικοινωνιακών και πληροφοριακών τεχνολογιών για την παροχή υπηρεσιών εξ' αποστάσεως χωρίς την συνηθισμένη, πρόσωπο με πρόσωπο, επαφή του γιατρού με τον ασθενή. Με την αλματώδη ανάπτυξη που γνωρίζει η τεχνολογία τα τελευταία χρόνια, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών στην ιατρική αυξάνεται ραγδαία και έχει αρχίσει να επηρεάζει την σχέση ασθενή και γιατρού. Η τηλεϊατρική κάνει χρήση των τηλεφωνικών γραμμών, συστημάτων τηλεδιάσκεψης, τηλεομοιοτύπα, υπολογιστές, δορυφόρους, οπτικές ίνες, και γενικά όλα τα τηλεπικοινωνιακά μέσα. Με την εισαγωγή, τελευταία, δικτύων μεγάλου εύρους και χωρητικότητας το ενδιαφέρον για την τηλεϊατρική έχει γίνει ακόμα εντονότερο. Η τηλεϊατρική μπορεί να περιλαμβάνει εικόνες, βίντεο, πληροφορίες ή/και φωνή. Στα αρχικά στάδια η τηλεϊατρική περιοριζόταν στην παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών υπό μορφή τηλεδιάσκεψης αλλά τώρα έχει διευρυνθεί σημαντικά με πολυμέσα, το διαδίκτυο και εφαρμογές στο Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web - WWW.) Το διαδίκτυο, μάλιστα, στο οποίο τα τελευταία χρόνια έχουν πρόσβαση μεγάλος αριθμός ανθρώπων, έχει γίνει μια από τις πιο δημοφιλείς πηγές για ιατρικές πληροφορίες αλλά επίσης έχει ανοίξει και μια καινούργια οδό για την τηλεϊατρική.

Για να εξελιχθεί η τηλεϊατρική σε χρήσιμο εργαλείο, όμως, πρέπει να μπορεί να

1. μεταδίδει εύκολα και ξεκάθαρα την κλινική εικόνα από τον ασθενή, με πληροφορίες διαγνωστικής ποιότητας, στον γιατρό που βρίσκεται μακριά.
2. να επιτρέπει στον γιατρό να ζητήσει και να διευκρινίσει άλλα ερωτήματα και πληροφορίες οι οποίες μπορεί να είναι αναγκαίες για σωστή διάγνωση.
3. να μεταδίδει την διάγνωση και να καθοδηγεί την θεραπεία, πίσω στο σημείο όπου βρίσκεται ο ασθενής.

Για να πετύχει τους πιο πάνω στόχους, η τεχνολογία πρέπει να αναπτυχθεί αρκετά ώστε

1. οι υπηρεσίες να είναι διαθέσιμες σε μεγαλύτερο αριθμό ατόμων και περιοχών
2. να υπάρχει άμεση πρόσβαση στα δεδομένα και άμεση ανταλλαγή των πληροφοριών
3. να υπάρχει υψηλής ποιότητας υποδομή και παροχή των υπηρεσιών
4. να μειωθεί το κόστος των συστημάτων υγείας γενικά.

Η τηλεϊατρική καλύπτει ένα ευρύ φάσμα περιοχών που περιλαμβάνει φροντίδα των ασθενών, εκπαίδευση, έρευνα και θέματα υγείας σε μια προσπάθεια διάγνωσης, παροχής βοήθειας, μετάδοσης και ανταλλαγής πληροφοριών και συμβουλευτικών υπηρεσιών [1]. Έχει γίνει ακόμα και αναπόσπαστο μέρος των ταξιδιών του ανθρώπου στο διάστημα! Οι ιατρικές ειδικότητες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία της τηλεϊατρικής συνεχώς και αυξάνονται. Η τηλεϊατρική σήμερα περιλαμβάνει:

1. Ανταλλαγή πληροφοριών
 - Πρόσβαση σε αρχεία ασθενών από διάφορα τμήματα / νοσοκομεία / περιοχές
 - Μετάδοση απεικονιστικών αποτελεσμάτων
2. Βοήθεια και συμβουλευτικές υπηρεσίες
 - Επίβλεψη εξ' αποστάσεως
 - Συμβουλευτικές υπηρεσίες εξ' αποστάσεως
 - Ιατρική τηλεδιάσκεψη
3. Εικονικές βιβλιοθήκες
 - Διάδοση πληροφοριών και άρθρων στο διαδίκτυο
 - Ιατρικές βάσεις δεδομένων
 - Ερευνητικές βάσεις δεδομένων
4. Εικονικά ιατρικά καταστήματα

- Λογιστικές υπηρεσίες
- Βάσεις δεδομένων
- Αγορά / πώληση ιατρικών εμπορευμάτων

Εκτός από αυτές τις περιοχές υπάρχουν φυσικά και πολλές άλλες που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, π.χ. τηλεχειρουργική, μερικές από τις οποίες θα καλύψουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

Γιατί όμως χρειαζόμαστε την τηλεϊατρική; Η λογική, και φυσικά οι υποστηρικτές της τηλεϊατρικής, υποστηρίζουν ότι με ορθολογιστική χρήση της τεχνολογίας μπορούμε να δώσουμε πρόσβαση στο ιατρικό δίκτυο σε μια μεγάλη μερίδα ανθρώπων που τώρα δεν έχουν αυτή την ευκαιρία, να μειώσουμε το κόστος της ιατρικής φροντίδας που συνεχώς αυξάνεται και ακόμα να καταφέρουμε να εξαλείψουμε τις διαφορές και διακρίσεις που υπάρχουν στην παροχή ιατρικής φροντίδας σε μερικές περιοχές. Η προσπάθεια για ανάπτυξη της τηλεϊατρικής βασίζεται στο γεγονός ότι παρά τις πολύχρονες προσπάθειες, διεθνείς και εθνικές,

- Η πρόσβαση στο σύστημα υγείας όχι μόνο δεν έχει αυξηθεί αλλά έχει μειωθεί για μερικά δυσπράγματα σύνολα, ακόμα και στην Ευρώπη και ΗΠΑ.
- Το κόστος της ιατρικής φροντίδας συνεχώς αυξάνεται
- Το χάσμα μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών σε θέματα ιατρικής συνεχώς αυξάνεται
- Διαφορές στην ποιότητα της ιατρικής φροντίδας τόσο μεταξύ χωρών αλλά ακόμα και μεταξύ περιοχών της ίδιας χώρας δεν έχουν εξαλειφθεί.



Ποιος είναι λοιπόν ο ρόλος της τηλεϊατρικής στην ιατρική και υγεία; Η τηλεϊατρική αναπτύχθηκε ταυτόχρονα αλλά, δυστυχώς, χωρίς να είναι μέρος των διεθνών και εθνικών προγραμμάτων που αναφέρονται πιο πάνω. Τώρα, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για συμπερίληψη της τηλεϊατρικής στην προσπάθεια να επιλυθούν τα πιο πάνω προβλήματα [1]. Συγκεκριμένα, η τηλεϊατρική, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στους πιο κάτω τομείς:

- Μετάδοση Πληροφοριών – παροχή πληροφοριών για τον εκάστοτε ασθενή, όταν και μόλις αυτές χρειάζονται
- Λήψη ιατρικών αποφάσεων – επικοινωνία ασθενών-γιατρών και γιατρών-γιατρών για την καλύτερη πληροφόρηση και καθοδήγηση στην λήψη αποφάσεων που έχουν να κάνουν με την υγεία του ασθενή.
- Υγιεινή Συμπεριφορά – διάδοση και διατήρηση σωστών συνηθειών υγιεινής από άτομα και κοινωνία
- Πληροφορίες και συναισθηματική υποστήριξη – από άλλους ασθενείς, μέσω δικτύων ασθενών

- Αυτο-βοήθεια – παροχή βοήθειας, συμβουλών και καθοδήγησης ώστε οι ασθενείς να μπορούν από μόνοι τους να επιλύουν κάποια προβλήματα τους και παροχή δυνατότητας τηλεπαρακολούθησης στα υπάρχοντα ιατρικά κέντρα.
- Ζήτηση και κατανομή ιατρικών υπηρεσιών – διευκόλυνση της ορθολογιστικής χρήσης των ιατρικών υπηρεσιών με παροχή βοήθειας για την επιλογή της σωστής οδού αλλά και αποφυγή χρήσης αχρείαστων υπηρεσιών.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η τηλεϊατρική μπορεί να παίξει ένα σημαντικό ρόλο στην επίλυση των προβλημάτων με τα οποία καταπνάνονται τα πλείστα διεθνή και εθνικά προγράμματα υγείας. Μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην κάλυψη των αναγκών λιγότερο αναπτυγμένων περιοχών, την μείωση του κόστους και, ίσως το πιο σημαντικό, την παροχή βοήθειας στον ασθενή όταν και όπου αυτός την χρειάζεται, ακόμα και στο σπίτι του. Μπορεί επίσης η τεχνολογία της τηλεϊατρικής να χρησιμοποιηθεί ως το εργαλείο που θα βοηθήσει στην μετάδοση, εμπέδωση και διατήρηση των συνθηκών εκείνων που είναι απαραίτητες για την βελτίωση της ατομικής και κοινωνικής υγείας αλλά και την πρόληψη των ασθενειών.

Εφαρμογές στην κλινική ιατρική

Η τηλεϊατρική έχει βρει κάποια εφαρμογή σε όλες σχεδόν τις ειδικότητες της ιατρικής αλλά η μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών εστιάζεται στην ακτινολογία, παθολογοανατομία, ψυχιατρική, δερματολογία, καρδιολογία, οφθαλμολογία, χειρουργική, παιδιατρική και έκτακτα/επείγοντα περιστατικά [2]. Κάθε εφαρμογή χαρακτηρίζεται και από ένα επίπεδο “ωριμότητας” όσον αφορά την πρόοδο στην περιοχή, την εφαρμογή προτύπων και πρωτοκόλλων γενικά αποδεκτών και αποδοχή από την ιατρική κοινότητα. Η ανάλυση της “ωριμότητας” γίνεται ακόμα με κριτήρια όπως η δυνατότητα υλοποίησης, διαγνωστική ακρίβεια, ευαισθησία και αρτιότητα, κλινικά αποτελέσματα και οικονομικά οφέλη.

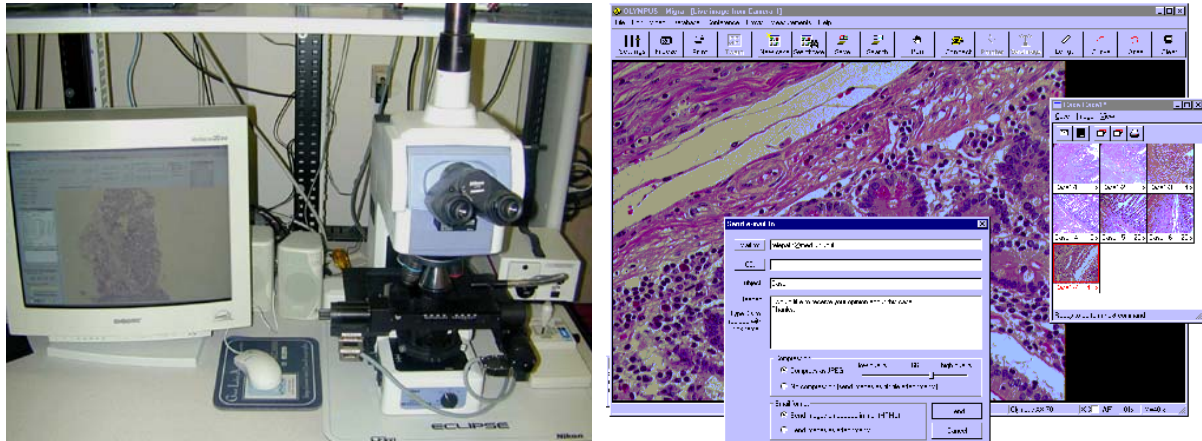
Οι τηλεακτινολογία και τηλεπαθολογία είναι οι πιο ώριμες εφαρμογές στον τομέα της τηλεϊατρικής κυρίως γιατί:

1. Οι ειδικότητες αυτές βασίζονται σε διάγνωση που γίνεται με μελέτη εικόνων παρά με απ’ ευθείας επαφή με τον ασθενή.
2. Υπάρχουν ήδη πρότυπα που εγγυούνται την ποιότητα τόσο της εικόνας όσο και της διάγνωσης και τα πρότυπα αυτά έχουν γίνει αποδεκτά από την διεθνή ιατρική κοινότητα.
3. Υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι οι εφαρμογές αυτές είναι τόσο ιατρικά αποτελεσματικές και οικονομικά επωφελής.

Η τηλεακτινολογία βασίζεται στην μετάδοση εικόνων από διάφορα συστήματα, π.χ. ακτινών Χ, αξονικής τομογραφίας, υπέρηχων κλπ, από ένα ιατρικό κέντρο (συνήθως μικρό και απομακρυσμένο) σε άλλο κέντρο (συνήθως μεγάλο, κεντρικό, διαγνωστικό ίδρυμα.) [3] Στο σημείο εφαρμογής γίνεται η απαραίτητη απεικόνιση του ασθενή και ακολούθως η εικόνα, μαζί με τα προσωπικά στοιχεία του ασθενή και την τελευταία εξέταση του, συμπιέζονται και αποστέλλονται ηλεκτρονικά σε ένα πιο μεγάλο και πιο κατάλληλα επανδρωμένο ιατρικό κέντρο. Με αυτό τον τρόπο, εάν υπάρχει κάποιος ειδικός σε ένα τομέα μπορούν άλλα ιατρικά κέντρα να ζητήσουν εύκολα την γνώμη του χωρίς να χρειάζεται η μεταφορά του ασθενή. Φυσικά, για να γίνει αυτή η ανταλλαγή απόψεων εφικτή πρέπει να υπάρχει τόσο ιατρικός λόγος αλλά και η κατάλληλη υποδομή και πρωτόκολλο συνεργασίας.



Στην παθολογοανατομία, ο γιατρός εξετάζει δείγματα και βιοψίες ιστών κάτω από το μικροσκόπιο για διάγνωση διαφόρων παθήσεων. Σε μερικές περιπτώσεις καρκίνου, μάλιστα, η εξέταση αυτή πρέπει να γίνει από εξειδικευμένο γιατρό κατά την διάρκεια της εγχείρησης και ενώ ο ασθενής βρίσκεται ακόμα υπό αναισθησία, για να καθοριστεί αν θα χρειαστεί αφαίρεση επιπρόσθετων ιστών [4]. Μερικά νοσοκομεία, ενώ διαθέτουν τις χειρουργικές εγκαταστάσεις δεν έχουν αυτή την ευχέρεια. Με την χρήση της τηλεπαθολογίας όμως, ο ιστός μπορεί να προετοιμαστεί και να μπει κάτω από το μικροσκόπιο σε ένα νοσοκομείο και ένας γιατρός από άλλο νοσοκομείο να μπορεί να χειριστεί το μικροσκόπιο και να εξετάσει τις εικόνες μέσω ειδικής συσκευής ή του υπολογιστή στο γραφείο του.



Τηλεδερματολογία

Ειδικότητες στις οποίες η τηλεϊατρική έχει βρει κάποια εφαρμογή, αλλά δεν είναι τόσο αναπτυγμένες όσο οι πιο πάνω, είναι η τηλεψυχιατρική, τηλεδερματολογία, τηλεκαρδιολογία και τηλεοφθαλμολογία.

Η τηλεψυχιατρική είναι ίσως η πιο αναπτυγμένη ειδικότητα στην οποία γίνονται επί τακτικής βάσεως εξετάσεις πραγματικού χρόνου [5]. Η διαγνωστικές πληροφορίες στην ψυχιατρική προέρχονται κυρίως από οπτικοακουστική επικοινωνία μεταξύ του ασθενή και του γιατρού. Σπάνια χρειάζεται φυσική επαφή και εργαστηριακοί έλεγχοι. Έρευνες στον τομέα έχουν δείξει ότι μια εξέταση ασθενούς εξ' αποστάσεως δεν διαφέρει καθόλου σε ποιότητα και αποτέλεσμα από μια εξέταση πρόσωπο με πρόσωπο. Η τηλεψυχιατρική χρησιμοποιεί γρήγορες συνδέσεις που επιτρέπουν την μετάδοση εικόνων σε πραγματικό χρόνο και δίνουν την δυνατότητα σε ασθενείς σε απομακρυσμένες περιοχές να συνομιλήσουν με ειδικούς ψυχιάτρους χωρίς να χρειάζεται να ταξιδέψουν μακριά. Παρ' όλο που η υποδομή στοιχίζει αρκετά, εντούτοις είναι ίσως ο μοναδικός τρόπος για αν ενθαρρυνθούν οι ασθενείς, ειδικά όσοι διαμένουν σε απομακρυσμένες περιοχές, να φροντίσουν περισσότερο για την ψυχική υγεία τους.



Τηλεψυχολογία

Η δερματολογία βασίζεται σε μεγάλο στην εικόνα του δέρματος του ασθενή. Η τηλεδερματολογία κάνει χρήση των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών μέσων για την μετάδοση εικόνων του δέρματος σε εξειδικευμένα κέντρα για διάγνωση [6]. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε ζωντανά είτε με αποθήκευση της εικόνας και αποστολής της στον ειδικό με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Η πρώτη μέθοδος έχει δοκιμαστεί αλλά παρατηρήθηκε ότι είναι πιο δύσκολο να προγραμματιστούν αυτές οι “διπλές” επισκέψεις και, επίσης, η υποδομή και κόστος λειτουργίας είναι πολύ ψηλό. Η δεύτερη μέθοδος είναι πιο προσιτή και αποτελεσματική παρ’ όλο που εξυπακούεται κάποια καθυστέρηση. Έρευνες έχουν δείξει ότι η διάγνωση καρκίνων του δέρματος μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και απ’ ευθείας παρέχουν περίπου την ίδια ακρίβεια.

Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των ερευνών στον τομέα της οφθαλμολογίας, μιας ειδικότητας που βασίζεται σχεδόν εξ’ ολοκλήρου στη διάγνωση μέσα από απεικόνιση των οφθαλμών. Τα περισσότερα οφθαλμολογικά μηχανήματα μπορούν εύκολα να μετατραπούν ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξ’ αποστάσεως [7].



Τηλεοφθαλμολογία

Η ανάγκη για γρήγορη διάγνωση αλλά και η μεγάλη θνησιμότητα στον τομέα της καρδιολογίας υποδεικνύουν ότι η ειδικότητα αυτή θα ήταν από τις πιο κατάλληλες για εφαρμογή των αρχών της τηλεϊατρικής [8]. Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την πιθανότητα της καταγραφής και μετάδοσης ηλεκτροκαρδιογραφημάτων και μετρήσεων αρτηριακής πίεσης, κυρίως για σκοπούς εφαρμογής σε συστήματα ελέγχου στο σπίτι του ασθενή. Με αυτές τις μεθόδους, θα μπορεί ο ασθενής, ενώ βρίσκεται στο σπίτι του και ίσως επί 24ώρου βάσεως, να υπόκειται στους κατάλληλους ελέγχους και επείγουσα βοήθεια να καλείται αυτόματα όταν κάτι δεν πάει καλά. Αν και κάποιες έρευνες έχουν δείξει ότι αυτά τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορεί να καθορίσουν λάθος διάγνωση μέχρι και σε 5% των περιπτώσεων, εντούτοις υπάρχει σημαντικό όφελος, τόσο οικονομικό όσο και ιατρικό, από την αποφυγή άσκοπων επισκέψεων στο νοσοκομείο αλλά και έγκαιρων επεμβάσεων όταν υπάρχει πρόβλημα.

Η τηλεχειρουργική είναι μια εξειδικευμένη περιοχή της τηλεϊατρικής στην οποία ο χειρουργός σε μια απομακρυσμένη ή απομονωμένη περιοχή ζητά την βοήθεια κάποιου πιο έμπειρου και εξειδικευμένου ειδικού κατά την διάρκεια της εγχείρησης [9]. Ειδικά σε περιπτώσεις πολύπλοκων λαπαροσκοπικών επεμβάσεων είναι απόλυτα αναγκαία η παρουσία του δεύτερου. Η συνεργασία μπορεί να πάρει την μορφή τηλεδιάσκεψης κατά την οποία ο ειδικός έχει την ευκαιρία να παρακολουθήσει την διαδικασία και να συμβουλευτεί τον άλλο χειρουργό, ή μπορεί, με την βοήθεια ρομποτικών συσκευών να ο ειδικός να εκτελέσει μέρος ή όλη την επέμβαση. Δυστυχώς, ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια του ασθενή αλλά και το κόστος της υποδομής που χρειάζεται έχουν εμποδίσει την εκτεταμένη χρήση της τηλεχειρουργικής. Αναμένεται όμως ότι στο μέλλον θα αποβεί ζωτικής σημασίας για ασθενείς σε λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές.



Τηλεχειρουργική

Στην παιδιατρική η εφαρμογή της τηλεϊατρικής εστιάστηκε μέχρι τώρα στην παροχή συνεχούς παρακολούθησης και φροντίδας σε παιδιά με χρόνια ή σπάνια προβλήματα [10]. Γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθεί η υποδομή που θα επιτρέπει την παρακολούθηση όλων των ζωτικών λειτουργιών ενός βρέφους ενώ αυτό βρίσκεται στο σπίτι και ειδικά αν το βρέφος βρίσκεται σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή ή οι γονείς του δεν έχουν αρκετά λεφτά ή ασφαλιστική κάλυψη για να το κρατήσουν στο νοσοκομείο. Οι τελευταίες έρευνες έχουν δείξει ότι τέτοιες προσεγγίσεις είναι εφικτές, καταλήγουν σε σημαντικό οικονομικό όφελος για όλους και είναι αποδεκτές από τους γονείς των ασθενών.

Η τηλεϊατρική για επείγοντα περιστατικά έχει τελευταία αναγνωριστεί ως ένας τρόπος ώστε να μειωθεί το συνεχώς αυξανόμενο κόστος και να βελτιωθεί η ποιότητα της ιατρικής φροντίδας στα τμήματα επειγόντων περιστατικών [11]. Η εφαρμογή της τεχνολογίας βρίσκει πρόσφορο έδαφος στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων διαγνωστικών διαδικασιών (π.χ. αζονική τομογραφία, ηλεκτροκαρδιογράφημα) από ειδικούς σε μη ώρες εργασίας ή σε μεγάλα νοσοκομειακά κέντρα. Ακόμα, μέσω τηλεδιάσκεψης, αυτοί οι ειδικοί μπορούν να παίξουν τον ρόλο σύμβουλου και μέντορα σε νεότερο ή μη εξειδικευμένο προσωπικό που υπηρετεί χωρίς επαρκή υποστήριξη σε απομακρυσμένες περιοχές. Πολύ σημαντική είναι επίσης, η μετάδοση των πληροφοριών και των ζωτικών λειτουργιών του ασθενή κατά την διάρκεια της μεταφοράς με το ασθενοφόρο ώστε να υπάρχει πιο έγκαιρη και κατάλληλη αντιμετώπιση του μόλις αυτός φτάσει στον νοσοκομείο. Δυστυχώς, η έλλειψη υποδομής και το κόστος αυτής της προσπάθειας έχουν καθυστερήσει την υιοθέτηση αυτών των συστημάτων.



Τηλεϊατρική για επείγοντα περιστατικά

Μια ακόμα περιοχή στην οποία η τεχνολογία της τηλεϊατρικής βρίσκει εφαρμογή είναι αυτή της “τηλε-κατ’οίκον-ιατρικής.” Σε αυτή την περίπτωση, στόχος της τεχνολογίας είναι η παρακολούθηση και η παροχή υπηρεσιών στο σπίτι των ασθενών [12]. Παρακολουθούνται το ηλεκτροκαρδιογράφημα, η αρτηριακή πίεση, το ζάχαρο και άλλες ζωτικές λειτουργίες από το σπίτι και τα αποτελέσματα αποστέλλονται και αναλύονται αυτόματα σε κάποιο κεντρικό σταθμό. Με αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή η καλύτερη προσφορά ιατρικής βοήθειας, ιδιαίτερα προς γηραιότερους ασθενείς, με λιγότερες και μικρότερες επισκέψεις στις κλινικές και νοσοκομεία αλλά και πιο έγκαιρη βοήθεια όταν αυτή χρειάζεται.



Τηλε-κατ'οίκον-ιατρική

Εφαρμογές στην δημόσια υγεία

Οι εφαρμογές της τηλεϊατρικής στην δημόσια υγεία επικεντρώνονται σε προσπάθειες επιδημιολογικής επισκόπησης και παρακολούθησης με τα κατάλληλα συστήματα επιτήρησης εξ' αποστάσεως και διανομής πληροφοριών για σκοπούς έγκαιρης πρόβλεψης αλλά και έγκαιρης αντιμετώπισης επερχόμενων επιδημιών [13]. Ο κύριος στόχος είναι να αντληθούν οι κατάλληλες πληροφορίες, να μετατραπούν σε μια μορφή χρήσιμη, να εξαχθούν συμπεράσματα και κατόπιν να γίνει η διάδοση των αποτελεσμάτων και οποιονδήποτε, αναγκαίων, πρόσθετων πληροφοριών με τρόπο ώστε να αποφευχθεί η επερχόμενη επιδημία ή να βελτιωθεί η δημόσια υγεία. Τέτοια συστήματα για να επιτύχουν πρέπει φυσικά να λαμβάνουν υπ' όψη το ευρύ φάσμα διαφορών που πιθανών να υπάρχει μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών σε θέματα κοινωνικό-οικονομικά, εκπαιδευτικά και πολιτιστικά ώστε να υπάρξει σημαντική βελτίωση σε όλα τα επίπεδα, εθνικά και διεθνή. Για να επιτύχει ο σκοπός πρέπει να υπάρξει η κατάλληλη υποδομή που θα στηρίξει τις σωστές αποφάσεις για

1. Προγραμματισμό (παρακολούθηση, μοντελοποίηση και πρόβλεψη περιβάλλοντος)
2. Διαμόρφωση (πρόβλεψη αναγκών, μοντέλα οικονομικών επιπτώσεων, μοντέλα κοινωνικής σταθερότητας, προγράμματα δράσης.)
3. Ανταπόκριση (ιατρική βοήθεια, καταπολέμηση μολυσματικών εστιών και οργανισμών, επαγρύπνηση και εκπαίδευση του κοινού.)
4. Αποκατάσταση/Προπαρασκευή (επαναφορά του περιβάλλοντος, εξάλειψη των τοξικών ή μολυσματικών στοιχείων, εξάπλωση της εκπαίδευσης, απογραφή των πόρων.)

Η επιδημίες ή φυσικές καταστροφές μπορεί να είναι συγκλονίσουν ολόκληρες κοινότητες ή περιοχές οι οποίες να μην μπορούν να αντεπεξέλθουν από μόνες τους σε σημείο που να κινδυνεύει η δημόσια υγεία ή το περιβάλλον. Κατά την περίοδο πριν από αυτά τα γεγονότα η τηλεϊατρική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκπαιδεύσει το ιατρικό και νοσοκομειακό προσωπικό αλλά και την κοινότητα γενικά. Κατά την διάρκεια των γεγονότων η τηλεϊατρική παίζει τον ρόλο της στην εφαρμογή του σχεδίου δράσης, στον διοικητικό χειρισμό του σχεδίου, με την διαχείριση κάποιων βασικών πόρων και την διεξαγωγή ιατρικών διαβουλεύσεων με εξωτερικούς ειδικούς. Μετά τα γεγονότα, η τεχνολογία συνεχίζει να παρέχει την δυνατότητα επικοινωνίας με εξωτερικούς ειδικούς και την δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης των απαραίτητων πόρων και του περιβάλλοντος.

Ιατρική Εκπαίδευση

Η πρόοδος στον τομέα της τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορίας παρέχει την δυνατότητα μεταμόρφωσης της ιατρικής εκπαίδευσης [14]. Μέχρι τώρα η τηλεεκπαίδευση είχε σαν στόχο να προσφέρει εξ' αποστάσεως φοίτηση. Με την χρήση τηλεδιασκέψεων και του διαδικτύου άρχισαν να δημιουργούνται οι πρώτες εικονικές σχολές. Με αυτά τα συστήματα οι καθηγητές και οι μαθητές συναντώνται και συζητούν μέσα σε ένα περιβάλλον όπου βίντεο, εικόνες και άλλα στοιχεία μπορούν να ανταλλάγουν και να μοιραστούν με τους άλλους. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι όσο αφορά την πρόοδο των μαθητών, την επιτυχία τους σε εθνικές ιατρικές εξετάσεις, την τήρηση εκ μέρους τους διαφόρων αρχών και πρωτοκόλλων, αλλά και όσο αφορά την άνεση και αποδοτικότητα της μάθησης, η τηλεεκπαίδευση και η συνηθισμένη εκπαίδευση έχουν τα ίδια αποτελέσματα.



Τηλεϊατρική Εκπαίδευση

Η τηλεεκπαίδευση έχει επίσης σημαντικό ρόλο να παίξει στην δια βίου εκπαίδευση του ιατρικού προσωπικού. Σε αυτή την περίπτωση έχει ως στόχο να διατηρήσει το ιατρικό προσωπικό ενήμερο με τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα. Έρευνες σε αυτόν τον τομέα έχουν καταδείξει ότι οι γιατροί προτιμούν αυτό-καθοδηγούμενα μαθήματα όπου έχουν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν θέματα του δικού τους ενδιαφέροντος. Η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στην διαμόρφωση τέτοιων προγραμμάτων με την παροχή δυνατότητας συμπερίληψης ρεαλιστικών προσομοιώσεων με πολυμέσα και συμπερίληψη εξεταστικών δυνατοτήτων με αυτόματη βαθμολόγηση αλλά και παροχή πληροφοριών και συμβουλών ως προς τα αποτελέσματα της εξέτασης.

Με την ανάπτυξη του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια η ιατρική κοινότητα έχει τώρα πρόσβαση σε ένα ατέλειωτο απόθεμα πληροφοριών και δυνατότητα εφαρμογής βοηθημάτων με πολυμέσα χωρίς ιδιαίτερο κόστος. Υπάρχουν στο διαδίκτυο άρθρα, διαλέξεις, σημειώσεις, ασκήσεις, δωμάτια συζήτησης (chat rooms) και δυνατότητα ζωντανής ή όχι συζήτησης φοιτητών με καθηγητές, δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη “εικονική τάξη.” Όλα αυτά μαζί με τις τεχνολογίες συμπίεσης και μετάδοσης εικόνων, έχουν οδηγήσει σήμερα στον “Ορατό Άνθρωπο” (Visible Human) και την “Δημόσια Ιατρική.” (PubMed) Το πρώτο είναι μια συλλογή από αξονικών και μαγνητικών τομογραφιών που συνοδεύονται από τομές του ίδιου του ανθρώπου για μια πλήρη συλλογή απεικόνισης, τόσο για άντρα όσο και για γυναίκα. Το δεύτερο, είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει τις περιλήψεις όλων των άρθρων που έχουν εκδοθεί σε ιατρικά περιοδικά με την δυνατότητα αναζήτησης θεμάτων ή συγγραφέων. Αυτά τα δύο εργαλεία είναι μόνο παραδείγματα του τι μπορεί να δώσει η τηλεεκπαίδευση τόσο στους φοιτητές όσο και στους έμπειρους ερευνητές.

http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/>



Ο “Ορατός Άνθρωπος”

Διάφορες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η μάθηση στο διαδίκτυο και οι συνηθισμένες μέθοδοι μπορεί να είναι το ίδιο αποτελεσματικές. Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι φοιτητές της ιατρικής προτιμούν να διαβάσουν το υλικό στο διαδίκτυο με πολυμέσα παρά τυπωμένο παρ’ όλο που συνήθως χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να καλύψουν το ίδιο θέμα στο διαδίκτυο.

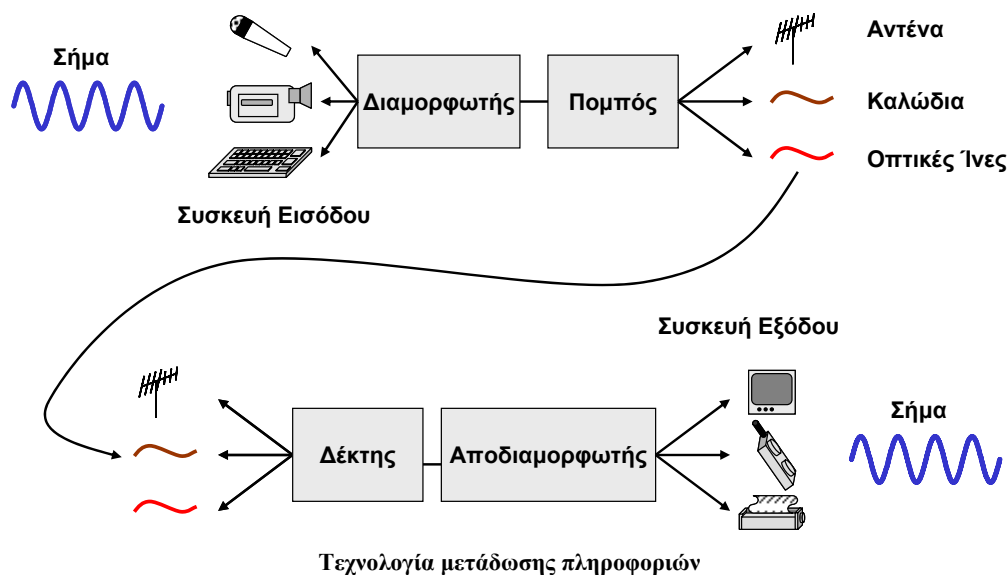
Υπάρχουν όμως και προβλήματα με την τηλεεκπαίδευση. Υπάρχουν, για παράδειγμα, στοιχεία ότι κάποιοι φοιτητές όταν δεν βρίσκονται στην τάξη αλλά παρακολουθούν κάποια μαθήματα εξ' αποστάσεως έχουν την τάση να μην συμμετέχουν πλήρως στο μάθημα. Ακόμα, για την επιτυχία αυτών των εξ' αποστάσεως μαθημάτων ήταν απαραίτητη η παρουσίαση τους από ομάδα εμπειρογνομόνων αντί από ένα ειδικό. Γενικά, τα προβλήματα με την τηλεεκπαίδευση μπορούν να χωριστούν σε προβλήματα των μαθητών, των εκπαιδευτών και του συστήματος. Τόσο οι μαθητές όσο και οι εκπαιδευτές πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με την τεχνολογία. Η τεχνολογία πρέπει να είναι φιλική προς τον χρήστη, ψηλής ποιότητας, αξιόπιστη και αποδοτική.

Η πρόοδος στον τομέα της τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορίας μπορεί να επιφέρει μεγάλες καινοτομίες στον χώρο της εκπαίδευσης. Μπορούν να καταστήσουν την εκπαίδευση πιο προσιτή και να επιφέρουν κάποια εξίσωση στην παροχή της εκπαίδευσης σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο. Αυτοί οι στόχοι για να επιτευχθούν χρειάζεται, φυσικά, ακόμα περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας.

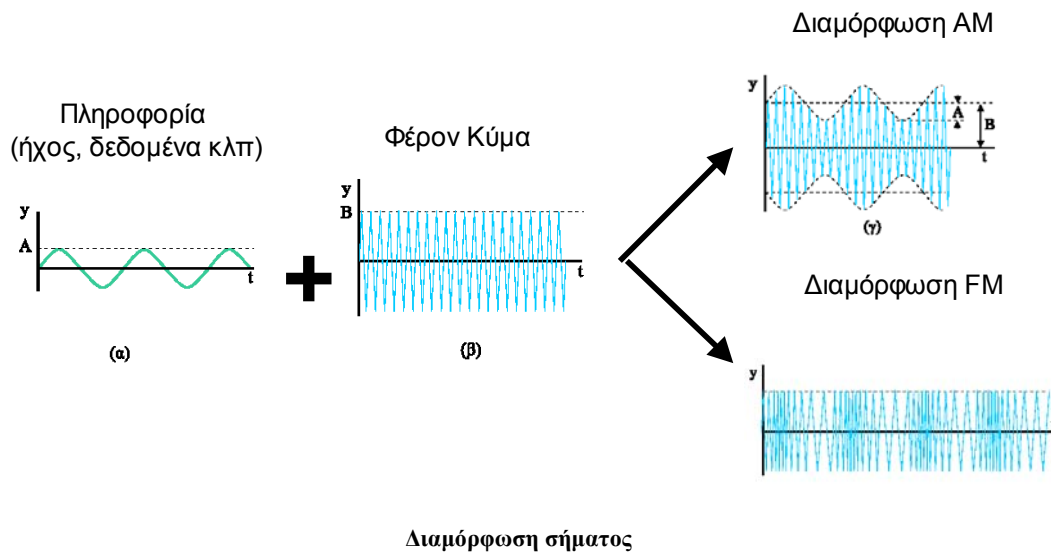
Τεχνολογία

Η τηλεϊατρική βασίζεται στην τεχνολογία και υποδομή των τηλεπικοινωνιών. Είναι αυτή η τεχνολογία που παρέχει τη δυνατότητα διακίνησης των πληροφοριών ηλεκτρονικά μεταξύ γεωγραφικά διασκορπισμένων περιοχών. Οι συμμετέχοντες συνδέονται μέσω δικτύων. Η επικοινωνία μπορεί να γίνει μέσω δορυφόρου, σύνδεσης μικροκυμάτων, ή επίγειων γραμμών (είτε χάλκινων τηλεφωνικών γραμμών, είτε οπτικών ινών). [15] Το μέσο που χρησιμοποιείται από τα προγράμματα τηλεϊατρικής καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθέσιμη τοπική υποδομή αλλά και καθορίζει το βαθμό πρόσβασης σε αυτό το δίκτυο.

Η εποχή μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί “εποχή της πληροφορίας”. Ασύλληπτα μεγάλος αριθμός πληροφοριών μεταφέρονται από τον πομπό στο δέκτη της πληροφορίας, μέσα από καλώδια χαλκού ή από οπτικές ίνες (ενσύρματη τηλεπικοινωνία) ή μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ασύρματη τηλεπικοινωνία). Για να μεταδοθεί κάποια πληροφορία, π.χ. ένας ήχος ή κάποια δεδομένα, πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτή η μετατροπή γίνεται με διάφορες “συσκευές εισόδου” όπως μικρόφωνα, κάμερες, πληκτρολόγια, κλπ. Κατόπιν αυτές οι πληροφορίες προστίθενται σε ένα “φέρον κύμα,” μια διαδικασία που αποκαλείται “διαμόρφωση.” Μετά τη διαμόρφωση, το σήμα μεταφέρεται στο πομπό και από εκεί, μέσω αντένας, καλωδίων, οπτικών ινών, κλπ, στο μέσο μετάδοσης. Ένας απομακρυσμένος δέκτης θα παραλάβει αυτό το σήμα, θα αφαιρέσει το φέρον κύμα και θα μετατρέψει τις πληροφορίες πίσω σε μια χρήσιμη μορφή σε κάποια “συσκευή εξόδου,” π.χ. μεγάφωνο, οθόνη, εκτυπωτή, τηλέφωνο, κλπ.



Για να μεταδώσουμε την πληροφορία, το ηλεκτρικό σήμα διαβιβάζεται στην κεραία του πομπού, αφού προηγουμένως το διαμορφώσουμε. Διαμόρφωση σημαίνει ότι το σήμα προστίθεται σε ένα υψίσυγχο κύμα, που παράγεται στον πομπό και έχει συγκεκριμένη συχνότητα (φέρουσα συχνότητα.) Η διαμόρφωση ονομάζεται διαμόρφωση κατά πλάτος ή AM (από τις λέξεις amplitude modulation) όταν στο φέρον κύμα δημιουργούνται “κορφές” και “κοιλιάδες” που αντιστοιχούν στο κύμα των δεδομένων. Το σήμα μπορεί να διαμορφωθεί και στη συχνότητά του. Η διαμόρφωση αυτή λέγεται διαμόρφωση κατά συχνότητα ή FM (frequency modulation.) Στη διαμόρφωση κατά συχνότητα στο φέρον κύμα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα. Όσο πιο ισχυρό είναι το ηχητικό σήμα τόσο πιο έντονα είναι τα πυκνώματα και αραιώματα που δημιουργούνται στο φέρον κύμα. Το πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι το διαμορφωμένο κύμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από παράσιτα. Τα παράσιτα, κατά τη συμβολή τους με το διαμορφωμένο κύμα, επηρεάζουν κυρίως το πλάτος και λιγότερο την συχνότητα. Αυτός είναι ακριβώς ο λόγος γιατί τα ραδιοφωνικά σήματα FM είναι πολύ καλύτερης ποιότητας από τα σήματα AM.



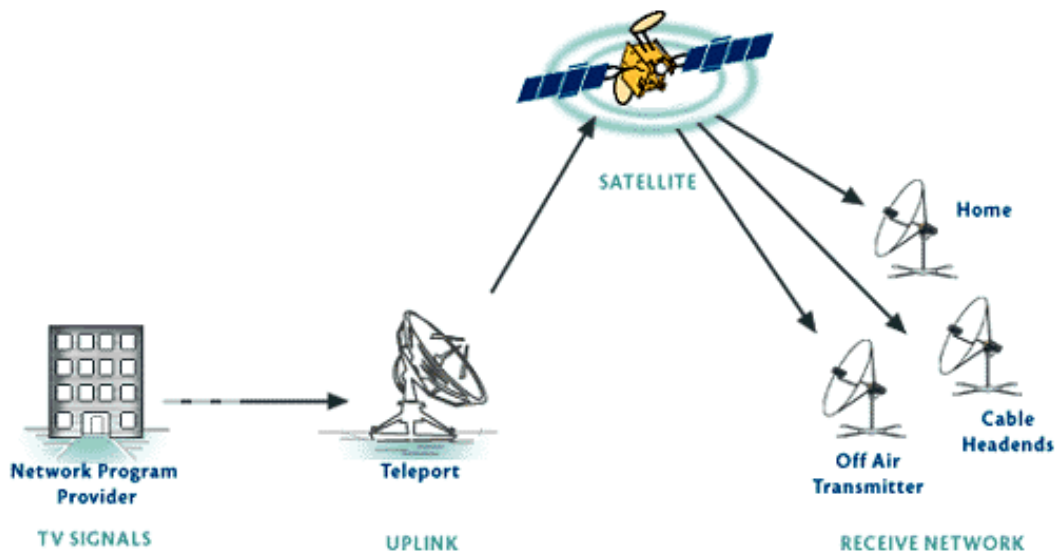
Διαμόρφωση σήματος

Παραδείγματα μέσων μετάδοσης είναι τα τηλεφωνικά καλώδια, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της φωνής και οι οπτικές ίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο για μετάδοση φωνής όσο και για μετάδοση δεδομένων κάθε μορφής. Ας σημειωθεί επιπλέον πως τα μέσα μετάδοσης δεν είναι μόνο ενσύρματα αλλά και ασύρματα. Παράδειγμα ασύρματου μέσου μετάδοσης είναι η ατμόσφαιρα της γης και το διάστημα, τα οποία επιτρέπουν τη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι δυο βασικές κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να χωρίσουμε τα μέσα μετάδοσης, είναι τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης και τα ασύρματα μέσα μετάδοσης. Οι βασικές διαφορές ανάμεσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες μέσων μετάδοσης είναι οι ακόλουθες :

- Οι ενσύρματες συνδέσεις έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης το οποίο αυξάνει ανάλογα με την απόσταση. Επιπλέον είναι αναγκαία η χρήση αναμεταδοτών, οι οποίοι θα πρέπει να συντηρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα μαζί με όλα τα καλώδια, διότι με την πάροδο του χρόνου λαμβάνει χώρα φθορά του εξοπλισμού, η οποία οδηγεί σε ανεπιτυχείς μεταδόσεις δεδομένων.
- Τα ασύρματα μέσα μετάδοσης, μειονεκτούν στον τρόπο μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων στην ατμόσφαιρα αφού λαμβάνει χώρα μείωση της ισχύος του σήματος, κάτι που φυσικά είναι ανεπιθύμητο. Επιπλέον ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται, είναι πιθανόν η μετάδοση της πληροφορίας, να επηρεαστεί από έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως είναι για παράδειγμα οι καταιγίδες, με τελικό αποτέλεσμα, την εμφάνιση σφαλμάτων.
- Τέλος τα ασύρματα μέσα μετάδοσης, επηρεάζονται από βιομηχανικούς θορύβους πολύ περισσότερο από τα ενσύρματα μέσα, ειδικότερα εάν τα δευτερά είναι οπτικές ίνες ή θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.

Τα ραδιοκύματα (radio waves) αποτελούν μια ειδική κατηγορία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που καλύπτουν μια πολύ μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η συχνότητά τους κυμαίνεται από 3 KHz έως 300 MHz, και το μήκος κύματός τους από 1 m έως 100 Km. Ανάλογα με την τιμή της συχνότητάς τους, υποδιαιρούνται σε πέντε κατηγορίες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, όπως για παράδειγμα για τη μετάδοση τηλεοπτικών σημάτων (η κατηγορία VHF, (Very High Frequency)). Για τη μετάδοση αυτών των σημάτων χρησιμοποιείται μια κεραία, το κύκλωμα της οποίας διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα, απελευθερώνοντας με τον τρόπο αυτό ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα συλλέγονται από την κεραία λήψης, η οποία ως σημειωθεί, δεν είναι ανάγκη να βρίσκεται σε οπτική επαφή με την κεραία εκπομπής της ακτινοβολίας. Τα ραδιοκύματα έχουν χαμηλότερες συχνότητες από τα μικροκύματα, διανύουν εκατοντάδες χιλιόμετρα, αλλά είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις παρεμβολές.

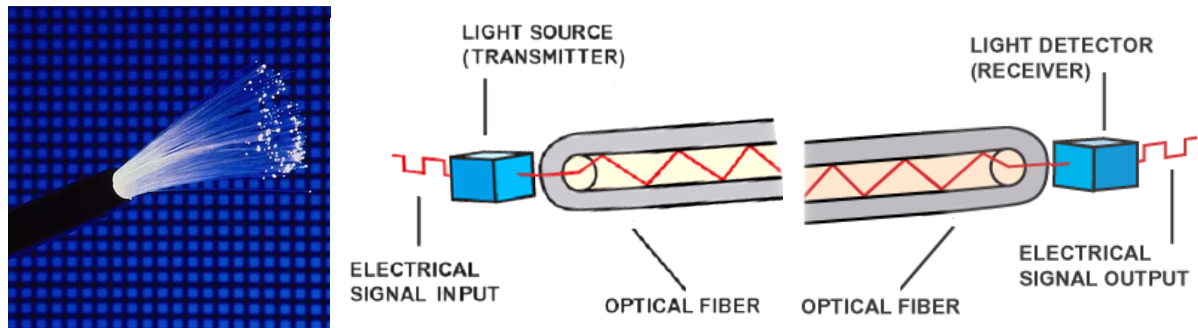
Τα μικροκύματα (micro waves) είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος που κυμαίνεται από 1 έως 30 cm, δηλαδή είναι μεγαλύτερο του ορατού φωτός και μικρότερο των ραδιοκυμάτων. Πιο συγκεκριμένα αυτού του είδους η ακτινοβολία, καλύπτει την περιοχή φάσματος από 300 MHz έως 30 GHz, αν και στην πραγματικότητα οι εφαρμογές που χαρακτηρίζονται από τη χρήση μικροκυμάτων, τα χρησιμοποιούν στην περιοχή τιμών συχνότητας μεταξύ 2 και 8 GHz. Το κύριο χαρακτηριστικό της μετάδοσης των μικροκυμάτων, είναι πως αυτά δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα, και επομένως μεταδίδονται σαν επιφανειακά κύματα, δηλαδή ακολουθούν την καμπυλότητα της γης, και κινούνται κατά μήκος της επιφάνειάς της. Επιπλέον μεταδίδονται ευθύγραμμα, και στις πιο πολλές περιπτώσεις απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών οι οποίοι ενισχύουν το σήμα και το προωθούν προς τον τελικό του προορισμό. Προκειμένου η μετάδοση των ραδιοκυμάτων να μη διακόπτεται από φυσικά και τεχνητά εμπόδια, όπως είναι για παράδειγμα τα βουνά και τα υψηλά κτίρια, ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται τοποθετημένοι σε υψηλούς πύργους οι οποίοι έχουν οπτική επαφή και βρίσκονται σε απόσταση της τάξεως των δεκάδων χιλιομέτρων.



Δορυφορικές Επικοινωνίες

Η δορυφορική επικοινωνία πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών δορυφόρων που βρίσκονται στο διάστημα και εκτελούν ομαλή κυκλική κίνηση γύρω από τη γη, και επίγειων σταθμών, με τους οποίους οι δορυφόροι διατηρούν συνεχώς οπτική επαφή. Η επίτευξη συνεχούς οπτικής επαφής πραγματοποιείται πολύ εύκολα τοποθετώντας το δορυφόρο σε τροχιά ύψους 36.000 Km. Στο ύψος αυτό η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δορυφόρου αποδεικνύεται ότι είναι ίση με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης, γεγονός που συνεπάγεται πως ο δορυφόρος βρίσκεται συνεχώς στην ίδια θέση του ουρανού σε σχέση με τον επίγειο σταθμό. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη τροχιά που αντιστοιχεί στο ύψος των 36.000 Km, ονομάζεται γεωστατική τροχιά. Η βασική λειτουργία του δορυφόρου, είναι να συλλαμβάνει με τις κεραίες του σήματα μικροκυμάτων σε συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων, τα οποία εκπέμπονται από τους επίγειους σταθμούς εκπομπής. Τα σήματα αυτά ενισχύονται και αναμεταδίδονται σε διαφορετική συχνότητα, προς τους επίγειους σταθμούς λήψης. Η

διάταξη που πραγματοποιεί όλη αυτή τη διαδικασία ονομάζεται δορυφορικός αναμεταδότης, και κάθε δορυφόρος περιλαμβάνει περίπου 20 τέτοιες διατάξεις, οι οποίοι γενικά έχουν διαφορετικό εύρος ζώνης, και λειτουργούν σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων. Λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύουν τα σήματα προς μετάδοση, παρατηρείται σημαντική καθυστέρηση (της τάξης των 500 msec) στη μετάδοση του σήματος και προς τις δυο κατευθύνσεις.

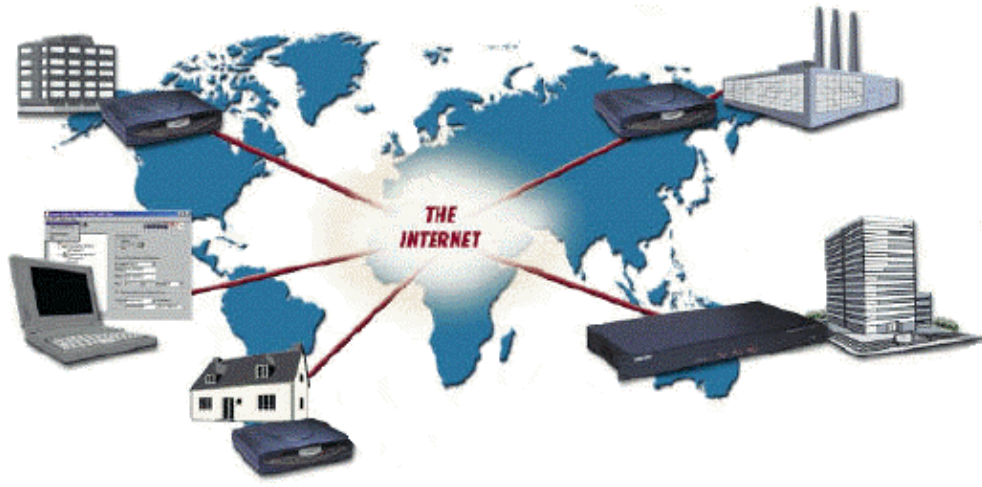


Οπτικές ίνες (αριστερά) και μετάδοση σήματος με οπτικές ίνες (δεξιά.)

Οι οπτικές επικοινωνίες αρχίζουν με ένα ηλεκτρικό σήμα που είτε είναι διαμορφωμένο (αναλογικό) είτε αναβοσβήνει σε 0 και 1 (ψηφιακό.) Το σήμα αυτό μετατρέπεται σε οπτικό σήμα στην πηγή του φωτός, που μπορεί να είναι ένα λέιζερ, και τα μήκη κύματος του φωτός, που η οπτική ίνα είναι σχεδιασμένη να μεταφέρει, ποικίλουν από 800nm μέχρι 1500nm (υπέρυθρη ακτινοβολία.) Κατόπιν, το φως ταξιδεύει κατά μήκος της οπτικής ίνας με διαδοχικές ολικές ανακλάσεις. Όταν το σήμα φτάσει στον προορισμό του, ένας φωτοανιχνευτής μετατρέπει την ένταση του σήματος σε ηλεκτρικό σήμα και το ηλεκτρικό σήμα καταλήγει στο δέκτη. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται, κυρίως, όπου οι αποστάσεις είναι μεγάλες και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χάλκινο καλώδιο και όπου οι απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης είναι αρκετά αυξημένες. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οπτική ίνα για να καλύψουμε απόσταση 5Km και οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων φθάνουν τα 10 Gbps, δηλαδή 10 δισεκατομμύρια bits (0 ή 1) το δευτερόλεπτο! Ένα καλώδιο οπτικών ινών, το οποίο περιέχει μια δέσμη οπτικών ινών μπορεί να μεταφέρει εκατό τηλεοπτικά κανάλια ταυτόχρονα, χωρίς το πάχος του να ξεπερνά το πάχος μιας κιμωλίας. Μια οπτική ίνα μπορεί να εξυπηρετήσει χιλιάδες τηλεφωνικά κυκλώματα και έτσι ισοδυναμεί με εκατοντάδες χάλκινους αγωγούς, ενώ ταυτόχρονα υπερτερεί και στην ποιότητα. Μια μόνο οπτική ίνα (το πάχος περίπου μιας τρίχας) μπορεί να μεταφέρει πάνω από 1000 τηλεφωνήματα ταυτόχρονα. Ολόκληρο το λεξικό Μπαμπινιώτη μπορεί να μεταδοθεί μέσω οπτικών ινών από ένα υπολογιστή σε άλλο σε λιγότερο από 6 δευτερόλεπτα. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η πολύπλοκη τεχνολογία εγκατάστασής τους, και η υψηλή τιμή και ευαισθησία του εξοπλισμού διασύνδεσης που τη συνοδεύει.

Η υποδομή των ιατρικών συστημάτων αποτελείται από τον απαραίτητο εξοπλισμό και λογισμικό που χρειάζεται για την συλλογή και παρουσίαση κλινικών πληροφοριών και για αποθήκευση και ανάκτηση των στοιχείων αυτών [16]. Η τεχνολογία συλλογής και παρουσίασης περιλαμβάνει συστήματα τηλεδιασκέψεων, ψηφιοποίηση στοιχείων και παρουσίαση (ψηφιακές ακτινογραφίες και άλλες εργαστηριακές εξετάσεις), επεξεργαστές κειμένων (σαρωτές, τηλεομοιότυπα), ή επεξεργαστές εικόνες (εικονοληπτικές μηχανές, οθόνες). Η αποθήκευση στοιχείων και η ανάκτηση τους περιλαμβάνουν συσκευές αποθήκευσης (δισκάκια, ταινία, ψηφιακοί δίσκοι) μαζί με το λογισμικό και τεχνολογία για συμπίεση, διαβίβαση, και αποθήκευση των στοιχείων. Οι εφαρμογές είναι βασισμένες σε ποικίλα δίκτυα, που κυμαίνονται από το συνηθισμένο τηλεφωνικό δίκτυο ως πολύ πιο εξειδικευμένα δίκτυα, όπως απ' ευθείας ζεύξεις ή δορυφόρους. Η τηλεϊατρική περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών όπως τεχνολογία υπολογιστών, ψηφιακής απεικόνισης, τηλεοπτικών συνδιασκέψεων, ελέγχου εξ' αποστάσεως, διανομής αρχείων, δικτύωσης, και τηλεπικοινωνιών [17]. Είναι επίσης άκρως απαραίτητη και η τεχνολογία που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ όλων αυτών των τεχνολογιών. Με διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως εικονοληπτικές μηχανές, τομογράφους, υπολογιστές κλπ, το ιατρικό προσωπικό δημιουργεί πληροφορίες που διαβιβάζονται έπειτα μέσω

καλωδίων, δορυφορικών συστημάτων, ή δικτύων υπολογιστών. Στα περισσότερα από αυτά τα δίκτυα τα σήματα ταξιδεύουν από διάφορα ενδιάμεσα σημεία, μέσω δρομολογητές (routers) και μεταγωγείς (switches,) που αποφασίζουν ποιος είναι ο καλύτερος δρόμος για να φτάσουν τα ηλεκτρονικά μηνύματα στον προοριζόμενο προορισμό τους [16].



Το διαδίκτυο

Ένα μεγάλο μέρος του πρόσφατου ενδιαφέροντος για τις τηλεπικοινωνίες προέρχεται από την εκπληκτική ανάπτυξη του διαδικτύου. Το διαδίκτυο είναι ένα πλέγμα συνδεδεμένων υπολογιστών και επιτρέπει σε οποιοδήποτε υπολογιστή, με μια σύνδεση σε αυτό, να επικοινωνήσει με οποιοδήποτε άλλο συνδεδεμένο υπολογιστή, οπουδήποτε και να είναι ο κάθε ένας από αυτούς. Καλύπτει εκατομμύρια υπολογιστών και χρησιμοποιεί διάφορα μέσα, που κυμαίνονται από τηλεφωνικές γραμμές ως συνδέσεις με οπτικές ίνες, μικροκύματα και δορυφορικές μεταδόσεις. Το διαδίκτυο υποστηρίζει τηλεπικοινωνίες με διάφορους τρόπους. Σύνθεση, αποστολή, και λήψη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μεταξύ των χρηστών είναι δυνατή και πολύ συνηθισμένη. Ένας χρήστης μπορεί επίσης παίρνει αντίγραφα αρχείων από άλλους υπολογιστές με τη χρήση προγραμμάτων για τη μεταφορά αρχείων όπως το FTP. Ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web ή WWW) αποτελείται από εκατομμύρια υπολογιστές ενωμένους στο διαδίκτυο που μπορούν να ανταλλάζουν πληροφορίες και αρχεία με την χρήση ειδικού λογισμικού πλοήγησης (browser.) Η ψηφιακή τεχνολογία επιτρέπει την καταγραφή όλων των ιατρικών στοιχείων ενός ασθενή και την πρόσβαση σε αυτά από διάφορους υπολογιστές [18]. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η έγκαιρη και έγκυρη πρόσβαση σε ζωτικά δεδομένα για τον ασθενή όταν και μόλις αυτά χρειαστούν. Παρουσιάζονται, όμως, ταυτόχρονα και θέματα ασφάλειας τόσο από μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό του ιατρικού ιδρύματος όσο και από εξωτερικούς “παραβιαστές” (hackers) των βάσεων δεδομένων. Υπάρχει ακόμα και το πρόβλημα της μη τυποποιημένης και ομοιόμορφης αρχειοθέτησης όλων αυτών των στοιχείων κάτι που κάνει την ανταλλαγή τους μεταξύ ιδρυμάτων δύσκολη. Με τη γρήγορη ανάπτυξη του διαδικτύου και των εφαρμογών βασισμένων σε αυτό, η τηλεϊατρική μπορεί ενδεχομένως να παρέχει σημαντική κάλυψη σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές όπου λείπει η εξειδικευμένη ιατρική πείρα. Μέσω του διαδικτύου, τα αρχεία και τα ζωτικής σημασίας στοιχεία των ασθενών στις απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές μπορούν να τεθούν στην διάθεση ιατρικών εμπειρογνομόνων σε μεγάλα ιατρικά κέντρα για τη σε πραγματικό χρόνο αξιολόγηση ή διάγνωση [19].

Δίκτυα και Διαφορές

Παρ’ όλη την πρόοδο στον τομέα των δικτύων δημόσιας υγείας, παραμένει ένα μεγάλο κενό μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. Δυστυχώς τα πιο πολλά δίκτυα περιορίζονται στις χώρες τις βορείου Αμερικής και δυτικής Ευρώπης [20].

Δεδομένου ότι η τεχνολογία πληροφοριών συνεχίζει να εξελίσσεται, σταθερά και αξιόπιστα οργανωτικά πρότυπα, με προκαθορισμένες ιδιότητες, πρέπει να καθοριστούν και να προωθηθεί

οργανωμένη χάραξη πολιτικής. Σε εθνικά και σε διεθνή επίπεδα, η ανάπτυξη έχει ως στόχο την εξομάλυνση γεωγραφικών δυσαναλογιών στην πρόσβαση σε ποιοτική ιατρική περίθαλψη μεταξύ περιοχών και μεταξύ χωρών, αντίστοιχα. Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας επιτυγχάνεται με τη καταλληλότερη επιλογή τοποθεσίας. Η κατανομή γίνεται δικαιότερη με την παροχή στους ασθενείς της μεγαλύτερης δυνατής πρόσβασης. Η κατάλληλη ανάπτυξη της τηλεϊατρικής μπορεί να μεγιστοποιήσει και την αποδοτικότητα και τη δίκαιη κατανομή μια και μπορεί να καταστήσει δυνατή την αποφυγή μετακίνησης υπαρχόντων εγκαταστάσεων, την καθιέρωση των νέων εγκαταστάσεων με ελάχιστο κόστος, και τη δημιουργία των ευέλικτων εικονικών περιοχών που να λειτουργούν χωρίς τους περιορισμούς των παραδοσιακών γεωγραφικών περιοχών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι G7/8 αναπτυγμένες χώρες συνεργάζονται στην ανάπτυξη διάφορων περιφερειακών δικτύων δοκιμής της τηλεϊατρικής, αλλά οι κυριότερες και μεγαλύτερες προσπάθειες προς την ανάπτυξη διεθνών περιφερειακών δικτύων τηλεϊατρικής παραμένουν στην Ευρώπη. Επιπλέον, και άλλες αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, περιλαμβανόμενων και των ιατρικά υποανάπτυκτων περιοχών της Αφρικής και Ασίας, έχουν οργανώσει παρόμοια δίκτυα. Δυστυχώς, οι διαφορές στην υποδομή της τεχνολογίας πληροφοριών, στην κουλτούρα που περιβάλλει την υγεία, ασθένεια και ιατρική φροντίδα, και στη γλώσσα έχουν παρακωλύσει την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών των διεθνών δικτύων.

Οι προσπάθειες να αναπτυχθούν τα περιφερειακά δίκτυα τηλεϊατρικής έχουν να αντιμετωπίσουν και άλλα προβλήματα στην εφαρμογή της έννοιας της περιφερειακής αποκέντρωσης, συμπεριλαμβανομένων των θεμάτων του οργανωτικού ελέγχου και της εθνικής πολιτικής. Η "εικονική αποικιοκρατία" μπορεί να προκύψει ως ζήτημα εάν οι αναπτυγμένες χώρες προσπαθήσουν να ελέγξουν τις μικρότερες, λιγότερο αναπτυγμένες από αυτές. Η παγκόσμια περιφερειακή αποκέντρωση πρέπει σε αυτήν την περίπτωση να αναγνωρίσει και να προσαρμοστεί στις ιατρικές αρχές και συστήματα των διαφόρων λαών.

Προκλήσεις και Μέλλον της Τηλεϊατρικής

Σήμερα υπάρχουν πολλές υπολογιστικές και τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες οι οποίες θα μπορούσαν να παίξουν σημαντικό ρόλο στον τομέα της ιατρικής και της υγείας. Είναι, όμως, πολύ σημαντικό το ιατρικό και νοσοκομειακό προσωπικό να αφοσιώσει τον χρόνο που χρειάζεται ώστε να μάθει τις πιθανές εφαρμογές και την χρησιμότητα τις τηλεϊατρικής υπό τις σωστές περιστάσεις. Είναι επίσης πολύ σημαντικό, οι επιστήμονες στους τομείς της υγείας, τεχνολογίας και υπολογιστών να μάθουν να συνεργάζονται στενά έτσι ώστε να επιτύχουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Υπάρχουν όμως και κάποια εμπόδια στον δρόμο της τηλεϊατρικής, τεχνολογικά, πολιτικά και επαγγελματικά [16]. Μερικές από τις προκλήσεις στο μέλλον της τηλεϊατρικής περιλαμβάνουν:

1. Προγραμματισμός και ανάπτυξη υποδομής. Εφαρμογές στην τηλεϊατρική συνήθως δεν περιλαμβάνονται μέσα στα προγράμματα σχεδιασμού και ανάπτυξης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Οι φορείς χάραξης πολιτικής στο κρατικό και εθνικό επίπεδο πρέπει να εξετάσουν τις ανάγκες αυτές. Έλλειψη ομοιόμορφης πολιτικής και τα προτύπων δημιουργεί προβλήματα στα ιατρικά κέντρα. Η απουσία πολιτικής δημιουργεί επίσης σύγχυση για τα ατομικά δικαιώματα των πληροφοριών ασθενών και πώς αυτά επιβάλλονται.
2. Χορήγηση αδειών και πιστοποιητικών. Οι γιατροί και το άλλο παραϊατρικό προσωπικό πρέπει να ικανοποιήσουν πολυάριθμες απαιτήσεις για να πάρουν άδεια εξάσκησης του επαγγέλματος σε κάθε κράτος. Ένα διεθνές σύστημα χορήγησης αδειών θα επεκτείνει την αγορά της τηλεϊατρικής, θα προωθήσει τη χρήση και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, και ταυτόχρονα θα εξαλείψει πολλές από τις νομικές και ρυθμιστικές ασάφειες που περιορίζουν το παρόν σύστημα.
3. Οικονομικός αντίκτυπος. Ο ανταγωνισμός για τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, ιδιαίτερα στις μεγάλες χώρες και στις αγροτικές περιοχές, έχει οδηγήσει σε αυθαίρετα όρια μεταξύ των περιοχών παροχής υπηρεσιών διάφορων εταιριών και, κατά συνέπεια, σε υψηλό κόστος για το επίπεδο των υπηρεσιών που χρειάζονται για να υποστηρίξουν την τηλεϊατρική. Δεν υπάρχει καμία

σαφής πολιτική, σε εθνικά επίπεδα, που να επιτρέπει την πολιτική των αποζημιώσεων για την τηλεϊατρική και είναι αμφίβολο αν θα υπάρξουν προτού βρεθεί σαφής και βιώσιμη χρήση της τεχνολογίας.

4. Ασφάλεια και εμπιστευτικότητα. Αν και το διαδίκτυο είναι ένα θαυμάσιο μέσο για ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων υπολογιστών, είναι εμφανώς ευαίσθητο σε προβλήματα ασφάλειας. Δεδομένου ότι η εμπιστευτικότητα των πληροφοριών ασθενών είναι ένας απαραίτητος θεσμός της ιατρικής φροντίδας, τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την χωρίς εξουσιοδότηση μεταφορά και πρόσβαση στα ιατρικά δεδομένα πρέπει να επιλυθούν επαρκώς ώστε να εξασφαλίζουν την ασφάλεια του ασθενή και των ιατρικών στοιχείων του.
5. Αξιοπιστία της έρευνας στο διαδίκτυο. Η ευκολία πρόσβασης στο διαδικτύου καθιστά τη δημοσίευση νέων αποτελεσμάτων πολύ γρηγορότερη και ευκολότερη απ' ό,τι μέσω άρθρων σε περιοδικά. Εντούτοις, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να βεβαιωθεί κάποιος ότι οι πληροφορίες που δημοσιεύονται στο διαδίκτυο είναι αξιόπιστες ή ακόμα και αληθινές. Καθένας με μια σύνδεση με το διαδίκτυο μπορεί να φτιάξει μια ιστοσελίδα και να δημοσιεύσει οτιδήποτε θέλει. Επομένως, τα ερευνητικά αποτελέσματα στον Παγκόσμιο Ιστό (WWW) ή άλλη υπηρεσία του διαδικτύου πρέπει να διερευνούνται προσεκτικά πριν χρησιμοποιηθούν.
6. Ταχύτητα της επικοινωνίας. Το διαδίκτυο μεταφέρει εκατομμύρια πακέτα πληροφοριών κάθε λεπτό, και η ζήτηση γίνεται συνεχώς μεγαλύτερη. Μερικοί κριτικοί έχουν προβλέψει ακόμα και την ενδεχόμενη κατάρρευση του διαδικτύου από την κυκλοφορία που αναγκάζεται να μεταφέρει. Ακόμα και όταν τα συστήματα τηλεϊατρικής λειτουργούν με την μέγιστη ταχύτητα, είναι δύσκολο να διαβιβάσουν μέσω διαδικτύου τη μεγάλη ποσότητα πληροφοριών (όπως αυτήν που απαιτείται για τηλεδιάσκεψη) σε ικανοποιητικά ποσοστά ώστε να αποφευχθούν καθυστερήσεις και υποβάθμιση της ποιότητας των εικόνων ή του ήχου. Τα νέα μέσα δικτύωσης θα είναι σε θέση να μεταφέρουν περισσότερες πληροφορίες με γρηγορότερες ταχύτητες.

Αν και αυτές οι προκλήσεις είναι δύσκολες, μπορούν να υπερνικηθούν με συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων στον ιατρικό και τηλεπικοινωνιακό τομέα και κυβερνήσεων. Τέτοια συνεργασία είναι το κλειδί που θα επιτρέψει στην τηλεϊατρική να βοηθήσει στην βελτίωση της υγείας και της ιατρικής περίθαλψης.

Ολοκαίνουργια Όργανα

Ο 9χρονος Σκοτ Μπερντέτ ήθελε να μάθει τι γίνεται όταν βάλεις φωτιά σε ένα σπρίν μπογιάς. Όταν το τενεκεδάκι έκανε έκρηξη η αριστερή πλευρά του μικρού καλύφθηκε από φλεγόμενη φωτιά. Μεταφέρθηκε με ελικόπτερο στο Εθνικό Παιδιατρικό Νοσοκομείο στην Γουάσινγκτον όπου το καμένο δέρμα του αντικαταστάθηκε με καινούργιο και ο πόνο καταπραΰνθηκε δραματικά. Έφυγε από το νοσοκομείο 8 μέρες αργότερα και σε τρεις βδομάδες μετά από το ατύχημα επέστρεψε στο σχολείο. Σήμερα, μετά από δύο χρόνια κάποιος που δεν ξέρει τι πέρασε αυτό το αγοράκι δεν θα μπορούσε να διακρίνει τα σημάδια από την φωτιά.

Συχνά, οι γιατροί βρίσκονται στην ανάγκη να περιποιηθούν σοβαρά εγκαύματα με μοσχεύματα από δέρμα του ασθενή. Χρησιμοποιούν μοσχεύματα από άλλα μέρη του σώματος, όπως π.χ. μηρούς ή γλουτούς, ή ακόμα και από πτώματα όταν δεν είναι δυνατή η χρήση αυτομοσχευμάτων. Στην πιο πάνω περίπτωση, όμως, το δέρμα δεν ήρθε από τον ασθενή αλλά ούτε και από άλλον δότη. Ήρθε από το εργοστάσιο της εταιρίας Προχωρημένες Επιστήμες Ιστών (Advanced Tissue Sciences Inc.) ή ATS από την περιοχή Λουϊζιάνα της Καλιφόρνιας, μια εταιρία από τους πρωτοπόρους στον τομέα της μηχανικής των ιστών, που προσπαθεί να τροφοδοτήσει την αγορά με ετοιμοπαράδοτα όργανα.



Εκτενή εγκαύματα θεραπεύονται με συνθετικό δέρμα

Η βιοϊατρική έχει κάνει μεγάλη πρόοδο στον τομέα της κατασκευής ιστών και ειδικότερα στην κατανόηση των μηχανισμών ανάπτυξης και των χημικών και άλλων σημάτων που χρειάζονται οι ιστοί για να αναπτυχθούν. Η μηχανική ιστών ασχολείται με την εφαρμογή αυτής της γνώσης για να κατασκευάσει ή να επιδιορθώσει ανθρώπινα όργανα, συμπεριλαμβανομένου και του δέρματος που είναι το πιο μεγάλο όργανο στο σώμα. Συνήθως, οι συνθετικοί αυτοί ιστοί αποτελούνται από ένα συνδυασμό ζωντανών κυττάρων και μια υποστηρικτική δομή που ονομάζεται “ικρίωμα,” δηλαδή σκαλωσιά. Το ικρίωμα εξαρτάται από το όργανο που θα κατασκευαστεί και μπορεί να είναι μια μήτρα από κολλαγόνα, μια δομική πρωτεΐνη ή ένα συνθετικό, βιοδιασπώμενο, πολυμερές με επικάλυψη από διάφορες βιοχημικές ενώσεις οι οποίες προωθούν την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Τα αρχικά κύτταρα που ξεκινούν αυτή την αναπαραγωγή μπορούν να προέρχονται από το εργαστήριο ή από τους ιστούς του ίδιου του ασθενή.

Παρ’ όλο, όμως, το ότι η επιστήμη έχει κάνει σπουδαία βήματα προς τα εμπρός στα θέματα της μηχανικής των ιστών, οι εταιρίες που ασχολούνται με το θέμα δεν κατάφεραν να επιτύχουν οικονομικά. Δύο από τους πρωτοπόρους στον τομέα κήρυξαν πτώχευση μέσα στο 2002. Οι αναλυτές ρίχνουν την ευθύνη στις χαμηλές πωλήσεις, στο ψηλό κόστος της διαδικασίας έγκρισης τους ως εμπορικά/ιατρικά προϊόντα και το χαμηλό περιθώριο κέρδους. Αυτές οι πτωχεύσεις είναι ένα πλήγμα για την περιοχή αλλά η ζημιά, σύμφωνα με τους αναλυτές, δεν είναι ανεπανόρθωτη. Οι πωλήσεις συνθετικού δέρματος αυξάνονται συνεχώς και έφτασαν το 2002 τα 25 εκατομμύρια δολάρια Αμερικής, τα μισά από τις ολικές πωλήσεις συνθετικών οργάνων. Τα άλλα 25 εκατομμύρια

προέρχονται από τις πωλήσεις συνθετικών χόνδρων για αντικατάσταση φθαρμένων κλειδώσεων. Οι εταιρίες που ασχολούνται με συνθετικά όργανα από 66 το 2000 αυξήθηκαν σε 99 το 2002 και οι επενδύσεις στην μηχανική ιστών αυξήθηκαν κατά 14% σε 675 εκατομμύρια δολάρια Αμερικής.

Σύμφωνα με τον ιδρυτή της ATS, τα χαμηλά περιθώρια κέρδους της εταιρίας είναι αποτέλεσμα της έλλειψης αυτοματισμού στην διαδικασία κατασκευής των συνθετικών οργάνων. Για να πετύχουν οι εταιρίες όπως η ATS πρέπει στο μέλλον, εκτός από τις χιλιάδες άλυτα επιστημονικά προβλήματα που θα πρέπει να επιλύσουν, θα πρέπει να αλλάξουν την σημερινή μέθοδο παραγωγής όπου η κατασκευή των ιστών γίνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στο χέρι. Πρώτα απ' όλα θα χρειαστούν ακριβείς αισθητήρες οι οποίοι θα είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία και τη διατήρηση του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο θα μεγαλώνουν ιστοί όπως το δέρμα. Επίσης, ρομπότ και άλλοι μηχανισμοί θα πρέπει να αντικαταστήσουν τους ανθρώπους στην διαδικασία της δημιουργίας των συνθετικών ιστών. Ήδη, κάποιες εταιρίες άρχισαν να προσαρμόζουν τεχνολογίες, όπως πρωτοτύπηση υψηλής ευκρίνειας και φωτολιθογραφία, στις ανάγκες για κατασκευή οργάνων όπως οστών, χόνδρου, αγγείων και άλλων. Αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να είναι η απαρχή ενός πλήρως αυτοματοποιημένου εργοστασίου οργάνων που να κατασκευάζει όργανα όπως καρδιές και συκώτι και να σώζει με αυτό τον τρόπο ζωές.

Γενικές Αρχές της Μηχανικής των Ιστών

Η απώλεια ιστών ή οργάνων είναι μια από τις πιο τραγικές εκβάσεις που μπορεί να έχει μια ασθένεια, αλλά και μια από τις πιο ακριβές μια και στοιχίζει, στις ΗΠΑ και μόνο, πάνω από 400 δισεκατομμύρια δολάρια (με βάση οικονομικά στοιχεία του 2000.) [21] Οι υπάρχουσες θεραπείες, όπως μεταμόσχευση, χειρουργική επιδιόρθωση, φαρμακευτική αγωγή και μηχανικές συσκευές, δεν μπορούν, δυστυχώς, να αντεπεξέλθουν αποτελεσματικά στις πλείστες περιπτώσεις. Η μηχανική ιστών είναι ένας νέος αναδυόμενος πολυκλαδικός τομέας της βιοτεχνολογίας, που υπόσχεται να αλλάξει ριζικά την ιατρική πρακτική με την αναγέννηση των προσβεβλημένων ιστών και οργάνων, αντί για την απλή “επισκευή” τους.

Η μηχανική των ιστών είναι μια επιστήμη που συνδυάζει διάφορους κλάδους και εφαρμόζει τις γνώσεις της μηχανικής, της βιολογίας και της ιατρικής στην προσπάθεια της αποτροπής ή επιδιόρθωσης της απώλειας οργάνων. Αντί μηχανικών συσκευών, σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ζωντανά ανθρώπινα κύτταρα, μερικές φορές και από τον ίδιο τον ασθενή, τα οποία αναπαράγονται στο κατάλληλο βιοχημικό περιβάλλον. Για να επιτύχει η κατασκευή ενός τεχνητού ιστού πρέπει

1. Να επιλεγούν τα κατάλληλα κύτταρα τα οποία θα πολλαπλασιαστούν ώστε να δώσουν τον ιστό.
2. Να διασφαλιστούν οι συνθήκες που θα επιτρέψουν στα κύτταρα να πολλαπλασιαστούν. Αυτές περιλαμβάνουν:
 - Κατάλληλες θρεπτικές ουσίες και απομάκρυνση τοξικών αποβλήτων.
 - Σωστό σύστημα στήριξης/ικριώματος
 - Πρόσφορο φυσικό και χημικό περιβάλλον μέσα στο οποίο να αναπτυχθούν οι ιστοί (π.χ. πίεση, θερμοκρασία, ροή, pH, κλπ.)
3. Να επιβεβαιωθεί ότι όταν ο ιστός μεταφερθεί στο ανθρώπινο σώμα θα συνεχίσει να λειτουργεί ανεξάρτητα από την αντίδραση του οργανισμού και τη δημιουργία ουλών ή συμφύσεων.

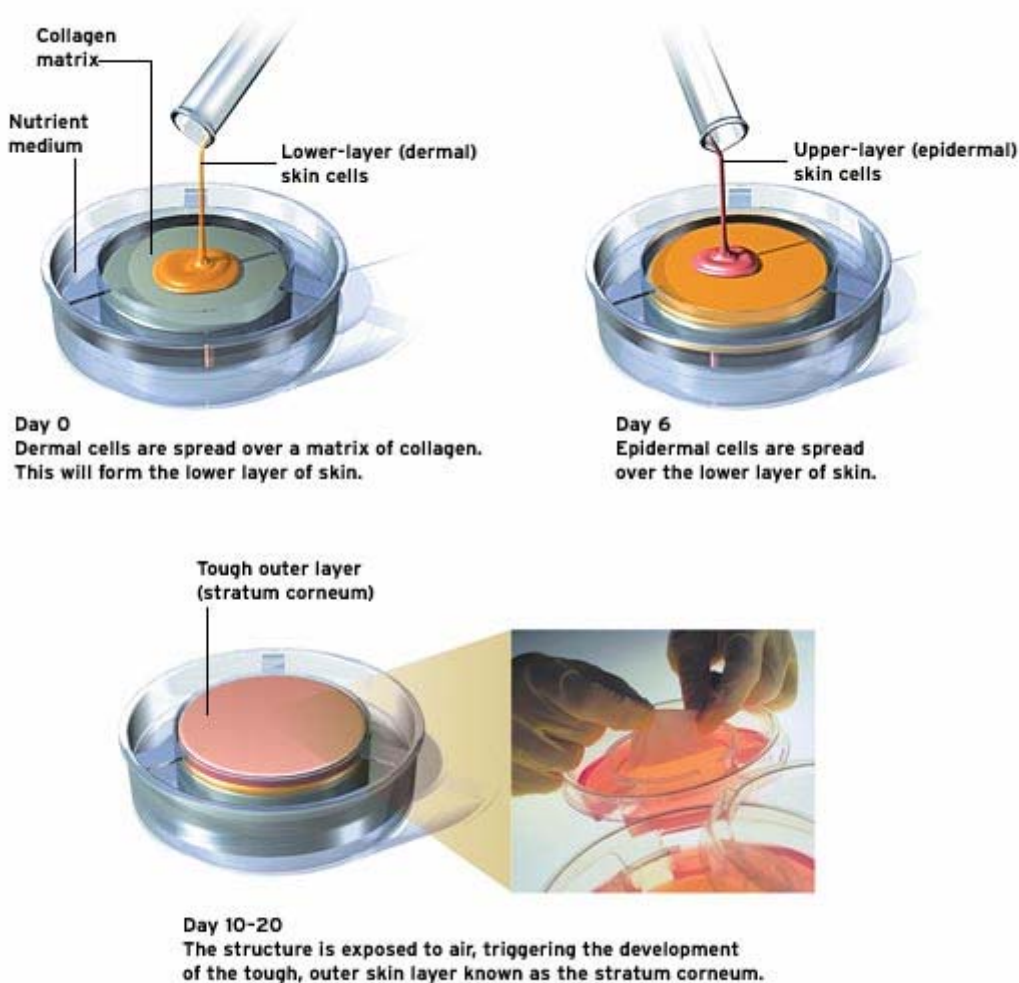
Πολλοί ιστοί αποτελούνται από πολύπλοκα δομικά συστήματα με διάφορα είδη κυττάρων. Η πρόκληση στο τομέα της μηχανικής των οστών είναι να βρεθεί ο τρόπος να συναρμολογηθούν αυτά τα συστήματα και οι κατάλληλες συνθήκες ώστε τα κύτταρα να πολλαπλασιαστούν και να αναπτυχθούν σε ένα λειτουργικό ιστό ή όργανο. Κάποιοι ιστοί είναι πιο εύκολοι από άλλους. Για παράδειγμα, είναι σχετικά πιο εύκολο να κατασκευάσει κάποιος συνθετικό χόνδρο μια και ο χόνδρος αποτελείται από μόνο ένα είδος κυττάρου που μεγαλώνει σε μια σχετικά απλή δομή. Το δέρμα είναι επίσης κάπως απλό. Άλλα όργανα, όπως συκώτι, νεφρός και μυοκάρδιο, είναι πιο πολύπλοκα.

Η πρόκληση, τώρα, είναι να μελετηθούν οι διάφοροι ιστοί και να δημιουργηθούν μοντέλα τα οποία θα οδηγήσουν στην επιτυχημένη δημιουργία συνθετικών ιστών. Πολλά ακαδημαϊκά ιδρύματα και εταιρίες ήδη δραστηριοποιούνται στον τομέα. Φυσικά, ίσως χρειαστούν και περισσότερα από 10-20

χρόνια πριν δούμε κάποιους από τους ιστούς που αναφέρθηκαν πιο πάνω, με εξαίρεση το δέρμα, στην αγορά. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μεγάλη κινητικότητα όσον αφορά στη βασική έρευνα και είναι βέβαιο ότι βλέπουμε σήμερα τα πρώτα στάδια μιας νέας τεχνολογίας.

Καινούργιο δέρμα

Συνθετικό δέρμα και συνθετικός χόνδρος ήταν οι πρώτοι ιστοί, κυρίως λόγω της απλότητας στη δομή τους, που δημιουργήθηκαν και πωλήθηκαν στην αγορά. Ένα από αυτά ήταν το TransCyte που χρησιμοποιείται για να καλύψει εγκαύματα και έσωσε τον μικρό Σκοτ. Σε περιπτώσεις όπως την δική του καμιά φορά χρησιμοποιείται δέρμα από πτώματα, σαν προσωρινή κάλυψη της περιοχής μέχρι ο ασθενής να αναρρώσει. Δυστυχώς όμως το δέρμα από πτώμα είναι ακριβό και λιγιστό και δεν είναι πάντοτε καλής ποιότητας. Ακόμα, το δέρμα αυτό συνήθως απορρίπτεται μέσα σε 20 ή λιγότερες μέρες και γι' αυτό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως προσωρινή κάλυψη. Το συνθετικό δέρμα δεν απορρίπτεται και μπορεί να μείνει εκεί και να αποτελέσει την βάση για την αποθεραπεία του ασθενή.



Λαδιακασία κατασκευής συνθετικού δερματος

Εκτός από τα εγκαύματα, το συνθετικό δέρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες πληγές, όπως π.χ. διαβητικά έλκη στα πόδια. Η θεραπεία για αυτά τα έλκη είναι αντιβιοτικά, έλεγχος του ζαχάρου, ειδικά παπούτσια, συχνό καθάρισμα και επίδεση με επιδέσμους. Αν το έλκος δεν κλείσει τότε το πόδι του ασθενή πρέπει να ακρωτηριασθεί. Από τους 86.000 ακρωτηριασμούς κάτω άκρων κάθε χρόνο στις ΗΠΑ, 85% ακολουθούν διαβητικό έλκος. Σε κλινικές δοκιμές το συνθετικό Dermagraft της ATS,

που σχεδιάστηκε ειδικά για επούλωση πληγών, φάνηκε ότι βοηθά στην πιο γρήγορη και καλύτερη αποθεραπεία του διαβητικού έλκους.

Με τόση ζήτηση για συνθετικό δέρμα, οι εταιρίες δημιούργησαν την υποδομή που τους επιτρέπει να κατασκευάζουν χιλιάδες μοσχεύματα δέρματος τον μήνα. Στο εργοστάσιο της εταιρίας Οργανογένεσης (Organogenesis, Inc.), όμως, η διαδικασία προχωρούσε στο χέρι χωρίς αυτοματισμό. Η εταιρία έφτιαχνε το συνθετικό δέρμα Apligraf σε τρυβλίο γεμάτο με υγρές θρεπτικές ουσίες οι οποίες μιμούνται το φυσιολογικό περιβάλλον των κυττάρων και προωθούν την ανάπτυξη τους. Η πηγή των αρχικών κυττάρων είναι το βρεφικό δέρμα που αποκόπτεται κατά την περιτομή. Αυτά τα κύτταρα, όχι μόνο είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες αλλά είναι και πολύ δραστικά. Ένα κομμάτι ιστού, το μέγεθος ενός γραμματοσήμου, μπορεί να πολλαπλασιαστεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να δημιουργήσει συνθετικό δέρμα που να καλύπτει αρκετά γήπεδα του ποδοσφαίρου!

Κατ' αρχήν τα κύτταρα μοιράζονται σε ινοβλαστικά και επιδερμικά. Η διαδικασία παραγωγής του συνθετικού δέρματος διαρκεί περίπου 20 μέρες και περνά από διάφορα στάδια. Πρώτα, το κατώτερο μέρος του δέρματος μεγαλώνει πάνω σε ένα ικρίωμα από κολλαγόνα (από αγελάδες) που βρίσκεται μέσα σε ένα άβαθο στρογγυλό τριβλίο γεμάτο με διάλυμα θρεπτικών ουσιών. Κατόπιν, ένας τεχνικός απλώνει πάνω από το δέρμα επιδερμικά κύτταρα τα οποία και μεγαλώνουν και δημιουργούν την επιδερμίδα. Τέλος, το συνθετικό δέρμα βγαίνει από το διάλυμα θρεπτικών ουσιών ώστε το πάνω μέρος του να βρίσκεται εκτεθειμένο στον αέρα, κάτι που προκαλεί την δημιουργία του σκληρού καλύμματος από νεκρά κύτταρα που χαρακτηρίζει το εξωτερικό του δέρματος. Με αυτή την μέθοδο δημιουργούνται στρογγυλά τεμάχια δέρματος, διαμέτρου 8 cm.

Με αυτή την μέθοδο και χωρίς αυτοματισμό, η Organogenesis μπορούσε να παράγει περίπου 50.000 τεμάχια συνθετικού δέρματος τον χρόνο. Η εταιρία σκόπευε να καθιερώσει, όμως, βιομηχανικού επιπέδου αυτοματισμό. Σε πρώτο στάδιο, ήθελαν να αντικαταστήσουν την διαδικασία πρόσθεσης και αφαίρεσης των θρεπτικών ουσιών που ήταν και η πιο επίπονη και χρονοβόρα. Χωρίς συχνή αλλαγή των αποβλήτων που δημιουργούνται από τα κύτταρα με θρεπτικές ουσίες, τα κύτταρα κινδυνεύουν να πεθάνουν. Ένα αυτόματο σύστημα θα μπορούσε να κάνει τον έλεγχο και την ανταλλαγή συστηματικά και χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής του δείγματος από λάθη και ξένες ουσίες. Φυσικά, αυτά τα σχέδια δεν πραγματοποιήθηκαν λόγω της πτώχευσης της εταιρίας.

Η ATS είχε στο μεταξύ ήδη εφαρμόσει κάποια στοιχεία αυτοματισμού στην δική της διαδικασία. Σε πρώτο στάδιο αυτοματοποιήθηκε η διαδικασία πολλαπλασιασμού των κυττάρων στις μεγάλες ποσότητες που απαιτούνται για την δημιουργία του συνθετικού ιστού. Τα κύτταρα πολλαπλασιάζονται μέσα σε ειδικά μπουκάλια γεμάτα με θρεπτικές ουσίες. Κάθε μερικές μέρες ένας ρομποτικός βραχίονας, κατασκευής της ίδιας της ATS, σηκώνει μια-μια τις μπουκάλες αδειάζει το παλιό υγρό και το αντικαθιστά με καινούργιο. Αντίθετα με την Organogenesis, το συνθετικό δέρμα στην ATS δεν μεγαλώνει μέσα σε τριβλία αλλά μέσα σε ειδικά δοχεία τα οποία ονομάζονται βιοαντιδραστήρες. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε οι θρεπτικές ουσίες να ρέουν μέσα από αυτά και να προάγουν την ανάπτυξη του δέρματος. Όπως και τα τριβλία, έτσι και οι βιοαντιδραστήρες τοποθετούνται μέσα σε κλίβανο επώασης όπου διάφοροι αισθητήρες παρακολουθούν την θερμοκρασία, υγρασία και συγκεντρώσεις διαφόρων αερίων. Αυτές οι μετρήσεις μεταδίδονται σε ένα ρυθμιστή που φροντίζει ώστε όλες οι παράμετροι να διατηρούνται μέσα στα στενά όρια που χρειάζονται για επιτυχημένη παραγωγή του ιστού. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία διατηρείται στους $37 \pm 0,1$ °C και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στα $5 \pm 0,1$ %. Αν κάποια από τις παραμέτρους ξεφύγει από αυτά τα στενά όρια, τότε ένας συναγερμός επισύρει την προσοχή του προσωπικού.

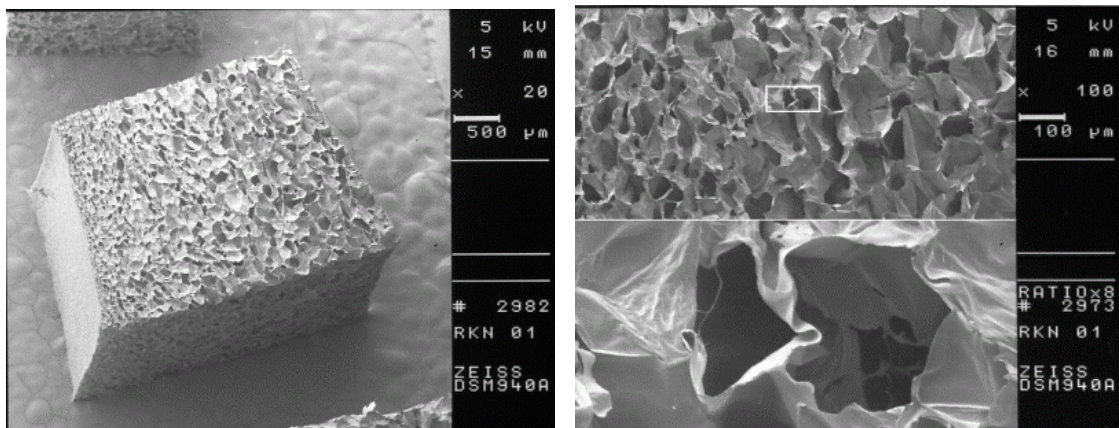
Μέσα στο κλίβανο επώασης, τα κύτταρα πολλαπλασιάζονται και αναδιοργανώνονται, καταλήγοντας τελικά σε λειτουργικούς ιστούς. Ο κλίβανος επώασης χρησιμεύει και σαν δοχείο μεταφοράς, μια και όταν το δέρμα είναι έτοιμο, ο κλίβανος σφραγίζεται και αποστέλλεται στο νοσοκομείο για χρήση. Με αυτή την μέθοδο η εταιρία ATS ήταν σε θέση να κατασκευάζει 200,000 τεμάχια συνθετικού δέρματος τον χρόνο, ώστε να έχει πάντα ένα μεγάλο αριθμό έτοιμο και να μπορεί να προμηθεύει την αγορά άμεσα.

Καινούργια Οστά

Εκτός από το δέρμα, οι εταιρίες που ασχολούνται με την μηχανική των ιστών έχουν καταφέρει να φέρουν στην αγορά συνθετικό χόνδρο, που κατασκευάζεται επίσης σε κλίβανο επώασης, για χρήση σε επισκευές φθαρμένων ή καταστρεμμένων κλειδώσεων. Ελπίζουν, επίσης, ότι θα μπορέσουν σύντομα να φέρουν στην αγορά και οστά. Ακόμα μια εταιρία που μέχρι τώρα κατασκεύαζε συνθετικό δέρμα, η ΑισοΤις (IsoTis NV) από την Ολλανδία, υπολόγισε ότι μέχρι και 3 εκατομμύρια εγχειρήσεις τον χρόνο μπορεί να χρειάζονται να αντικαταστήσουν οστά ή χόνδρους, όπως π.χ. σε πλαστικές εγχειρήσεις. Μια και αυτή η αγορά έχει προοπτική να ανέβει στα δισεκατομμύρια δολάρια, η εταιρία αποφάσισε να επενδύσει σε 500 νέους κλίβανους επώασης, σε ένα καινούργιο εργοστάσιο, που να μπορούν να κατασκευάζουν μέχρι και 5.000 μοσχεύματα τον χρόνο.

Σε αντίθεση όμως με το δέρμα, τρισδιάστατοι ιστοί και όργανα χρειάζονται πολύπλοκα ικρίωματα που θα τους δίνουν το κατάλληλο σχήμα και θα υποστηρίζουν την ανάπτυξη του ιστού. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η καταλληλότερη δομή είναι αυτή που συνδυάζει την μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια σε σχέση με τον ολικό όγκο του ικριώματος. Τα πιο πολλά ικρίωματα είναι επίσης βιοδιασπώμενα έτσι ώστε να λιώνουν σιγά-σιγά μέσα στο κλίβανο και να εξαφανίζονται όταν οι ιστοί δυναμώσουν αρκετά ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τον εαυτό τους.

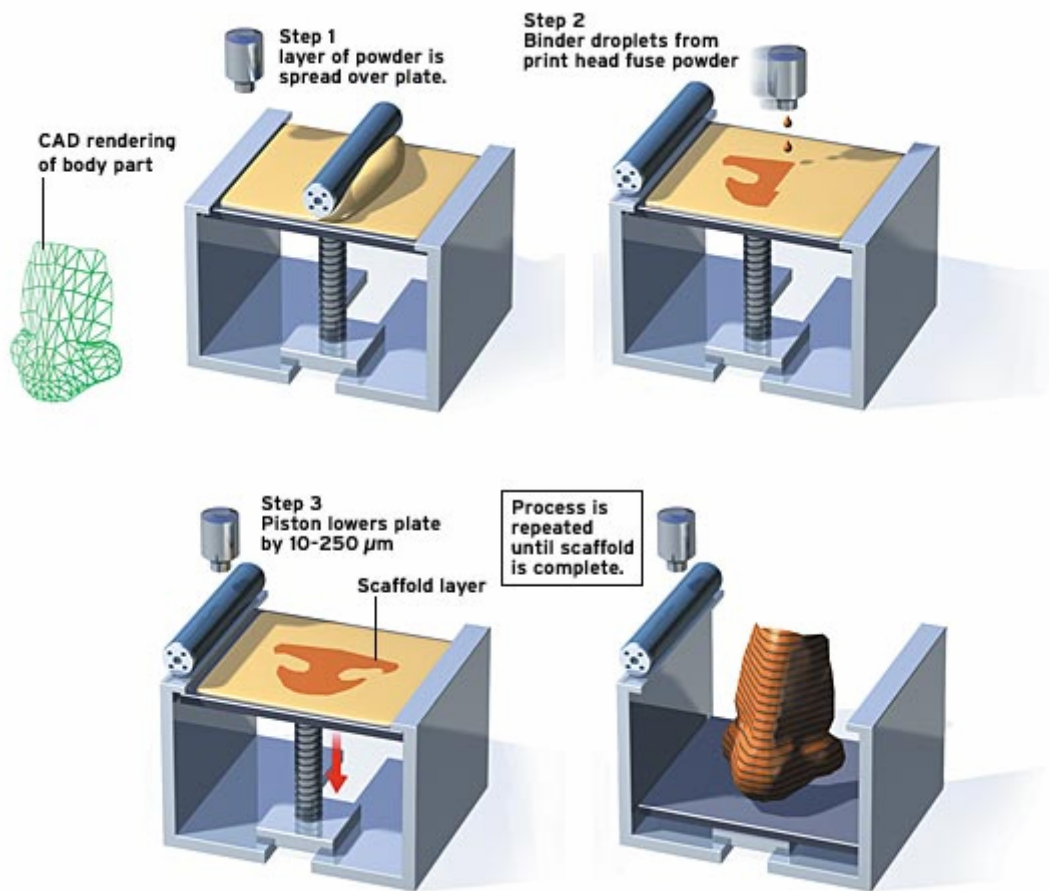
Από βιοχημικής πλευράς, τα κολλαγόνα και οι βιοδιασπώμενοι πολυεστέρες (όπως αυτούς που χρησιμοποιούν οι χειρουργοί για ραφές) θα ήταν οι πρώτες επιλογές για ικρίωματα. Όμως, για να κατασκευαστούν πολύπλοκοι ιστοί με διαφόρων ειδών κύτταρα, χρειάζονται χημικά πολύ πιο πολύπλοκα ικρίωματα. Γι' αυτό τον σκοπό και οι επιστήμονες μελετούν ακριβώς πια χημικά σήματα χρειάζονται και πότε οι διάφοροι ιστοί ώστε να αναπτυχθούν κανονικά. Ελπίζουν ότι κάποια από αυτά τα χημικά μπορεί να εμφυτευτούν μέσα στο ίδιο το ικρίωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να απελευθερώνονται αυτόματα στις σωστές ποσότητες και στο σωστό χρόνο. Είναι όμως ένα πολύ δύσκολο έργο μια και οι επιστήμονες πιστεύουν ότι έχουν ανακαλύψει μόνο ένα μικρό μέρος από τις ορμόνες και τους άλλους παράγοντες που συνεργούν στην σωστή ανάπτυξη των ιστών.



Ικρίωματα Οστών

Όσον αφορά στη δομή των ικριωμάτων, αυτή μπορεί να πάρει την μορφή από ένα απλό επίπεδο φύλλο σε τρισδιάστατη κατασκευή με πολλά χημικά στοιχεία και διάσπαρτη από πόρους διαμέσου των οποίων αναπτύσσονται τα κύτταρα. Για την κατασκευή ακόμα και των πιο πολύπλοκων δομών, με μεγάλη ακρίβεια και ακριβώς όπως χρειάζεται για τον συγκεκριμένο ασθενή, η εταιρία Θέρικς (Therics Inc), στην Νέα Υερσέη των ΗΠΑ, κατασκεύασε, ένα υπερ-ακριβές μηχάνημα κατασκευής δομών με βάση τεχνολογία την οποία αγόρασε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (Massachusetts Institute of Technology – MIT). Το μηχάνημα, που ονομάζεται ΘέριΦόρμ (Theriform) βασίζεται στις ίδιες αρχές όπως και άλλα μηχανήματα ταχείας προτυποποίησης. Όπως ένας εκτυπωτής έγχυσης μελάνης (ink jet printer) έτσι και αυτό το μηχάνημα “τυπώνει” εικόνες σε “σελίδες.” Σε αυτή

την περίπτωση όμως, οι “σελίδες” στοιβάζονται η μια πάνω από την άλλη έτσι ώστε να δημιουργούνται τρισδιάστατες κατασκευές. Το ΘέριΦορμ χρησιμοποιεί μια ειδική σκόνη για τις “σελίδες” και ειδική συγκολλητική ουσία για το “μελάνι.” Απλώνεται η σκόνη σε ένα λεπτό στρώμα και η συγκολλητική ουσία σχηματίζει το πρώτο επίπεδο της δομής. Κατόπιν, ένα νέο στρώμα εναποτίθεται από πάνω και με συγκολλητική ουσία σχηματίζεται το επόμενο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο, στρώμα με στρώμα, σχηματίζεται η δομή, π.χ. ένα αντί από χόνδρο ή ένα κομμάτι οστού, όπως αυτή σχεδιάστηκε με βάση τις προδιαγραφές και τις ανάγκες του ασθενή. Το σχήμα του ικριώματος βασίζεται σε ανατομικά δεδομένα από ακτινογραφία, μαγνητική ή αξονική τομογραφία του ασθενή. Αυτά τα στοιχεία μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και με την βοήθεια υπολογιστή σχηματίζεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο του ικριώματος. Το μοντέλο μοιράζεται σε επίπεδα τα οποία στην συνέχεια μεταφράζονται σε εντολές προς τον εκτυπωτή και σχηματίζονται όπως περιγράψαμε πιο πάνω.



Λαδιακασία κατασκευής τρισδιάστατου ικριώματος

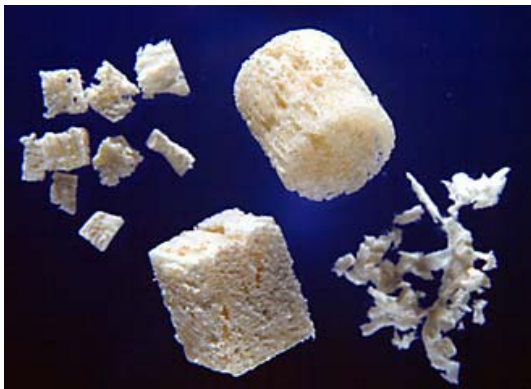
Η διαδικασία αρχίζει με την εναπόθεση ενός λεπτού στρώματος, μερικές δεκάδες εκατομμυριοστά του μέτρου πάχος, ενός κεραμικού ή πολυμερούς πάνω σε μια βάση που στηρίζεται σε πιστόνι. Μετά, μια αυτόματη κεφαλή εκτύπωσης τοποθετεί σταγόνες συγκολλητικής ουσίας στα σημεία που καθορίζονται από το σχέδιο του επιπέδου του ικριώματος το οποίο σχηματίζεται. Αυτές οι σταγόνες προκαλούν την τήξη των σωματιδίων της σκόνης και την δημιουργία στερεού μέρους του ικριώματος. Το σύστημα αυτό, αντίθετα με τα περισσότερα συστήματα ταχείας προτυποποίησης δεν χρησιμοποιεί θερμότητα αλλά συγκεκριμένες χημικές διεργασίες για να πετύχει την τήξη. Με αυτό τον τρόπο δεν καταστρέφονται κάποια βιολογικά υλικά τα οποία είναι ευαίσθητα στην θερμότητα. Όταν το ένα επίπεδο του ικριώματος έχει τυπωθεί, τότε το πιστόνι κατεβάζει την βάση 10-250 εκατομμυριοστά του μέτρου πιο κάτω, όσο δηλαδή το πάχος ενός επιπέδου, και επιστρώνεται ένα καινούργιο στρώμα πάνω από το προηγούμενο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με στρώματα να τοποθετούνται και να

συγκολλούνται το ένα πάνω από το άλλο. Στο τέλος της διαδικασίας, η σκόνη, η οποία περισσεύει γύρω από το ικρίωμα, αφαιρείται και το ικρίωμα είναι έτοιμο.

Το μηχάνημα αυτό έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί πολλές κεφαλές με διαφορετικά υλικά στην κάθε μια. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την συγκολλητική ουσία, μπορεί να εναποθέσει στο ικρίωμα ακόμα και ζωντανά κύτταρα ή χημικές ουσίες, π.χ. συντελεστές ανάπτυξης (growth factors,) που βοηθούν τα κύτταρα να ξεκινήσουν την διαδικασία του πολλαπλασιασμού ή/και να αναπτυχθούν. Τα πρώτα προϊόντα της εταιρίας Θέρικς, θα είναι μοσχεύματα οστών για τα εκατομύρια τις πλαστικές εγχειρήσεις που γίνονται κάθε χρόνο.



Ικρίωμα με κύτταρα χόνδρου εμφυτεύτηκε σε ποντίκι και δημιούργησε αυτό!!!



Συνθετικά μοσχεύματα οστών (αριστερά) και χόνδρινου μηνίσκου (δεξιά.)

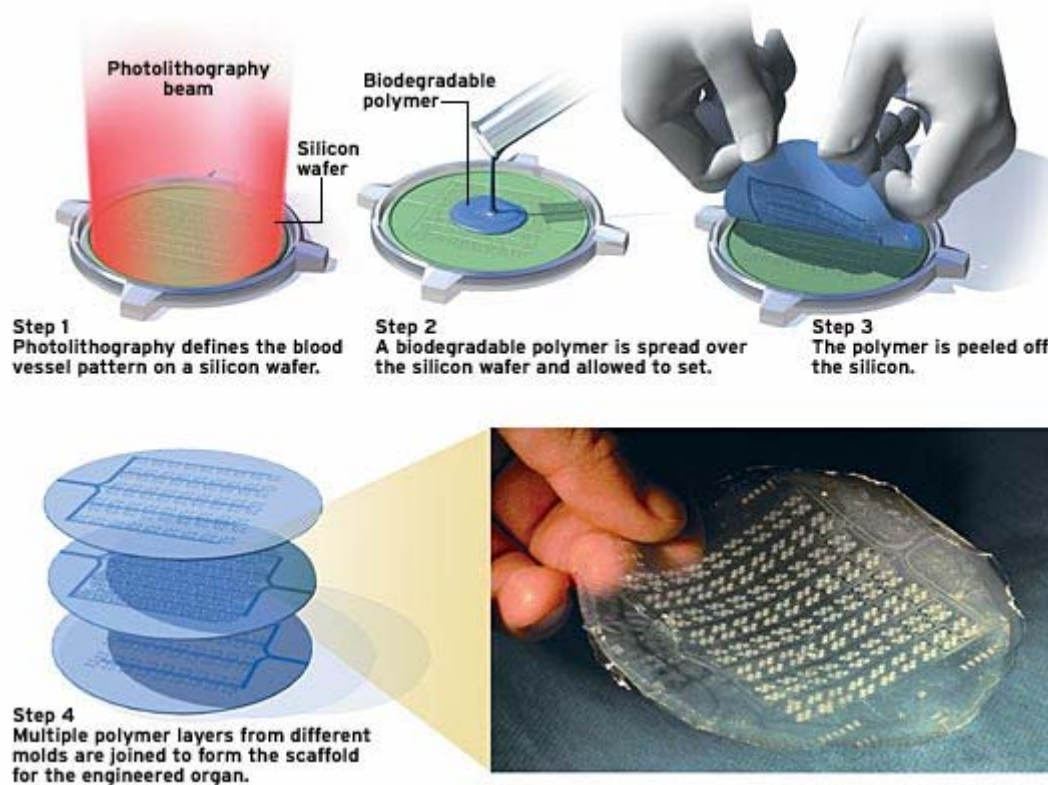
Καινούργιο Συκώτι

Ένας από τους λόγους για τους οποίους η κατασκευή συνθετικού δέρματος έχει προχωρήσει τόσο είναι γιατί το δέρμα, εκτός από την απλή δομή του, δεν χρειάζεται το δικό του δίκτυο από αιμοφόρα αγγεία για να πάρει οξυγόνο και θρεπτικές ουσίες. Όταν ο συνθετικός ιστός μεταμοσχευτεί τότε εκκρίνει κάποιες ορμόνες που προκαλούν ανάπτυξη αιμοφόρων αγγείων από τα πιο κάτω στρώματα μέσα στο καινούργιο δέρμα. Άλλα όμως, πιο μεγάλα όργανα όπως π.χ. το συκώτι, χρειάζονται το δικό τους δίκτυο αγγείων. Η μηχανική των ιστών πρέπει λοιπόν να λύσει και τα προβλήματα της ροής του αίματος στην κατάλληλη μορφή, ποσότητα και κατεύθυνση.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην θεραπεία σήμερα είναι η μεγάλη έλλειψη δοτών οργάνων. Τα τελευταία είκοσι χρόνια (1980-2000) οι ανάγκες έχουν αυξηθεί κατακόρυφα, από 10.000 σε 80.000 στις ΗΠΑ μόνο, χωρίς να έχουν αυξηθεί ανάλογα και οι προσφορές. Αν η προσπάθεια παραγωγής συνθετικών οργάνων πετύχει τότε θα άλλαζε σημαντικά την δυνατότητα μεταμόσχευσης και τις πιθανότητες επιβίωσης των ασθενών.

Τα συνθετικά όργανα χρειάζονται πολύπλοκα δίκτυα αγγείων, που κυρίως αποτελούνται από τριχοειδή αγγεία. Χωρίς αυτά τα αγγεία το οξυγόνο μπορεί να φτάσει σε βάθος μόλις ένα δέκατο του χιλιοστομέτρου που δεν είναι αρκετό για μεγάλα όργανα. Επιστήμονες στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης προσπαθούν να αναπτύξουν ικρίωματα που να επιτρέπουν σε ένα όργανο να αναπτυχθεί μαζί με το δικό του αγγειακό σύστημα. Έχουν την βοήθεια επιστημόνων από τα Εργαστήρια Ντράπερ οι οποίοι, ανάμεσα στα άλλα, είναι και ειδικοί σε μικρο-κατασκευαστικές διαδικασίες, μια τεχνολογία που χρησιμοποιούν στα συστήματα καθοδήγησης των πυραύλων. Μπορούν οι επιδεξιότητες του εργαστηρίου στην κατασκευή μικρο-μηχανο-ηλεκτρικών συστημάτων (MEMS) να φανούν χρήσιμες στην παρασκευή αιμοφόρων αγγείων;

Οι επιστήμονες στα Εργαστήρια Ντράπερ κατασκευάζουν συχνά δομές διαστάσεων 1 μm (1 εκατομμυριοστό του μέτρου ή 0,000001 m) και γι' αυτό όταν τους ζητήθηκε να φτιάξουν τριχοειδείς δομές με διάμετρο 10 μm αυτό δεν ήταν πρόβλημα. Με την βοήθεια μια ομάδας από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης δημιουργήθηκε ένα μοντέλο του δικτύου των αγγείων το οποίο μοιράστηκε σε πολλά επίπεδα. Με βάση αυτό το σχέδιο, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της φωτολιθογραφίας για να κατασκευαστούν μήτρες του κάθε επιπέδου σε πλακίδια πυριτίου (silicon wafers) και, με βάση αυτές τις μήτρες, ένα τρισδιάστατο ικρίωμα. Για να κατασκευαστούν τα διάφορα επίπεδα του ικρίωματος, ένα βιοδιασπώμενο πολυμερές απλώνεται πάνω στην μήτρα. Όταν το πολυμερές γίνει στερεό τότε το στρώμα αφαιρείται από την μήτρα. Πολλά τέτοια στρώματα τοποθετούνται το ένα πάνω από το άλλο και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια πλαστική δομή από το μοντέλο του υπολογιστή. Ένα ικρίωμα για κάποιο ανθρώπινο όργανο μπορεί να χρειαστεί χιλιάδες διαφορετικά στρώματα, αφού το καθένα είναι 50-100 μm .



Διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατου συνθετικού οργάνου με δίκτυο αγγείων

Για να κατασκευαστεί λοιπόν ένα συνθετικό συκώτι, θα πρέπει να εισαχθούν στο ικρίωμα, μέσω του τριχοειδούς δικτύου, τόσο ηπατικά κύτταρα όσο και ενδοθηλιακά κύτταρα από αιμοφόρα αγγεία. Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι στρώματα από ηπατικά κύτταρα και αγγεία έτσι ώστε κανένα ηπατικό κύτταρο να μην είναι πολύ μακριά από το αίμα. Μέσα στον κλίβανο επώασης, τα κύτταρα θα

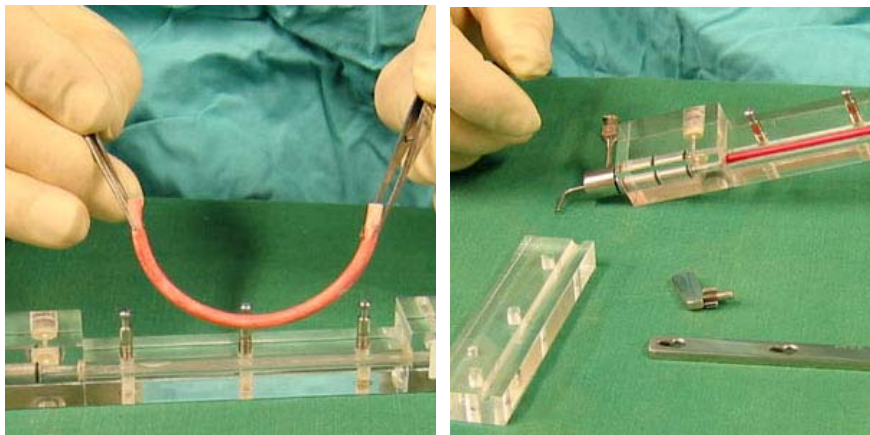
πολλαπλασιαστούν και θα αναπτυχθούν και τελικά το ικρίωμα θα διαλυθεί και θα εξαφανιστεί, αφήνοντας πίσω ένα συνθετικό όργανο με το δικό του δίκτυο αιμοφόρων αγγείων.

Αυτή η μέθοδος, να δημιουργούνται δηλαδή όργανα στρώμα με στρώμα, είχα μερική επιτυχία στο εργαστήριο. Μια τέτοια κατασκευή με αιμοφόρα αγγεία μεταμοσχεύτηκε σε ένα ποντίκι ήταν σε θέση να κυκλοφορεί αίμα χωρίς διαρροές ή απόφραξη. Δεν είμαστε όμως σε θέση να πούμε πότε, ή ακόμα και αν ποτέ, αυτή η μέθοδος θα καταλήξει στην δημιουργία λειτουργικών οργάνων.

Καινούργια αγγεία

Τα συνθετικά όργανα δεν είναι τα μόνα που χρειάζονται αιμοφόρα αγγεία. Αρκετές φορές και τα ίδια τα όργανα ενός ασθενή χρειάζονται καινούργια, ετοιμοπαράδοτα αγγεία. Είναι γνωστό ότι ασθένειες των αιμοφόρων αγγείων, ειδικά των μικρής και μέσης διαμέτρου, είναι η κύρια αιτία θανάτου στις αναπτυγμένες χώρες. Όταν αυτά τα αγγεία αντικαθίστώνται, όπως στην περίπτωση της αορτοστεφανιαίας παράκαμψης, τα καινούργια αγγεία προέρχονται από άλλα μέρη του σώματος του ίδιου του ασθενή. Για παράδειγμα, μια φλέβα από το πόδι μπορεί να αφαιρεθεί και να χρησιμοποιηθεί σαν αρτηρία στην καρδιά. Αυτή η διαδικασία είναι επώδυνη για τον ασθενή και πολύ χρονοβόρα για τον χειρουργό.

Στο Πανεπιστήμιο Ντιούκ, στις ΗΠΑ, επιστήμονες κατασκευάζουν αιμοφόρα αγγεία από κύτταρα γουρουνιού και αγελάδας. Όπως και τα κανονικά αιμοφόρα αγγεία έτσι και αυτά αποτελούνται από ένα σωλήνα με κύτταρα ενδοθηλίου στο εσωτερικό και λείου μυός στο εξωτερικό. Αυτά τα στρώματα κύτταρα στηρίζονται από ένα βιοδιασπώμενο ικρίωμα και η όλη κατασκευή είναι ενωμένη με μια μικρή αντλία. Αυτή η αντλία χτυπά όπως και η καρδιά και στέλλει, με παλμούς, υγρό με θρεπτικές ουσίες μέσα από αυτό τον σωλήνα. Αυτή η παλμική ροή φαίνεται ότι βοηθά την ενδυνάμωση και την ανάπτυξη των κυττάρων, ενισχύοντας την θεωρία ότι η επαφή με ένα περιβάλλον παρόμοιο με αυτό που υπάρχει μέσα στο ανθρώπινο σώμα υποβοηθά τους ιστούς ώστε να αναπτυχθούν κανονικά. Μέχρι τώρα τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά. Αγγεία από κύτταρα αγελάδας έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες και είναι όσο δυνατά όσο και οι φυσιολογικές ανθρώπινες αρτηρίες.



Συνθετικά αγγεία

Οι ερευνητές εξετάζουν, επίσης, την πιθανότητα η ηλεκτρική δραστηριότητα των ιστών να έχει κάποιο ρόλο στην ανάπτυξη τους. Στο σώμα, για παράδειγμα, τα αγγεία της καρδιάς δέχονται συνεχώς ηλεκτρικό ρεύμα. Δεν είναι ακόμα γνωστό κατά πόσο αυτό επηρεάζει την ανάπτυξη τους, γι' αυτό και οι επιστήμονες εξετάζουν τώρα και αυτό το ενδεχόμενο.

Ο στόχος της έρευνας αυτής είναι να βρεθεί ένα σύστημα για την μαζική παραγωγή αγγείων. Ο στόχος αυτός είναι και στόχος των περισσότερων από τις εταιρίες που ασχολούνται με μηχανική ιστών. Η εταιρία ATS, για παράδειγμα, έχει κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια μέθοδο της για την κατασκευή “κυλινδρικών δομών” συμπεριλαμβανομένων και αγγείων. Δεν θεωρείται όμως πιθανόν να εμφανιστούν συνθετικά αγγεία στην αγορά σε λιγότερο από 10-20 χρόνια. Αν ένα

συνθετικό μόσχευμα σχιζόταν μέσα στον ασθενή, ο ασθενής θα μπορούσε να πεθάνει! Γι' αυτό ακριβώς τον λόγο τέτοιοι ιστοί πρέπει να περάσουν από πολύ αυστηρότερους ελέγχους, τόσο επιστημονικούς όσο και νομικούς, πριν μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν σε ανθρώπους.

Το μέλλον

Με τι θα μπορεί η μηχανική των ιστών να μας προμηθεύει στο μέλλον; Οι ειδικοί προειδοποιούν ότι δεν πρέπει να περιμένουμε και πάρα πολλά πολύ σύντομα. Πριν ακόμα μελετήσουμε τη μαζική κατασκευή και τον αυτοματισμό, οι επιστήμονες θα πρέπει να επιλύσουν άλλα πολύ πιο σοβαρά προβλήματα, όπως

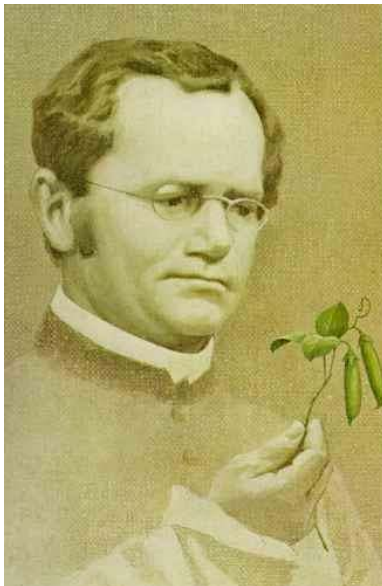
1. Καλές πηγές κυττάρων για τα συνθετικά όργανα
2. Αντιμετώπιση της αντίδρασης του ανοσοποιητικού συστήματος προς τα συνθετικά όργανα
3. Καλύτερα ικρίωματα
4. Καλύτερες μεθόδους συντήρησης των συνθετικών οργάνων αφότου έχουν κατασκευαστεί και πριν μεταμοσχευτούν στον ασθενή

Δεν είναι εύκολο κανείς να αντικαταστήσει μια διαδικασία την οποία η φύση τελειοποιούσε για εκατομμύρια χρόνια. Μπορεί κάποτε να είμαστε σε θέση να θεραπεύουμε κάποιους ασθενείς αλλά το αν θα είμαστε σε θέση να φτιάχνουμε συνθετικούς ιστούς το ίδιο καλούς ή καλύτερους από αυτούς που βιολογικά διαθέτουμε αυτό είναι κάτι που θα φανεί στο πολύ απώτερο μέλλον. Οι ειδικοί πιστεύουν ότι θα χρειαστεί τουλάχιστον 40 χρόνια πριν μπορέσουν οι επιστήμονες και οι εταιρίες να ξεπεράσουν όλα τα εμπόδια και να φέρουν στην αγορά συνθετικά όργανα όπως καρδιές και συκώτια. Κάποτε όμως θα είμαστε σε θέση να αντικαθιστούμε οποιοδήποτε όργανο. Το μόνο ερώτημα είναι πότε θα γίνει αυτό.

(Αυτό το κείμενο βασίζεται σε μεγάλο μέρος σε άρθρο από τον Samuel K. Moore, στο περιοδικό Spectrum του Δεκεμβρίου 2002.)

Αλλαγές εις βάθος

Μια ματιά γύρω μας αρκεί για να συνειδητοποιήσουμε ότι τα δημιουργήματα της φύσης, μέσα στην πορεία του χρόνου, διακρίνονται από θαυμαστή συνέπεια στα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Σε γενικές γραμμές, δηλαδή, σε κάθε αναπαραγωγική διαδικασία οι απόγονοι μοιάζουν σε μικρό ή σε μεγαλύτερο βαθμό με τους γονείς τους. Αυτό συμβαίνει επειδή μεταφέρεται βιολογική πληροφορία από τους γονείς σε κάθε απόγονο. Οι άνθρωποι έχουν διαπιστώσει εδώ και αιώνες ότι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των ζωντανών οργανισμών είναι η αναπαραγωγή. Η μεταφορά της πληροφορίας από τους γονείς στους απογόνους ονομάζεται κληρονομικότητα. Οι κληρονομικές μονάδες λέγονται γονίδια και ο κλάδος της Βιολογίας που ασχολείται με τη δομή, τη μεταφορά και την έκφραση της γενετικής πληροφορίας ονομάζεται Γενετική. Από τις αρχές του εικοστού αιώνα η επιστήμη της Γενετικής αναπτύχθηκε με πολύ γοργούς ρυθμούς, ενώ από τη δεκαετία του '50 εξελίχθηκε στη Μοριακή Γενετική.



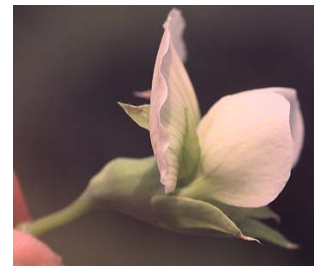
Οι βασικοί μηχανισμοί της κληρονομικότητας στους οργανισμούς ανακαλύφθηκαν από τον Γρηγόριο Μέντελ (1822-1884). Ο Αυστριακός αυτός μοναχός κατέληξε σε θεμελιώδη συμπεράσματα για την επιστήμη της Γενετικής καλλιεργώντας μπιζέλια στον κήπο ενός μοναστηριού του Μπρνο, πόλη που σήμερα ανήκει στην Τσεχία. Η ιδιοφυΐα του Μέντελ βρίσκεται στο ότι κατάφερε να διαπιστώσει το μηχανισμό με τον οποίο τα χαρακτηριστικά των προγόνων επανεμφανίζονται στους απογόνους των υβριδίων. Κανείς μέχρι εκείνη την εποχή δεν είχε συστηματικά χαρακτηρίσει και απαριθμήσει τους απογόνους ούτε είχε παρακολουθήσει τους μηχανισμούς επανεμφάνισης των χαρακτηριστικών από γενιά σε γενιά.

Ο Μέντελ, στηριζόμενος πάνω στα πειραματικά του αποτελέσματα, διατύπωσε την άποψη ότι κάθε κληρονομικό χαρακτηριστικό των οργανισμών ελέγχεται από δύο “παράγοντες”. (Οι “παράγοντες” του Μέντελ είναι ισοδύναμοι με αυτό που σήμερα αποκαλούμε γονίδια, όρο που θα

χρησιμοποιούμε στο εξής.) Ο Μέντελ πρότεινε ότι όταν δημιουργούνται οι γαμέτες, τα γονίδια συμπεριφέρονται ως μονάδες και διαχωρίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε γεννητικό κύτταρο, ωάριο ή κόκκος γύρης να περιέχει μόνο έναν αντιπρόσωπο από κάθε ζευγάρι γονιδίων. Με την γονιμοποίηση, τα γονίδια αναμειγνύονται και ξαναμοιράζονται σε ζευγάρια.

Σήμερα ξέρουμε ότι αυτό ακριβώς συμβαίνει με τη μείωση και το διαχωρισμό των ομόλογων χρωμοσωμάτων καθώς και με τη γονιμοποίηση. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο όμως είναι ότι ο Μέντελ διατύπωσε αυτή την ιδέα μια εποχή κατά την οποία η μίτωση και η μείωση δεν είχαν σχεδόν ακόμη ανακαλυφθεί.

Το 1903, όταν οι λεπτομέρειες γύρω από τη μίτωση, τη μείωση και την αναπαραγωγή είχαν γίνει πλέον γνωστές, ο Γ. Σάττον απέδειξε την παράλληλη σχέση ανάμεσα στην ιδέα του διαχωρισμού των γονιδίων του Μέντελ και στο διαχωρισμό των ομόλογων χρωμοσωμάτων κατά τη μείωση, προτείνοντας τη χρωμοσωμική θεωρία για την κληρονομικότητα, κατά την οποία τα γονίδια βρίσκονται πάνω στα χρωμοσώματα.



Γενετική του Μέντελ

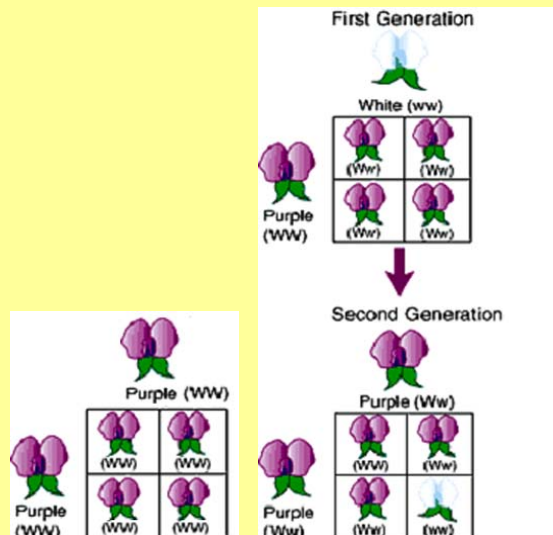
Ο Μέντελ διάλεξε τους οργανισμούς που χρησιμοποίησε για τα πειράματά του πολύ προσεκτικά. Το μπιζέλι *Pisum sativum* συγκεντρώνει ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων ως πειραματικό υλικό. Καλλιεργείται εύκολα, εμφανίζει πολλές παραλλαγές στα διάφορα χαρακτηριστικά του (ποικιλίες) και είναι εύκολο να υποστεί τεχνητή γονιμοποίηση.

Seed shape	Seed color	Flower color	Seedling axil color	Seed coat color	Pod shape	Pod color	Flower position	Stem length
Round	Yellow	Purple	Purple	Purple-gray	Inflated	Green	Axial	Tall
								
DOMINANT								
Wrinkled	Green	White	Green	White	Constricted	Yellow	Terminal	Dwarf
								
RECESSIVE								

Τα γενετικά χαρακτηριστικά των μπιζελιών του Μέντελ

Ο Μέντελ κατάφερε σ' ένα προκαταρκτικό στάδιο να δημιουργήσει γενετικά καθαρές ποικιλίες (αμιγή στελέχη), φυτά, δηλαδή, που όταν διασταυρώνονται μεταξύ τους, δίνουν επί σειρά γενεών τα ίδια αποτελέσματα. Σ' αυτές τις προκαταρκτικές διασταυρώσεις επέλεξε για μελέτη επτά ζευγάρια χαρακτηριστικών.

Όταν ο Μέντελ διασταύρωσε φυτά που διέφεραν ως προς μία ιδιότητα, π.χ. φυτά με άσπρα ή μοβ λουλούδια, τα φυτά στην πρώτη γενιά απογόνων ήταν όλα όμοια μεταξύ τους και έμοιαζαν με έναν από τους δύο γονείς.



Αμιγή στελέχη (αριστερά) και F1/F2 (δεξιά)

Η πρώτη γενιά απογόνων ονομάζεται πρώτη θυγατρική γενιά ή F1 γενιά. Η δεύτερη θυγατρική ή F2 γενιά παράγεται από τη διασταύρωση δύο ατόμων της F1. Ο Μέντελ διαπίστωσε ότι στη γενιά αυτή συνυπήρχαν και οι δύο ιδιότητες της πατρικής γενιάς σε μια αναλογία περίπου 3:1. Όταν, λόγου χάρη, διασταύρωσε φυτά με άσπρα και μοβ λουλούδια (πατρική ή P γενιά) και όλα τα άτομα της F1 γενιάς διασταυρώνονταν μεταξύ τους ή αυτογονιμοποιούνταν, η F2 γενιά περιλάμβανε 787 φυτά με

μοβ και 277 με άσπρα λουλούδια. Γίνεται φανερό ότι στην F1 γενιά ο κληρονομικός παράγοντας του άσπρου λουλουδιού είχε επισκιαστεί από τον κληρονομικό παράγοντα του μοβ. Από αυτά τα αποτελέσματα ο Μέντελ διατύπωσε την αρχή της επικράτειας, που αναφέρει ότι σε ένα υβρίδιο της F1 γενιάς ο κληρονομικός παράγοντας που υπήρχε σ' έναν από τους γονείς επισκιάζει την εκδήλωση του κληρονομικού παράγοντα που υπήρχε στον άλλο γονέα. Ο κληρονομικός παράγοντας που εκδηλώνεται στην F1 γενιά (μοβ λουλούδια) ονομάζεται επικρατής, ενώ ο παράγοντας που επισκιάζεται (άσπρα λουλούδια) ονομάζεται υπολειπόμενος. Αυτή η διαπίστωση ερχόταν σε πλήρη αντίθεση με την επικρατούσα μέχρι τότε άποψη ότι τα χαρακτηριστικά στην κληρονομικότητα ακολουθούν τους νόμους της ανάμειξης, ότι δηλαδή ένα υβρίδιο θα πρέπει να έχει ενδιάμεσο χρώμα λουλουδιών ως προς τους γονείς. Σήμερα, παρόλο που γνωρίζουμε ότι η αρχή της επικράτειας δεν ισχύει πάντοτε, θεωρούμε ότι η διαπίστωση πως ένας κληρονομικός παράγοντας μπορεί να επισκιάσει την έκφραση ενός άλλου, αποτέλεσε μια σημαντικότερη διανοητική επινόηση του Μέντελ.

Στο πιο πάνω παράδειγμα τα ψηλά φυτά της F1 γενιάς είχαν δύο γενετικούς παράγοντες, έναν για τα μοβ λουλούδια (που μπορεί να συμβολιστεί με W) και έναν για τα άσπρα (με w), αλλά επειδή το πρώτο γονίδιο ήταν επικρατές, τα φυτά αυτά είχαν μοβ λουλούδια. Όταν όμως τα φυτά της F1 γενιάς δημιούργησαν γαμέτες, το γονίδιο W διαχωρίστηκε από το αντίστοιχο w έτσι ώστε οι μισοί γαμέτες περιείχαν το ένα γονίδιο και οι άλλοι μισοί το άλλο. Η τυχαία γονιμοποίηση αυτών των γαμετών οδήγησε σε τρεις δυνατούς συνδυασμούς ζευγαριών γονιδίων στους απογόνους: 1/4 με δύο γονίδια για μοβ λουλούδια (WW), 1/4 με δύο γονίδια για άσπρα λουλούδια (ww) και 2/4 με ένα γονίδιο για μοβ και ένα για άσπρα (Ww). Επειδή τα φυτά με (WW) και (Ww) έχουν όλα μοβ λουλούδια, περιμένει κανείς τα 3/4 περίπου των απογόνων να έχουν μοβ λουλούδια (να εκφράζεται, δηλαδή, το επικρατές γονίδιο) και το 1/4 να αποτελείται από φυτά με άσπρα λουλούδια (να εκφράζεται δηλαδή το υπολειπόμενο γονίδιο).

Ο Μέντελ ανακοίνωσε όλες αυτές τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά του στην Εταιρεία Φυσικών Επιστημών του Μπρνο, το 1886. Την εποχή εκείνη η Βιολογία ήταν κυρίως μια περιγραφική επιστήμη και το ενδιαφέρον για την εφαρμογή ποσοτικών και πειραματικών μεθόδων σαν αυτές που χρησιμοποίησε ο Μέντελ, ήταν πολύ περιορισμένο. Η θεμελιώδης σημασία των αποτελεσμάτων του δεν εκτιμήθηκε από τους σύγχρονους του βιολόγους και το σύνολο της εργασίας του παρέμεινε στην αφάνεια για τριάντα πέντε σχεδόν χρόνια.

Το 1900 ο Ούγκο ντε Βρις στην Ολλανδία και άλλοι βιολόγοι στη Γερμανία και στην Αυστρία, δουλεύοντας ανεξάρτητα μεταξύ τους, προσέγγισαν ξανά τους νόμους της κληρονομικότητας όπως αυτοί είχαν διατυπωθεί από τον Μέντελ. Η φιλολογική έρευνα σε συνδυασμό με την επιστημονική έρευνα τούς οδήγησε στα χειρόγραφα του Μέντελ, στα οποία με σαφήνεια είχαν διατυπωθεί οι νόμοι της κληρονομικότητας τριάντα τέσσερα χρόνια πριν. Τίμησαν τον Μέντελ συνδέοντας το όνομά του με αυτούς τους νόμους. Από την εποχή αυτή και μετά οι πειραματικές μέθοδοι στη βιολογία αποτέλεσαν την προϋπόθεση για κάθε ερευνητική εργασία.

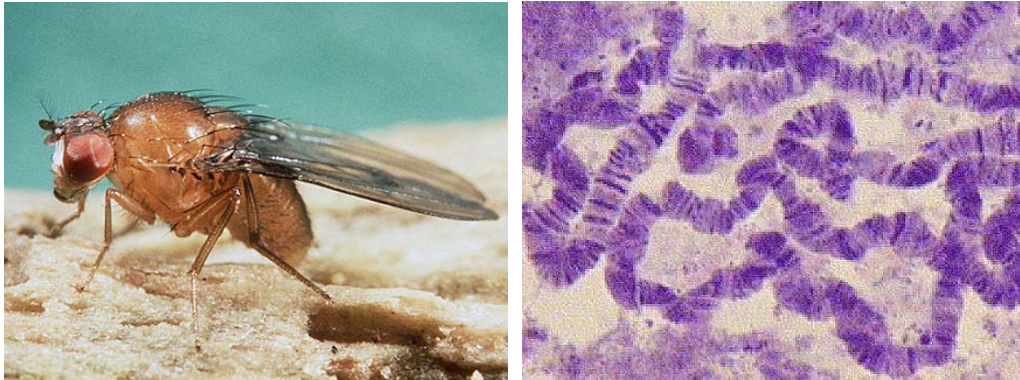
Το Μαγικό Μόριο της Κληρονομικότητας

Στις αρχές του αιώνα μας ο Μόργκαν και οι συνεργάτες του επιβεβαίωσαν ότι τα γονίδια βρίσκονταν πάνω στα χρωμοσώματα, εντοπίζοντας πολλές μεταλλάξεις στη μύγα Δροσόφιλα. Προσδιορίστηκε έτσι η θέση των γονιδίων αλλά δεν είχε ακόμα γίνει γνωστό το υλικό από το οποίο ήταν φτιαγμένα. Οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν ότι κάθε υλικό ικανό να μεταβιβάζει πληροφορία από τη μια γενιά στην επόμενη πρέπει να χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιότητες:

- πρέπει να αποθηκεύει πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του μεταβολισμού και της ανάπτυξης
- πρέπει να μπορεί να αντιγράφεται χωρίς λάθη κατά την κυτταρική διαίρεση και να μεταφέρεται από γενιά σε γενιά

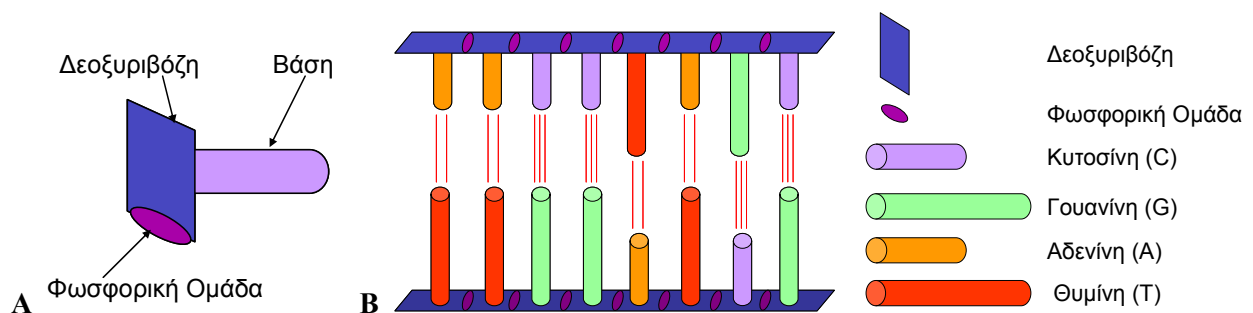
- πρέπει να είναι αρκετά σταθερό ώστε να μπορεί να μεταφέρει πληροφορία σε πολλές διαδοχικές γενιές
- πρέπει όμως παράλληλα να μπορεί να υφίσταται αλλαγές (γνωστές ως μεταλλάξεις) ώστε να δημιουργούνται παραλλαγές του, που να επιτρέπουν στα διάφορα είδη οργανισμών να προσαρμόζονται καλύτερα στις διαρκώς μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το υλικό που διαθέτει όλες αυτές τις ιδιότητες είναι το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA.) Είναι ένα οργανικό μακρομόριο το οποίο είναι το βασικό συστατικό των γονιδίων και των χρωμοσωμάτων. Αποτελεί το γενετικό υλικό όλων των οργανισμών καθώς και μερικών ιών.

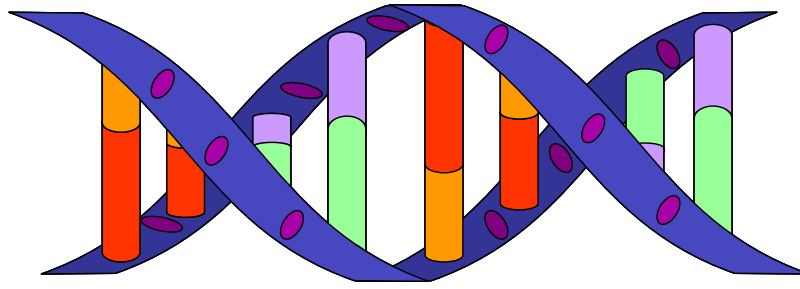


Η μύγα Δροσόφιλα (αριστερά) και το DNA της (δεξιά.)

Το DNA είναι ένα μακρομόριο, που αποτελείται από νουκλεοτίδια. Κάθε νουκλεοτίδιο του DNA αποτελείται από μία ζάχαρη, τη δεοξυριβόζη, ενωμένη με μια φωσφορική ομάδα και μια αζωτούχο βάση. Στα νουκλεοτίδια του DNA η αζωτούχος βάση μπορεί να είναι μια από τις: αδενίνη (A), γουανίνη (G), κυτοσίνη (C) και θυμίνη (T.) Πολλά νουκλεοτίδια μαζί σχηματίζουν μια αλυσίδα, που αποτελείται από μια “ραχοκοκαλιά” από δεοξυριβόζη και φωσφορικές ομάδες και διάφορες βάσεις. Το DNA αποτελείται από δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες που σχηματίζουν στο χώρο μία δεξιόστροφη διπλή έλικα. Οι αζωτούχες βάσεις της μιας αλυσίδας συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου με τις αζωτούχες βάσεις της απέναντι αλυσίδας με βάση τον κανόνα της συμπληρωματικότητας. Η αδενίνη συνδέεται μόνο με θυμίνη και αντίστροφα, ενώ η κυτοσίνη μόνο με γουανίνη και αντίστροφα. Οι δεσμοί υδρογόνου που αναπτύσσονται μεταξύ των βάσεων σταθεροποιούν τη ελικοειδή δομή του μορίου. Οι δύο αλυσίδες ενός μορίου DNA είναι συμπληρωματικές, και αυτό υποδηλώνει ότι η αλληλουχία της μιας καθορίζει την αλληλουχία της άλλης. Η συμπληρωματικότητα έχει τεράστια σημασία για τον αυτοδιπλασιασμό του DNA, μια ιδιότητα που το καθιστά το καταλληλότερο μόριο για τη διατήρηση και τη μεταβίβαση της γενετικής πληροφορίας. Κάθε αλυσίδα DNA μπορεί να χρησιμεύει ως καλούπι για τη σύνθεση μιας συμπληρωματικής αλυσίδας, ώστε τελικά να σχηματίζονται δύο δίκλωνα μόρια DNA πανομοιότυπα με το μητρικό μόριο.



Α. Νουκλεοτίδιο αποτελούμενο από δεοξυριβόζη, φωσφορική ομάδα και μια βάση (σε αυτή την περίπτωση Κυτοσίνη. Β. Συμπληρωματικές αλυσίδες DNA. Οι δεσμοί υδρογόνου (κόκκινες γραμμές) που αναπτύσσονται μεταξύ των βάσεων συνδέουν τις δυο αλυσίδες σχηματίζοντας μια διπλή έλικα.



Διπλή έλিকা DNA που σχηματίζεται από την ένωση των συμπληρωματικών αλυσίδων από το πιο πάνω σχήμα.

Το 2003 γιορτάστηκαν σε όλον τον κόσμο τα 50 χρόνια από την ανακάλυψη του DNA. Η ανακάλυψη έγινε στο πανεπιστήμιο Καίμπριτζ στην Αγγλία από τους Φράνσις Κρίκ και Τζέιμς Γουάτσον και σήμανε την αρχή μιας σταδιακής επανάστασης στη βιολογία, η οποία τα τελευταία δέκα χρόνια έχει προκαλέσει μερικές από τις θεμελιώδεις αρχές της ανθρώπινης ύπαρξης.

Παρ' ότι η χημική σύσταση και οι ιδιότητες του DNA, είχαν γίνει γνωστά από τα πειράματα που είχαν προηγηθεί, δεν υπήρχε κοινά αποδεκτή πρόταση για τη δομή του DNA στο χώρο. Δεδομένα από την ανάλυση του ποσοστού των βάσεων σε μόρια DNA από διαφορετικούς οργανισμούς έδειχναν ότι σε κάθε μόριο DNA ο αριθμός των νουκλεοτιδίων που έχουν ως βάση την αδενίνη είναι ίσος με τον αριθμό των νουκλεοτιδίων που έχουν θυμίνη, και ο αριθμός των νουκλεοτιδίων που έχουν ως βάση την γουανίνη είναι ίσος με τον αριθμό αυτών που έχουν κυτοσίνη. Δηλαδή ισχύει $A = T$ και $G = C$. Επίσης, βρέθηκε ότι η αναλογία των βάσεων ($A + T / G + C$) διαφέρει από είδος σε είδος και σχετίζεται με το είδος του οργανισμού. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με αποτελέσματα που αφορούσαν την απεικόνιση του μορίου του DNA με χρήση ακτίνων-X βοήθησαν στην ανακάλυψη της διπλής έλικας του DNA και απέδειξαν τις μοναδικές ιδιότητες του που το καθιστούν μόριο ιδανικό ως γενετικό υλικό. Η ανακάλυψη της διπλής έλικας του DNA είναι η μεγαλύτερη βιολογική ανακάλυψη του 20ού αιώνα. Έγινε το 1953 και ήταν το αποτέλεσμα της ερευνητικής εργασίας δύο ομάδων επιστημόνων: των Γουίλκινς και Φράνκλιν καθώς και των Γουάτσον και Κρίκ. Στηριζόμενοι στο σύνολο των αποτελεσμάτων των δύο ομάδων οι Γουάτσον και Κρίκ διατύπωσαν το μοντέλο της διπλής έλικας του DNA, που αναφέρεται στη δομή του DNA στο χώρο .



Francis Crick



James Watson



Maurice Wilkins



Rosalind Franklin

Ως αποτέλεσμα της ανακάλυψης του DNA, το "μυστήριο" της ζωής έπαψε να είναι μυστήριο. Η αποκωδικοποίηση του πριν από τρία περίπου χρόνια έβαλε τα θεμέλια για τις γονιδιακές θεραπείες που υπόσχονται να επιλύσουν όλα τα ιατρικά προβλήματα του ανθρώπου και να μας εξασφαλίσουν μακροβιότητα που θα φτάνει έως και τα 150 έτη!

Το DNA είναι το μόριο της ζωής. Σε αυτό βρίσκονται κωδικοποιημένα τα γονίδια κάθε ζωντανού οργανισμού, η πληροφορία δηλαδή που σχετίζεται με τη μορφή που θα πάρει ο οργανισμός αυτός, τη διάρκεια της ζωής του, τον τρόπο λειτουργίας του και σε πολύ μεγάλο βαθμό, τη συμπεριφορά του.

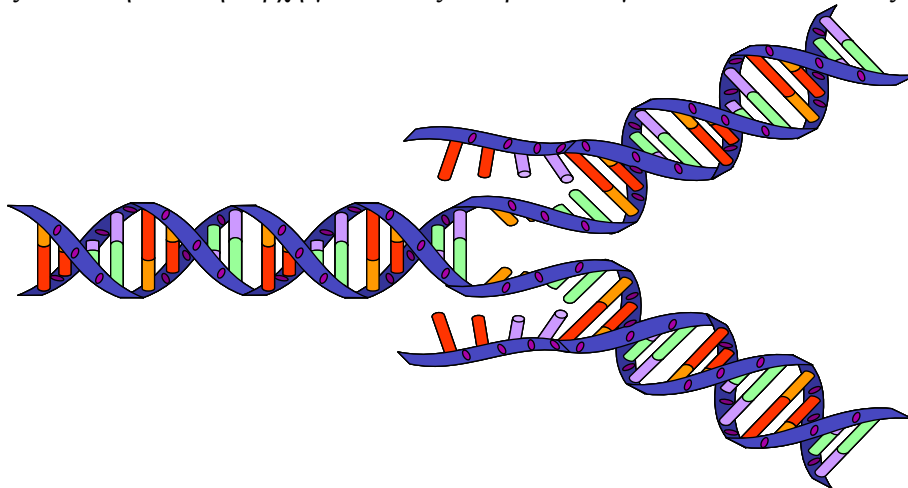
Αρχικά, οι ερευνητές απέδειξαν ότι το DNA είναι το γενετικό υλικό κατώτερων οργανισμών όπως των βακτηρίων και των ιών. Το 1928 ο Φ. Γκρίφιθ μελετώντας τον πνευμονιόκκοκο, ένα βακτήριο που προκαλεί πνευμονία στα θηλαστικά, συμπέρανε ότι κάποια ουσία είχε την ικανότητα να μεταμορφώνει μη παθογόνα στελέχη σε παθογόνα και αυτή δε θα μπορούσε να είναι άλλη από το ίδιο το γενετικό υλικό. Μετά από δεκαέξι χρόνια ερευνών οι Άβερι και Μακ Λέοντ απέδειξαν ότι η χημική αυτή ουσία ήταν το DNA. Οι βακτηριοφάγοι είναι ιοί που προσβάλλουν βακτήρια. Αποτελούνται από ένα μόνο πρωτεϊνικό περίβλημα μέσα στο οποίο βρίσκεται ένα νουκλεϊκό οξύ. Επειδή η δομή τους είναι πολύ απλή, οι επιστήμονες τους επέλεξαν για να διαπιστώσουν κατά πόσον τα μόρια της πρωτεΐνης ή του DNA ήταν σημαντικά ως φορείς γενετικού υλικού. Ο Α. Χέρσεϊ και η Μ. Τσέις επιβεβαίωσαν πειραματικά ότι το γενετικό υλικό των βακτηριοφάγων είναι το DNA και όχι οι πρωτεΐνες.

Μολονότι με τη βακτηριακή μεταμόρφωση και την αντιγραφή των ιών ξεκαθαρίστηκε ο ρόλος του DNA ως γενετικού υλικού στους οργανισμούς αυτούς, χρειάστηκε να επιβεβαιωθεί ο ρόλος του και σε ανώτερους οργανισμούς. Δύο κυρίως ενδείξεις οδήγησαν στη διαπίστωση της σημασίας του DNA στην κληρονομικότητα.

- Όλα τα σωματικά κύτταρα κάθε οργανισμού περιέχουν την ίδια ποσότητα DNA, ενώ τα γεννητικά του τη μισή.
- Οι αναλογίες βάσεων είναι ίδιες σε όλα τα κύτταρα ενός είδους, ενώ διαφέρουν από είδος σε είδος.

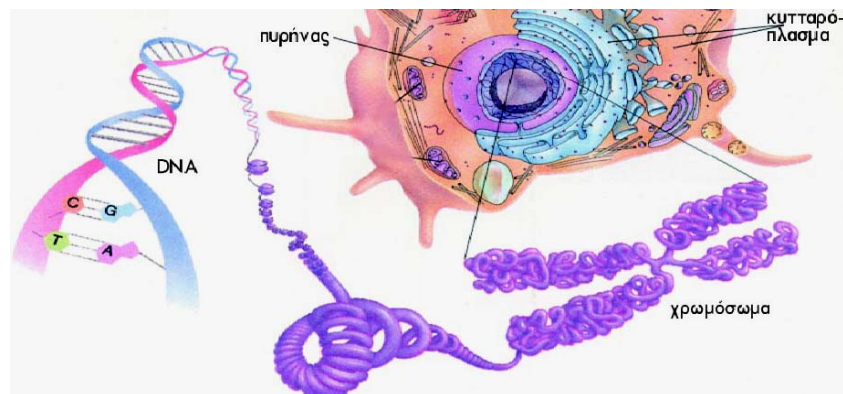
Φάνηκε δηλαδή ότι το DNA χαρακτηρίζεται από μια σταθερότητα στα κύτταρα του ίδιου είδους, ενώ αντίθετα, εμφανίζει μια ποικιλότητα μεταξύ των διαφορετικών ειδών. Προσεκτικότερες παρατηρήσεις στην αναλογία των βάσεων έδειξαν ότι σε κάθε είδος που μελετήθηκε οι αδενίνες ήταν ίσες με τις θυμίνες και οι γουανίνες ίσες με τις κυτοσίνες. Η σημασία του αποτελέσματος αυτού στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το DNA μεταφέρει τη γενετική πληροφορία, συνειδητοποιήθηκε από τους Γουάτσον και Κρικ οι οποίοι διαλεύκαναν τη δομή του DNA.

Μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του DNA είναι αυτή του αυτοδιπλασιασμού. Το DNA μπορεί απλά να “ξεκουμπώνεται” όπως ένα φερμουάρ και κάθε αλυσίδα του να χρησιμεύει σαν καλούπι για το σχηματισμό μιας συμπληρωματικής αλυσίδας με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή δύο πανομοιότυπων δίκλωνων μορίων DNA. Ειδικά ένζυμα, χρησιμοποιώντας νουκλεοτίδια, συναρμολογούν την συμπληρωματική αλυσίδα πάνω από κάθε υπάρχουσα αλυσίδα καταλήγοντας έτσι σε δύο μόρια. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται “αντιγραφή.” Το DNA λοιπόν εκπληρώνει όλες τις προϋποθέσεις που τέθηκαν στην αρχή για να παίξει το ρόλο του γενετικού υλικού στους οργανισμούς.



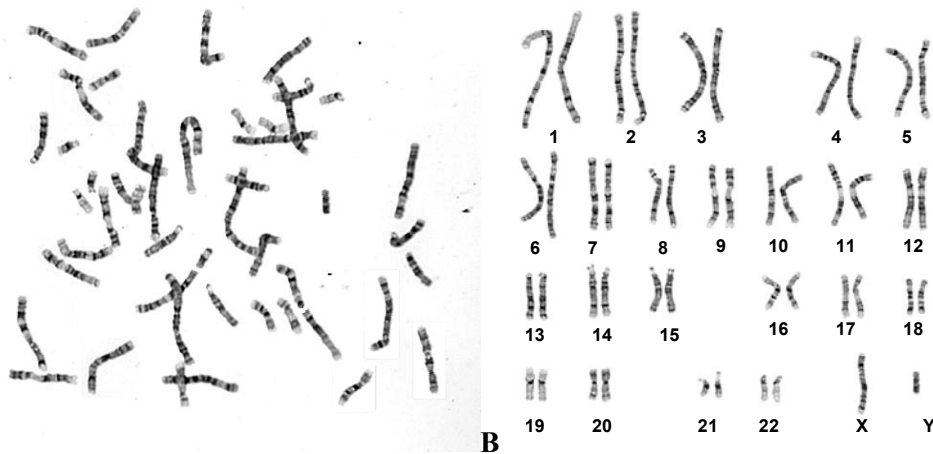
Το DNA έχει την ιδιότητα του αυτοδιπλασιασμού.

Οι φορείς της γενετικής πληροφορίας στα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι τα χρωμοσώματα, τα οποία ως αυτοτελείς κληρονομικές μονάδες βρίσκονται στον πυρήνα του κυττάρου. Το όνομά τους το οφείλουν στην ιδιότητα που έχουν να χρωματίζονται έντονα με ειδικές χρωστικές ουσίες. Το βασικό συστατικό των χρωμοσωμάτων είναι το DNA, κομμάτια του οποίου περιτυλίγονται σφικτά για να σχηματίσουν τα χρωματοσώματα. Πόσα χρωμοσώματα υπάρχουν σε κάθε κύτταρο; Κάθε άτομο που ανήκει σ' ένα συγκεκριμένο είδος οργανισμών περιέχει ένα χαρακτηριστικό αριθμό χρωμοσωμάτων σε κάθε κύτταρό του. Όλα τα σωματικά κύτταρα ενός φυσιολογικού ανθρώπου έχουν 46 χρωμοσώματα. Πολλά άλλα είδη φυτών και ζώων έχουν επίσης 46 χρωμοσώματα όπως, για παράδειγμα, η ελιά. Αυτό που διαφοροποιεί ένα είδος από ένα άλλο δεν είναι μόνο ο αριθμός των χρωμοσωμάτων, αλλά κυρίως η γενετική πληροφορία που υπάρχει σ' αυτά. Υπάρχουν είδη ζώων, όπως κάποια σκουλήκια, που έχουν μόνο ένα χρωμόσωμα σε κάθε κύτταρό τους. Αντίθετα σε κάποια καβούρια συναντάμε 200 και πλέον χρωμοσώματα ανά κύτταρο. Πάντως σε γενικές γραμμές στα περισσότερα είδη φυτών και ζώων ο αριθμός των χρωμοσωμάτων ποικίλλει από 10 ως 50.



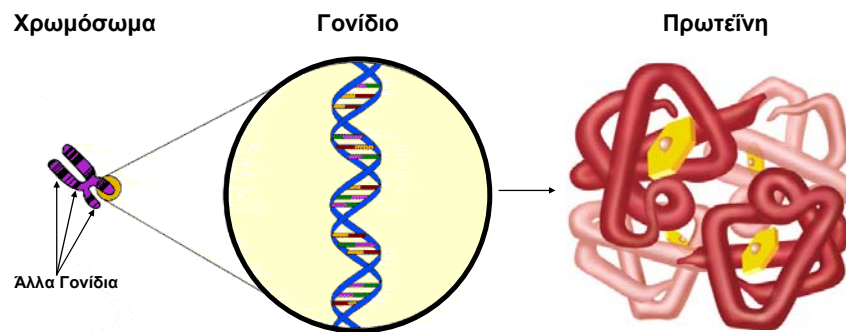
Το DNA περιτυλίγεται μέσα στον πυρήνα πάρα πολύ πυκνά και σχηματίζει χαρακτηριστικές δομές που τις ονομάζουμε χρωματοσώματα.

Τα χρωμοσώματα συνήθως βρίσκονται σε ζευγάρια. Υπάρχουν δύο από κάθε είδος χρωμοσωμάτων στα σωματικά κύτταρα των ανώτερων φυτών και ζώων. Έτσι τα 46 χρωμοσώματα των κυττάρων του ανθρώπου δημιουργούν 23 διαφορετικά ζευγάρια. Τα χρωμοσώματα κάθε ζευγαριού ονομάζονται ομόλογα χρωμοσώματα και είναι όμοια ως προς το μέγεθος και τη μορφή τους. Εξάιρεση αποτελούν τα φυλετικά χρωμοσώματα, αυτά δηλαδή που καθορίζουν το φύλο του ανθρώπου. Στις γυναίκες υπάρχουν δύο ομόλογα X χρωμοσώματα ενώ στους άντρες ένα X και ένα Y χρωμοσώματα. Το κύτταρο που περιέχει ένα ζευγάρι χρωμοσωμάτων από κάθε είδος ονομάζεται διπλοειδές κύτταρο (ή $2n$). Οι γαμέτες, δηλαδή τα ωάρια και σπερματοζωάρια, έχουν μόνο ένα χρωμόσωμα από κάθε ζευγάρι, γι' αυτό και ονομάζονται απλοειδή κύτταρα (ή $1n$).



A. Τα χρωμοσώματα όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο χρωματισμένα με ειδική χρωστική ουσία. B. Τα ίδια χρωμοσώματα κατανεμημένα σε καρνότυπο, δηλαδή ανά ζεύγος και με αριθμητική σειρά.

Κάθε χρωμόσωμα μπορεί να περιλαμβάνει εκατοντάδες ή και χιλιάδες διαφορετικά γονίδια, τοποθετημένα σε γραμμική διάταξη. Το γονίδιο με την ευρεία έννοια είναι η πληροφοριακή μονάδα που ευθύνεται για κάποιο χαρακτηριστικό του οργανισμού. Μιλάμε, για παράδειγμα, για γονίδια που ελέγχουν το χρώμα των ματιών στον άνθρωπο, το μήκος των φτερών στις μύγες, το χρώμα των σπερμάτων στα μπιζέλια κ.ά. Αυτό σημαίνει ότι τα γονίδια ελέγχουν τη δομή όλων των πρωτεϊνών ενός οργανισμού συμπεριλαμβανομένων και των ενζύμων τα οποία καταλύουν κάθε βιοχημική αντίδραση. Η λειτουργική παρουσία της πρωτεΐνης σχετίζεται άμεσα (αν είναι δομικό συστατικό) ή έμμεσα (αν είναι ένζυμο) με κάποιο κληρονομικό γνώρισμα. Ο αριθμός των διαφορετικών γονιδίων στα θηλαστικά είναι περίπου 50.000, ενώ για τον άνθρωπο πιστεύεται ότι ο αριθμός των διαφορετικών γονιδίων του, που υπολογίζεται ότι ξεπερνούν τις 100.000, θα προσδιοριστεί μέσα στην πρώτη δεκαετία του αιώνα που διανύουμε.



Κάθε χρωματόσωμα (αριστερά) συμπεριλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό γονιδίων. Κάθε γονίδιο (μέσον) αποτελείται από ένα τμήμα DNA το οποίο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να αποκωδικοποιηθεί σε κάποια χρήσιμη πρωτεΐνη (δεξιά.)

Κωδικοποίηση και Αποκωδικοποίηση

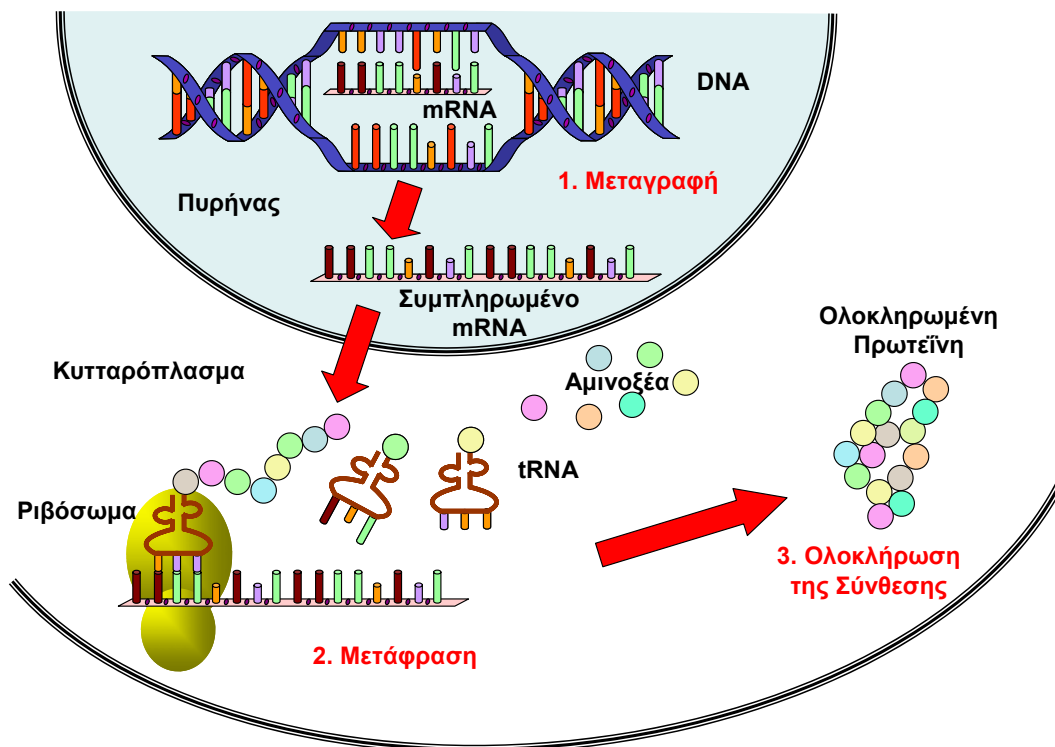
Τα γονίδια ενός οργανισμού αποτελούνται από βάσεις DNA και είναι οι μονάδες που ελέγχουν μέσω της σύνθεσης πρωτεϊνών το μεταβολισμό και τις λειτουργίες των κυττάρων. Σε τελική ανάλυση, όπως είδαμε, τα γονίδια είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τύπο κάθε οργανισμού. Στις επόμενες παραγράφους θα μελετήσουμε τους μηχανισμούς με τους οποίους το μόριο του DNA αποθηκεύει όλες αυτές τις πληροφορίες και εξασκεί ταυτόχρονα τον έλεγχο πάνω σε όλες τις κυτταρικές λειτουργίες

Πώς κωδικοποιούνται, λοιπόν, οι πληροφορίες για την κατασκευή των πρωτεϊνών στο DNA; Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από συνδυασμούς 20 αμινοξέων. Πρέπει λοιπόν ο συνδυασμός των βάσεων του DNA να κωδικοποιεί την σειρά και το είδος αυτών των αμινοξέων. Μια και υπάρχουν είκοσι αμινοξέα και μόνο 4 διαφορετικές βάσεις, η “κωδική λέξη” για κωδικοποίηση κάθε αμινοξέος δεν θα μπορούσε να ήταν ούτε μια ούτε δυο βάσεις. Εάν ήταν μόνο μια βάση, π.χ. Α ή Τ ή Γ ή Σ, μόνο τέσσερα διαφορετικά αμινοξέα θα μπορούσαν να κωδικοποιηθούν. Εάν ήταν συνδυασμός δύο βάσεων, π.χ. ΑΑ ή ΑΤ ή ΑΓ ή ΑΣ ή ΤΑ ή ΤΓ ή ΤΣ κλπ, μόνο δεκαέξι διαφορετικά αμινοξέα θα μπορούσαν να κωδικοποιηθούν (4^2 διαφορετικοί συνδυασμοί.) Εάν όμως η κωδικοποίηση γινόταν με συνδυασμό τριών αζωτούχων βάσεων, π.χ. ΑΑΑ ή ΑΑΤ ή ΓΤΣ κλπ, τότε 64 πιθανά αμινοξέα θα μπορούσαν να κωδικοποιηθούν (4^3 διαφορετικοί συνδυασμοί.) Είναι φανερό λοιπόν ότι οι πρωτεΐνες μπορούν να κωδικοποιηθούν με ένα τέτοιο κώδικα βασισμένο σε τριπλέτες βάσεων (κωδικόνια.)

Το πρώτο στάδιο για την έκφραση της γενετικής πληροφορίας υλοποιείται με τη σύνθεση του “μηνύματος RNA” (mRNA.) Χρησιμοποιούμε για τη διαδικασία αυτή τον όρο “μεταγραφή”, διότι η γενετική πληροφορία, που ήταν καταγεγραμμένη στη γλώσσα του DNA, περνά στο RNA, που χρησιμοποιεί την ίδια γλώσσα, δηλαδή τη γλώσσα των νουκλεοτιδίων. Κάθε mRNA είναι αντίγραφο ενός γονιδίου, τμήματος, δηλαδή, της μίας από τις δύο αλυσίδες του DNA. Προκύπτει με μια διαδικασία αντίστοιχη της αντιγραφής, κατά την οποία το DNA ξεδιπλώνεται και ανοίγει και ειδικά

ένζυμα συνθέτουν τα τμήματα του RNA. Η μόνη διαφορά είναι ότι η βάση ουρακίλη (U) αντικαθιστά τη θυμίνη (T) στο ζευγάρι με την αδενίνη (A.) Το μόριο που φτιάχνεται με τον τρόπο αυτό περιέχει μια συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων, τα οποία χρησιμεύουν για να κατευθύνουν τη σειρά τοποθέτησης των αμινοξέων κατά το σχηματισμό της πρωτεΐνης. Περιέχουν επίσης κωδικόνια που σηματοδοτούν την έναρξη και την λήξη της μετάφρασης σε πρωτεΐνη. Όπως η αντιγραφή, έτσι και η μεταγραφή είναι μια διαδικασία που εκτελείται με ακρίβεια. Όμως δεν αποκλείονται τα λάθη, αφού μάλιστα δε γίνεται επανέλεγχος της ορθής τοποθέτησης των νουκλεοτιδίων. Ωστόσο τα λάθη αυτά δεν κληροδοτούνται. Αφορούν μόνο τα μόρια των πρωτεϊνών που θα παραχθούν από το συγκεκριμένο ελαττωματικό μόριο mRNA.

Το δεύτερο και τελευταίο στάδιο για την έκφραση της γενετικής πληροφορίας υλοποιείται με τη μετάφρασή της, δηλαδή, με την παραγωγή του πρωτεϊνικού προϊόντος. Χρησιμοποιούμε για τη διαδικασία αυτή τον όρο “μετάφραση”, διότι ενώ η γενετική πληροφορία ήταν μέχρι τώρα καταγεγραμμένη στη γλώσσα των νουκλεϊκών οξέων και χρησιμοποιούσε ένα αλφάβητο 4 γραμμάτων (όσες και οι διαφορετικές βάσεις στο DNA ή στο RNA), τώρα πρέπει να μεταφραστεί στη γλώσσα των πρωτεϊνών που χρησιμοποιεί τα διαφορετικά αμινοξέα. Η σύνθεση των πρωτεϊνών γίνεται στα ριβοσώματα (οργανίδια μέσα στο κύτταρο.) Η μετάφραση του κωδικοποιημένου μηνύματος του mRNA απαιτεί την ανάγνωση και μετάφραση της πληροφορίας που μεταφέρει κάθε κωδικόνιο σε μια συγκεκριμένη σειρά αμινοξέων. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται τη βοήθεια ενός μορίου που θα μπορεί ταυτόχρονα, να “διαβάζει” από τη μια μεριά τα κωδικόνια στο mRNA και από την άλλη να “βρίσκει” το κατάλληλο αμινοξύ. Αυτός είναι και ο ρόλος του μεταφορικού RNA (tRNA). Τα μόρια αυτά μεταφέρουν τα αμινοξέα από το κυτταρόπλασμα στα ριβοσώματα. Η έναρξη της μετάφρασης γίνεται, όταν το ριβόσωμα ενωθεί με το mRNA στην περιοχή του κωδικονίου έναρξης (AUG). Ο τερματισμός της αλυσίδας επέρχεται, όταν το ριβόσωμα αντιληφθεί ένα σήμα λήξης με τη μορφή ενός κωδικονίου λήξης (UAG, UAA και UGA). Η διαδικασία από DNA σε πρωτεΐνη ονομάζεται “κεντρικό δόγμα” στη μοριακή βιολογία.



Η διαδικασία της μεταγραφής του DNA σε RNA και της μετάφρασης του RNA σε πρωτεΐνη.

Η εκλεκτική έκφραση των γονιδίων προκαλεί τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Όλα τα σωματικά κύτταρα ενός οργανισμού φέρουν την ίδια ακριβώς γενετική πληροφορία, γιατί όλα τους περιέχουν το ίδιο DNA (με την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν έχει γίνει καμία μετάλλαξη στα κύτταρα αυτά). Με ποιο, λοιπόν, τρόπο μπορεί να εξηγηθεί η τεράστια ποικιλία που εμφανίζουν στη δομή και τη λειτουργία τους οι διάφορες κατηγορίες κυττάρων του ίδιου οργανισμού; Ένα γονίδιο εκφράζεται ή ανοίγει, όταν το DNA μεταγράφεται σε mRNA και το mRNA μεταφράζεται σε πρωτεΐνη. Γονίδια που δε μεταγράφονται και επομένως δε μεταφράζονται, θεωρούμε αντίστοιχα ότι δεν εκφράζονται, είναι δηλαδή κλειστά. Η πρωτεϊνοσύνθεση, δηλαδή, ελέγχεται από τη λειτουργία ή όχι των διάφορων γονιδίων. Πράγματι, έχει αποδειχθεί ότι γίνεται εκλεκτική έκφραση του γενετικού υλικού στις διαφορετικές κατηγορίες κυττάρων που συγκροτούν τους διαφορετικούς ιστούς. Αυτό μοιάζει με το εξής παράδειγμα: δύο αδέρφια που σπουδάζουν, ο ένας στην Ιατρική και ο άλλος στο Πολυτεχνείο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβουλευόνται διαφορετικά λήμματα της ίδιας εγκυκλοπαίδειας που έχουν στη βιβλιοθήκη τους. Τις σελίδες που θα διαβάσει ο ένας μπορεί ποτέ να μην τις ανοίξει ο άλλος. Ρύθμιση της δράσης των γονιδίων μπορεί να γίνει σε όλα τα στάδια που σχετίζονται με τη σύνθεση και τη λειτουργία των πρωτεϊνών. Σήμερα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ότι η γονιδιακή έκφραση μπορεί να ελεγχθεί τόσο στο στάδιο της μεταγραφής στον πυρήνα όσο και στο στάδιο της μετάφρασης στο κυτταρόπλασμα.

DNA, πολύ DNA

Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να αυξηθεί ο αριθμός των αντιγράφων μιας συγκεκριμένης αλληλουχίας στο DNA είναι γνωστή ως αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) και μπορεί σήμερα να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μηχανών που αυτοματοποιούν τη διαδικασία. Η ανάλυση με PCR χρησιμοποιείται στη διάγνωση γενετικών ανωμαλιών στα έμβρυα, στη διερεύνηση του καρκίνου ή μολυσματικών ασθενειών όπως το AIDS, αλλά και στην επιστημονική έρευνα.

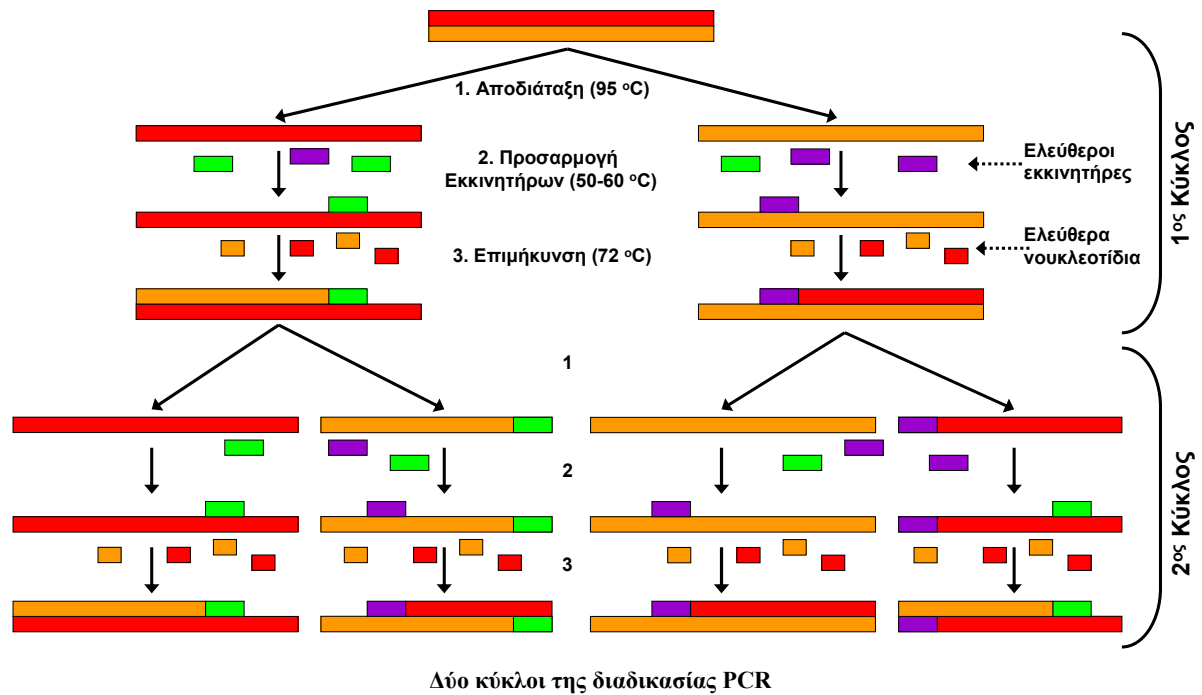
Με τη χρήση της PCR τεχνολογίας το DNA μιας συγκεκριμένης περιοχής του γονιδιώματος μπορεί να πολλαπλασιαστεί δισεκατομμύρια φορές υπό τον όρο ότι είναι γνωστή η νουκλεοτιδική αλληλουχία τουλάχιστον στα άκρα του τμήματος του DNA που θέλουμε να μελετήσουμε. Η διαδικασία βασίζεται στην εφαρμογή δυο ολιγονουκλεοτιδίων (σειρών από μερικά νουκελοτίδια) στις δυο άκρες του τμήματος του DNA που θέλουμε να πολλαπλασιάσουμε τα οποία ονομάζονται “εκκινητήρες.” Με αρχή αυτούς τους εκκινητήρες το DNA πολλαπλασιάζεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές.

Ένας πλήρης κύκλος μιας PCR αντίδρασης περιλαμβάνει τρία στάδια:

- Την αποδιάταξη (διαχωρισμό των δυο αλυσίδων) του DNA (denaturation)
- Τη προσαρμογή των εκκινητήρων στο DNA (annealing)
- Την επιμήκυνση των εκκινητήρων ώστε να καλύψουν όλο το τμήμα (extension).

Ένας πλήρης τέτοιος κύκλος περιλαμβάνει επώαση των δειγμάτων σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες και γίνεται στις μέρες μας αυτόματα από ειδικά μηχανήματα (thermal cyclers). Σε μια τυπική αντίδραση, το δίκλωνο DNA αποδιατάσσεται με θέρμανση στους 95° C. Στη συνέχεια οι εκκινητήρες προσαρμόζονται με υβριδισμό στις συμπληρωματικές αλληλουχίες του DNA με ψύξη του δείγματος στους 50 – 60° C. Ακολουθεί επώαση στους 72° C για την επιμήκυνση των εκκινητήρων από μία ειδική ουσία που επικολλά επιπρόσθετα νουκελοτίδια (πολυμεράση).

Καθώς η διαδικασία επαναλαμβάνεται, οι νεοσύστατοι κλώνοι με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως εκμαγεία για περαιτέρω σύνθεση DNA. Μετά από μερικούς κύκλους το επικρατές προϊόν είναι ένα θραύσμα DNA που το μέγεθος του οποίου αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των δύο αρχικών εκκινητήρων. Στη πράξη 20 με 30 κύκλοι της αντίδρασης είναι αρκετοί για την αποτελεσματική ενίσχυση του θραύσματος DNA. Σε κάθε κύκλο που διαρκεί περίπου πέντε λεπτά η ποσότητα του DNA διπλασιάζεται. Η όλη διαδικασία κλωνοποίησης ενός θραύσματος DNA διαρκεί μερικές ώρες, σε σχέση με τις μερικές μέρες που απαιτούνται για διαδικασίες κλωνοποίησης.



Η PCR είναι εξαιρετικά επιλεκτική και ευαίσθητη μέθοδος, έχει δυνατότητα ανίχνευσης και ενός μόνο DNA μορίου σε ένα μείγμα. Η PCR τεχνολογία αντικαθιστά άλλες πιο χρονοβόρες και λιγότερο ευαίσθητες διαδικασίες για τη διάγνωση γενετικών ασθενειών και για την ανίχνευση λοιμωδών νόσων (ιώσεων, μικροβιακών λοιμώξεων κτλ.). Επιπλέον, στην ιατροδικαστική από ένα απλό ίχνος αίματος ή άλλων ιστών (ακόμα και από ένα κύτταρο) μπορεί να αναγνωριστεί η ταυτότητα ενός ατόμου (γενετικό αποτύπωμα – genetic “fingerprint”).

Κυτταρική Διαίρεση και Αναπαραγωγή

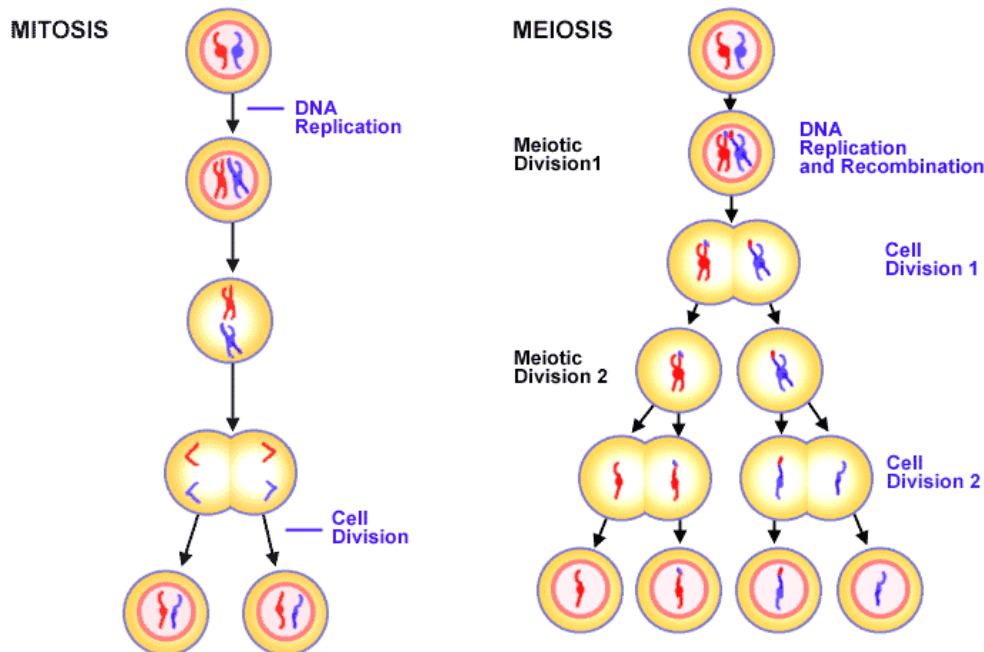
Η κυτταρική διαίρεση είναι η αφετηρία της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής των οργανισμών. κυτταρική διαίρεση απαιτείται:

- για την ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών με αύξηση του αριθμού των κυττάρων τους,
- για την ανανέωση των οργανισμών με αντικατάσταση των νεκρών, φθαρμένων ή γερασμένων κυττάρων τους με άλλα όμοια.
- για τη μονογονική αναπαραγωγή των οργανισμών κατά την οποία από ένα μόνο γονέα προκύπτουν νέα άτομα,
- για την αμφιγονική αναπαραγωγή των οργανισμών κατά την οποία δύο γονείς διαφορετικού φύλου συνεισφέρουν ειδικά γεννητικά κύτταρα (γαμέτες), τα οποία με τη συνένωσή τους (γονιμοποίηση) θα δώσουν γένεση σε ένα νέο οργανισμό

Η διαδικασία της μιτωτικής διαίρεσης είναι η διαίρεση ενός κυττάρου στα δύο και οδηγεί στη δημιουργία δύο θυγατρικών κυττάρων όμοιων με το αρχικό. Η διαδικασία αρχίζει με διπλασιασμό του DNA και στην συνέχεια κατανομή των χρωματοσωμάτων στα θυγατρικά κύτταρα. Εξασφαλίζεται με αυτό τον τρόπο ότι κάθε διπλοειδές θυγατρικό κύτταρο θα έχει από ένα ζευγάρι ομόλογων χρωμοσωμάτων και κατ' επέκταση από ένα ζευγάρι γονιδίων. Μιτωτική διαίρεση συμβαίνει όταν κάποια κύτταρα πολλαπλασιάζονται, για παράδειγμα κατά την ανάπτυξη του ανθρώπινου εμβρύου, κατά την αναδιοργάνωση των ιστών γύρω από ένα τραύμα, κλπ.

Η μείωση είναι ένας ειδικός τύπος κυτταρικής διαίρεσης που γίνεται κατά τη δημιουργία των γαμετών των ζώων ή των φυτών (π.χ. ανθρώπινου ωαρίου και σπερματοζωαρίου). Η διαδικασία της μείωσης περιλαμβάνει δύο διαδοχικές κυτταρικές διαιρέσεις, κατά τις οποίες ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στα θυγατρικά κύτταρα ελαττώνεται στο μισό του αριθμού του αρχικού κυττάρου.

Με το συνδυασμό μείωσης και γονιμοποίησης (δηλαδή την συνένωση δύο γαμετών) διατηρείται σταθερός ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στις γενιές των οργανισμών που αναπαράγονται αμφιγονικά. Καθώς τα χρωμοσώματα διαχωρίζονται και συνδυάζονται με νέα χρωμοσώματα κατά την αναπαραγωγή, τα ζευγάρια των γονιδίων διαχωρίζονται επίσης και συνδυάζονται αντίστοιχα με νέα γονίδια. Όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με τη γενετική του Μέντελ εξαρτώνται από αυτή τη διαδικασία.



Μιτωτική (αριστερά) και μειωτική (δεξιά) διαίρεση κυττάρων με μόνο ένα ζεύγος ομολόγων χρωμοσωμάτων.

Μεταλλάξεις

Η ακρίβεια των μηχανισμών του αυτοδιπλασιασμού του DNA και της κυτταρικής διαίρεσης διασφαλίζουν τη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών, αναλλοίωτων από γενιά σε γενιά, εξασφαλίζοντας γενετική σταθερότητα. Όσο σημαντική για την επιβίωση των οργανισμών είναι η γενετική τους σταθερότητα άλλο τόσο σημαντική είναι και η ανάγκη τους για γενετική ποικιλότητα που θα επιτρέψει την προσαρμογή τους στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Στην αύξηση της γενετικής ποικιλότητας των οργανισμών συμβάλλουν κυρίως οι μεταλλάξεις, με τις αλλαγές που επιφέρουν στο γενετικό υλικό.

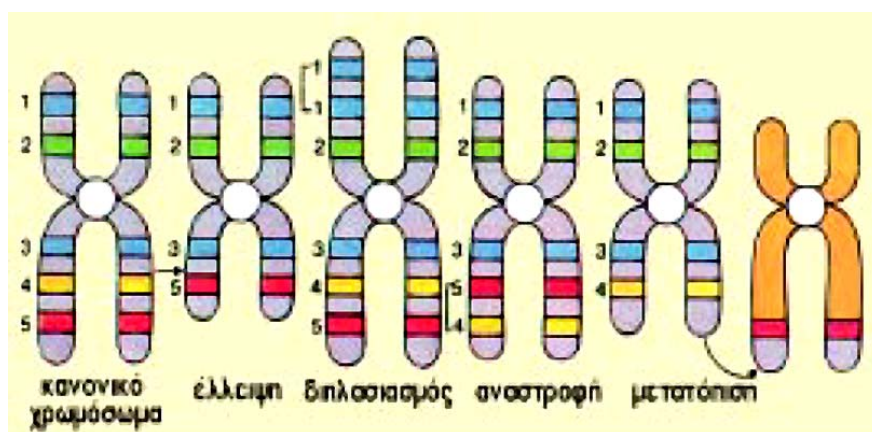
Σε αμφιγονικά αναπαραγόμενους πολυκύτταρους οργανισμούς, οι μεταλλάξεις που γίνονται κατά το σχηματισμό των γαμετών τους μεταφέρονται στις μελλοντικές γενιές. Οι μεταλλάξεις όμως που συμβαίνουν στα σωματικά τους κύτταρα δεν κληροδοτούνται στους απογόνους τους, παρά μόνο στα θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν με μίτωση. Στην τελευταία αυτή περίπτωση το αποτέλεσμα μπορεί να είναι η εκδήλωση κάποιας μορφής καρκίνου.

Μεταλλάξεις μπορούν να συμβούν τυχαία ή εξαιτίας της επίδρασης παραγόντων που ονομάζονται μεταλλαξογόνοι παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν διάφορες ακτινοβολίες (π.χ. ραδιενέργεια, υπεριώδεις ακτίνες, ακτίνες X, κ.ά.) καθώς και χημικές ουσίες (π.χ. διάφορα φυτοφάρμακα, ο καπνός των τσιγάρων κ.ά.). Οι μεταλλάξεις διακρίνονται σε γονιδιακές μεταλλάξεις και χρωμοσωμικές ανωμαλίες.

Γονιδιακές μεταλλάξεις είναι αλλαγές στην αλληλουχία ή στον αριθμό των νουκλεοτιδίων ενός γονιδίου. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να προκύψουν με την αντικατάσταση, την προσθήκη ή την αφαίρεση ενός νουκλεοτιδίου. Οφείλονται σε λάθη που συμβαίνουν κατά την αντιγραφή του DNA και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων αλληλόμορφων γονιδίων. Στα μέσα του 20ού αιώνα διαπιστώθηκε ότι τα ένζυμα που συνήθως ελέγχουν πολλές βιοχημικές διεργασίες μπορούν ορισμένες φορές να αλλοιωθούν ή ακόμη και να καταστραφούν, με αποτέλεσμα την εμφάνιση κάποιων μεταβολικών διαταραχών. Δεκάδες ανωμαλίες που σχετίζονται με ενζυμικές δυσλειτουργίες βρέθηκε ότι οφείλονται σε γονιδιακές μεταλλάξεις στα αντίστοιχα γονίδια. Οι ανωμαλίες αυτές κληρονομούνται μ' έναν τέτοιο τρόπο που υποδεικνύει ότι ελέγχονται από ένα και μοναδικό γονίδιο. Έχουμε πολλά παραδείγματα τέτοιων παθολογικών καταστάσεων όπως, λόγου χάρη, η φαινυλκετονουρία, ο αλφισμός, η μεσογειακή και η δρεπανοκυτταρική αναιμία.

Παρόλο που οι περισσότερες γονιδιακές μεταλλάξεις που γνωρίσαμε μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις για τους οργανισμούς που τις φέρουν, εντούτοις αποτελούν το πρωτογενές υλικό για τις εξελικτικές διαδικασίες. Κάθε καινούριο μεταλλαγμένο γονίδιο δημιουργεί ένα νέο κληρονομούμενο γνώρισμα και αξιολογείται σύμφωνα με τη χρησιμότητά του στην επιβίωση του οργανισμού. Το ίδιο γονίδιο που αξιολογείται θετικά για ένα περιβάλλον μπορεί να είναι αρνητικό σε κάποιο άλλο. Οι μεταλλάξεις αυτές μαζί με το ανακάτεμα των γονιδίων που συμβαίνει κατά την αναπαραγωγή, παράγουν νέους τύπους οργανισμών που μπορεί να είναι καλύτερα προσαρμοσμένοι στο υπάρχον περιβάλλον ή να μπορούν να προσαρμοστούν καλύτερα σε ενδεχόμενη μεταβολή.

Οι χρωμοσωμικές ανωμαλίες αφορούν σε μεταβολές είτε στην κατασκευή των χρωμοσωμάτων (δομικές), είτε στον αριθμό τους (αριθμητικές). Μπορούν να συμβούν σε κύτταρα που διαιρούνται με μίτωση, αλλά πιο συχνά συμβαίνουν κατά τη μείωση, από το μη σωστό διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων. Δομικές ανωμαλίες εμφανίζονται όταν σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί ένα χρωμόσωμα να σπάσει και το θραύσμα να προσκολληθεί σε ομόλογο χρωμόσωμα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει σ' ένα αφύσικα μακρύ χρωμόσωμα στο οποίο υπάρχει διπλασιασμός ορισμένων γονιδίων και αντίστοιχα σ' ένα άλλο πολύ κοντύτερο χρωμόσωμα στο οποίο υπάρχει έλλειψη ορισμένων γονιδίων. Αν το θραύσμα προσκολληθεί σ' ένα άλλο μη ομόλογο χρωμόσωμα, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετατόπιση. Υπάρχει όμως και η περίπτωση να δημιουργηθεί μία αναστροφή αν το θραύσμα επανασυγκολληθεί στο αρχικό χρωμόσωμα με αντίστροφη σειρά. Ανωμαλίες μπορούν επίσης να εμφανιστούν όταν για διάφορους λόγους (κυρίως λόγω προβλημάτων κατά την διαίρεση των κυττάρων) ένα οργανισμός έχει μικρότερο ή μεγαλύτερο αριθμό χρωμοσωμάτων από τον κανονικό. Αυτές ονομάζονται αριθμητικές ανωμαλίες.

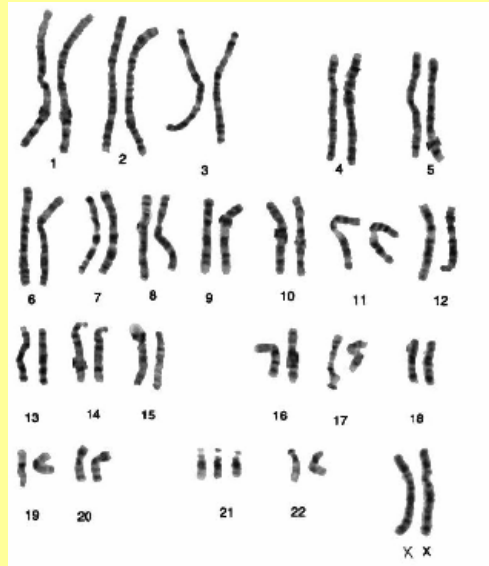


Δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες

Εξακριβωμένες χρωμοσωμικές ανωμαλίες εμφανίζονται σ' ένα ποσοστό μικρότερο από 1% στο σύνολο των παιδιών που γεννιούνται ζωντανά. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι το ποσοστό κατά τη σύλληψη είναι πολύ υψηλότερο. Περίπου 17-20% όλων των διαπιστωμένων κυήσεων καταλήγει σε μια αποβολή. Σχεδόν τα μισά απ' αυτά τα έμβρυα εμφανίζουν μεγάλες χρωμοσωμικές ανωμαλίες

όπως αυτοσωμικές τρισωμίες, τριπλοειδίες και τετραπλοειδίες καθώς και σύνδρομο Turner που είναι και το πιο διαδεδομένο.

Ανωμαλίες από τις οποίες λείπει ένα αυτοσωμικό χρωμόσωμα είναι πάρα πολύ σπάνιες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τέτοιες καταστάσεις είναι τόσο ασυμβίβαστες με τη ζωή ώστε η αποβολή του εμβρύου γίνεται πάρα πολύ νωρίς, πολύ πριν η γυναίκα συνειδητοποιήσει ότι είναι έγκυος. Μερικοί επιστήμονες ανεβάζουν το ποσοστό τέτοιων αποβολών στο 50% του συνόλου των αποβολών.



Σύνδρομο Down. Φωτογραφία ασθενούς (αριστερά) και καρυότυπος (δεξιά.)

Άτομα που πάσχουν από το σύνδρομο Down, μιας από τις πιο συχνές χρωμοσωμικές ανωμαλίες στον άνθρωπο, εμφανίζουν ανωμαλίες στο πρόσωπο, στα βλέφαρα, στη γλώσσα, στα χέρια και αλλού καθώς επίσης διανοητική και σωματική καθυστέρηση. Κυτταρογενετικές μελέτες έχουν επισημάνει ότι οι περισσότεροι άνθρωποι με σύνδρομο Down έχουν 47 χρωμοσώματα. Συγκεκριμένα το χρωμόσωμα 21, υπάρχει τρεις φορές γι' αυτό και ονομάζεται τρισωμία 21. Το σύνδρομο Down συμβαίνει σ' ένα πολύ μικρό ποσοστό των γεννήσεων αλλά αυξάνει με μεγάλο ρυθμό τα τελευταία χρόνια λόγω της αντίστοιχης ανόδου της μέσης ηλικίας στην οποία μια γυναίκα τεκνοποιεί. Υπάρχει εκατό φορές μεγαλύτερη πιθανότητα γυναίκες με ηλικία 45 χρόνων ή μεγαλύτερες, έχουν εκατό φορές υψηλότερη πιθανότητα να φέρουν στον κόσμο παιδί που να πάσχει από σύνδρομο Down απ' ό,τι μέλλουσες μητέρες ηλικίας μικρότερης των 19 χρόνων. Η συσχέτιση της ασθένειας αυτής με την ηλικία του πατέρα είναι μηδαμινή.

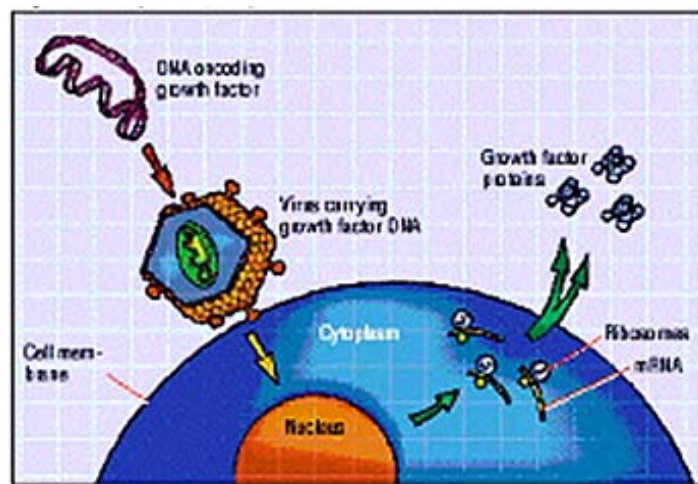
Τεχνητές Μεταλλάξεις

Η χρησιμοποίηση βιολογικών διαδικασιών από τον άνθρωπο με σκοπό τη βελτίωση προϊόντων αξιοποιήσιμων στη διατροφή, στην ιατρική ή σε άλλες δραστηριότητες, είναι τόσο παλιά όσο ο πολιτισμός μας. Ανέκαθεν τα φυτά και τα ζώα διασταυρώνονταν τεχνητά από τον άνθρωπο με γνώμονα τη βελτίωση των ποικιλιών τους. Ακόμα και οι μεταβολικές διαδικασίες μικροοργανισμών, όπως οι ζύμες, έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκμετάλλευσης επί αιώνες σε δύο παραδοσιακές δραστηριότητες του ανθρώπου, στην αρτοποιία και στην οينوποιία.

Σήμερα δε στηριζόμαστε αναγκαστικά σε προϋπάρχοντες οργανισμούς που θα μας εφοδιάσουν με τα κατάλληλα υλικά ώστε να παράγουμε νέες ποικιλίες οργανισμών. Η Βιοτεχνολογία με τη βοήθεια της Γενετικής Μηχανικής μπορεί να μας προσφέρει εναλλακτικές λύσεις. Το τελικό προϊόν στην περίπτωση αυτή μπορεί να είναι ένας ολόκληρος οργανισμός, μια πρωτεΐνη που μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ως εμβόλιο, ένα φάρμακο που μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη υγεία του ανθρώπου, ή τέλος, διάφορες άλλες οργανικές χημικές ενώσεις. Προϊόντα που δημιουργούνται μέσω της γενετικής μηχανικής μπορεί να χρησιμεύσουν για να φέρουν σε πέρας διαδικασίες που οι μέχρι σήμερα γνωστοί οργανισμοί ή τα χημικά παραπροϊόντα τους δεν είναι σε θέση να τις επιτελέσουν, όπως, λόγου χάρη, η απορρύπανση περιοχών, η αύξηση της γονιμότητας των εδαφών ή η επιλεκτική καταστροφή εντόμων. Όλες αυτές οι δυνατότητες ανοίγουν νέα σύνορα στη γεωργία στην Ιατρική και σε πολλούς άλλους τομείς.

Η γενετική μηχανική είναι σε θέση σήμερα να παράγει διαφοροποιημένα κύτταρα που περιέχουν ένα ξένο γονίδιο. Το γονίδιο αυτό μπορεί να εκφραστεί (να μεταγραφεί δηλαδή και να μεταφραστεί) παράγοντας τελικώς κάποια πρωτεϊνικά μόρια. Το ξένο αυτό γονίδιο ενσωματώνεται συνήθως στο κύτταρο (που μπορεί να είναι ένα βακτηριακό κύτταρο, σακχαρομύκητας, φυτικό ή ζωικό κύτταρο) με τη βοήθεια ενός φορέα. Ως φορείς χρησιμεύουν μόρια DNA από πλασμίδια βακτηρίων ή από ιούς. Καθώς ο φορέας αντιγράφεται στο κύτταρο-ξενιστή (συνήθως βακτήριο) αναπαράγεται ταυτόχρονα και το ξένο DNA. Το ξένο, δηλαδή, γονίδιο αρχίζει μια διαδικασία που ονομάζεται κλωνοποίηση.



Υιός-φορέας επιμολύνει το κύτταρο-στόχο με DNA για την παραγωγή ανθρώπινης αυξητικής ορμόνης.

Τυπικά, το γονίδιο που μεταφέρει τον κώδικα ενός επιθυμητού κληρονομικού χαρακτηριστικού, εισάγεται στο γενετικό κώδικα του οργανισμού με τη χρήση διαφόρων τεχνικών:

- επιμόλυνση του κυττάρου - στόχου με ιό (φάγο στην περίπτωση των βακτηρίων), ο οποίος φέρει το γονίδιο που μας ενδιαφέρει,
- μεταφορά των κληρονομικών πληροφοριών με τη βοήθεια μικρών τεμαχίων γενετικών πληροφοριών, που λέγονται πλασμίδια και είναι χαρακτηριστικά των βακτηρίων, των μυκήτων και των φυτών,
- άμεση εισαγωγή της πληροφορίας σε ένα ζωντανό κύτταρο με χρήση μικροένεσης ή μικροβλημάτων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να εισάγουμε γενετικές πληροφορίες σε ζωικά κύτταρα.

Οι βιοτεχνολογικές μέθοδοι εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στα ακόλουθα πεδία: [2-13]

- προστασία των φυτών, ιδιαίτερα στην εξάλειψη βλαβερών εντόμων και ζιζανίων από βακτηριδία, ιούς και μύκητες,
- προστασία των ζώων, με την προετοιμασία εμβολίων, διαγνωστικών ουσιών και φαρμάκων με σκοπό την πρόληψη ή τη θεραπεία μολυσματικών ασθενειών όπως η λύσσα, η βρουκέλλωση και η διάρροια από ιούς,
- βελτίωση της χλωρίδας και της πανίδας. Η διάσταση αυτή της βιοτεχνολογίας αφορά τόσο το ποσοτικό όσο και στο ποιοτικό επίπεδο. Στην πρώτη περίπτωση, ως στόχος τίθεται η βελτίωση της παραγωγικότητας των οργανισμών,

- προστασία του περιβάλλοντος: βιο-αποικοδόμηση των ρυπαντών, καθιέρωση ολοκληρωμένων συστημάτων οικολογικής προστασίας και χρήση των μεθόδων βιοτεχνολογίας του οικοσυστήματος,
- παραγωγή μικροβιακής βιομάζας, όπως η μονοκυτταρική πρωτεΐνη (SCP),
- παραγωγή καυσίμων (αιθανόλης, βουτανόλης, 2,3-βουτανοδιόλης, ακετόνης, μεθανίου, υδρογόνου) με τη βοήθεια μικροοργανισμών,
- ιατρικές χρήσεις: παραγωγή αντιβιοτικών, ενζύμων, αντικαρκινικών παραγόντων, ανοσοποιητικών παραγόντων, εμβολίων, μέσων διάγνωσης,
- βελτίωση της ποιότητας της τροφής με βιολογικά προσθετικά, σταθεροποιητικές και αρωματοποιητικές ουσίες,
- βιογεωτεχνολογία: μικροβιακή απομύζηση των φτωχών μεταλλευμάτων, διαχωρισμός μιγμάτων πετρελαίου-νερού, εξαγωγή υπολειμμάτων πετρελαίου από πετρελαιοπηγές.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες προϊόντων βιοτεχνολογίας που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο: ορμόνες και συναφείς πρωτεΐνες, ανιχνευτές DNA που χρησιμεύουν στη διάγνωση ειδικών γενετικών ανωμαλιών στον άνθρωπο, και εμβόλια.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της βιοτεχνολογίας είναι ότι μπορεί να παράγει πρωτεΐνες οι οποίες θα ήταν πάρα πολύ δύσκολο να παραχθούν με διαφορετικό τρόπο. Για να απομονωθεί μία μόνο δόση της αυξητικής ορμόνης για τον άνθρωπο χρειαζόταν η υπόφυση πενήντα τουλάχιστον νεαρών μοσχαριών. Η απομόνωση της ινσουλίνης από το πάγκρεας μοσχαριών και γουρουνιών ήταν επίσης μια πολύ δαπανηρή διαδικασία και δημιουργούσε συχνά αλλεργικές αντιδράσεις στους πάσχοντες. Σήμερα και οι δύο αυτές ορμόνες παράγονται σε μεγάλες ποσότητες και με μικρό κόστος. Παρασκευάζονται επίσης ορμόνες για ζώα που θα βοηθήσουν στην παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας κρέατος.

Αλληλουχίες DNA για συγκεκριμένα ανθρώπινα γονίδια μπορούν να χρησιμεύσουν στην παραγωγή ανιχνευτών οι οποίοι με τη σειρά τους, μας προειδοποιούν, εάν υπάρχει κάποιο γονίδιο για μια συγκεκριμένη κληρονομική ασθένεια στα κύτταρα του εμβρύου. Μπορούμε, επίσης, να εντοπίσουμε καρκινικά ή άλλα παθογόνα γονίδια καθώς επίσης και την παρουσία άλλων παθολογικών γονιδίων. Η πρώτη κληρονομική ασθένεια στην οποία έγινε διάγνωση με τη βοήθεια των ανιχνευτών της γενετικής μηχανικής ήταν η δρεπανοκυτταρική αναιμία. Αντίστοιχα αποτελέσματα πήραμε χρησιμοποιώντας DNA κυττάρων προερχόμενων από αμνιοκέντηση επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό τη διάγνωση, πριν από τη γέννηση, μίας από τις πιο βαριές γενετικές ανωμαλίες. Οι ανιχνευτές DNA μπορεί να χρησιμεύσουν σε υποθέσεις αμφισβήτησης πατρότητας, στην εγκληματολογία και σε υποθέσεις που σχετίζονται με το μεταναστευτικό δίκαιο. Με μια διαδικασία, που είναι γνωστή ως “γενετική αποτύπωση DNA,” διάφοροι ανιχνευτές μπορεί να χρησιμεύσουν για να συγκριθεί το DNA από τις τρίχες ή από τα σωματικά υγρά που πάρθηκαν λόγω χάρη στον τόπο ενός εγκλήματος με το αντίστοιχο DNA από κύτταρα του ύποπτου. Επειδή δεν είναι δυνατόν δύο άτομα να έχουν πανομοιότυπες αλληλουχίες DNA, εάν τα δεδομένα από την έρευνα στο DNA ταιριάζουν, συλλαμβάνεται ο ύποπτος και του απαγγέλλεται κατηγορία.

Στο παρελθόν τα εμβόλια κατασκευάζονταν συνήθως από παραπροϊόντα του μεταβολισμού βακτηρίων, ιών ή μυκήτων. Οι μέθοδοι όμως αυτές κατέληγαν συχνά σε εμβόλια με δυσμενείς επιπτώσεις στους ανθρώπους. Η τεχνολογία του ανασυνδυασμένου DNA μπορεί σήμερα να οδηγήσει στην παραγωγή καθαρών εμβολίων. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκε εμβόλιο για την ηπατίτιδα-B που κυκλοφορεί ήδη στην αγορά. Στο κοντινό μέλλον αναμένονται αντίστοιχα εμβόλια για την ελονοσία και το AIDS.

Τα γονίδια μπορούν επίσης να εισαχθούν σε ευκαρυωτικά κύτταρα και κάτω από ορισμένες συνθήκες να ενσωματωθούν στο DNA τους και να εκφραστούν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε η έννοια των διαγονιδιακών οργανισμών που οφείλουν τ' όνομά τους στη μεταφορά σε αυτούς γονιδιακού υλικού άλλων οργανισμών. Η διόρθωση γενετικών λαθών σε κύτταρα που παρουσιάζουν προβλήματα στην ομαλή μεταβολική δράση τους με την κατευθείαν εισαγωγή του γονιδίου που λείπει ή δε λειτουργεί φυσιολογικά στο DNA τους, ονομάζεται γονιδιακή θεραπεία και αποτελεί αντικείμενο ευρείας επιστημονικής δράσης.

Τα φυτά έχουν αποδειχτεί πολύ καλά πειραματικά υλικά γιατί τα φυτικά κύτταρα μπορούν εύκολα να αναπτυχθούν σε ιστοκαλλιέργειες. Κάτι τέτοιο επιτρέπει την κλωνοποίηση εκατομμυρίων κυττάρων σ' ένα δοχείο και τη διερεύνηση κάποιας βιοχημικής ιδιότητάς τους όπως, λόγου χάρη, της αντίστασής τους σ' ένα συγκεκριμένο παρασιτοκτόνο.

Τα διαγονιδιακά ζώα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην έρευνα αλλά και στην ανάπτυξη στελεχών, χρήσιμων για εμπορική εκμετάλλευση. Η εισαγωγή DNA σε γονιμοποιημένα ωάρια διαφόρων οργανισμών στο εργαστήριο αποτελεί σήμερα κοινή πρακτική. Το ποσοστό επιτυχίας ενός τέτοιου εγχειρήματος βέβαια είναι ακόμα μικρό. Τέτοια πειράματα ανοίγουν το δρόμο για βελτιώσεις και εκτεταμένη χρήση της γενετικής μηχανικής στο μέλλον.

Για να μπορέσουμε να περάσουμε με επιτυχία στη διόρθωση γενετικών ανωμαλιών στον άνθρωπο, πρέπει να βελτιώσουμε τις τεχνικές μας τόσο στον τομέα της επιβίωσης των κυττάρων στα οποία εισάγουμε DNA, όσο και σ' εκείνον που σχετίζεται με τον έλεγχο της θέσης που θα τοποθετηθεί το DNA αυτό στο γενετικό υλικό του κυττάρου ξενιστή. Το τελικό αποτέλεσμα κάθε τέτοιου εγχειρήματος φυσικά θα εξαρτηθεί από το βαθμό ελέγχου που θα έχουμε πάνω στην έκφραση κάθε νεοεισαχθέντος γονιδίου.

Η πρόοδος στη θεραπεία των γονιδίων δίνει βάσιμες ελπίδες ότι στο κοντινό μέλλον θα μπορούμε με τη βοήθειά της να θεραπεύσουμε ενήλικες που υποφέρουν από βαριές κληρονομικές ασθένειες. Τα κύτταρα του μυελού των οστών και τα λεμφοκύτταρα μπορούν εύκολα να αποσπαστούν από το ανθρώπινο σώμα, για τις ανάγκες της γενετικής μηχανικής, και να επανέλθουν με ένεση. Και άλλες κατηγορίες κυττάρων μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα όπως, λόγου χάρη, τα επιθηλιακά κύτταρα των τοιχωμάτων των αγγείων. Αλλά για να επιστρέψουν στο σώμα, απαιτούνται ειδικές τεχνικές. Μία από τις τεχνικές αυτές είναι η ενσωμάτωση τέτοιων κυττάρων σε οργανοειδή τα οποία είναι τεχνητά όργανα που μπορούν να τοποθετηθούν στη θωρακική κοιλότητα.

(Αυτό το κείμενο βασίζεται σε μεγάλο μέρος στο βιβλίο Βιολογία Γενικής Παιδείας του Γ. Ντράνου...)

Γενετικές Τροποποιήσεις στα Τρόφιμα

Οι μέθοδοι της γενετικής μηχανικής επιτρέπουν σήμερα την τροποποίηση του γενετικού κώδικα ο οποίος βρίσκεται στο DNA των κυττάρων. Οι τροποποιήσεις αυτές επιτυγχάνονται με τη μεταφορά γονιδίων και μπορούν να γίνουν σε φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, σε ψάρια και σε βακτηρίδια. Οι γενετικοί ανασυνδυασμοί από διαφορετικούς οργανισμούς, επιτρέπει τη δημιουργία νέων γενετικά τροποποιημένων (ΓΤ) οργανισμών. Οι ανασυνδυασμοί αυτοί έχουν οδηγήσει στην παραγωγή μιας σειράς από ΓΤ προϊόντα όπως εμβόλια, φάρμακα, τρόφιμα, συστατικά τροφίμων και τροφές ζώων.

Αρχικά γίνεται η επιλογή των γονιδίων που προσδίδουν ιδιαίτερα και επιθυμητά χαρακτηριστικά σε ένα οργανισμό. Η μεταφορά των γονιδίων αυτών μπορεί να γίνει μεταξύ οργανισμών που ανήκουν σε διαφορετικά βιολογικά είδη. Για παράδειγμα μπορούν να αναγνωρισθούν γονίδια που δίνουν σε ένα συγκεκριμένο είδος ιδιαίτερη ανθεκτικότητα σε βλαβερά έντομα και στη συνέχεια να μεταφερθούν σε ένα άλλο είδος φυτού. Ή ακόμη είναι δυνατόν να μεταφερθούν γονίδια που επιτρέπουν σε ένα φυτό να παράγει καρπούς με επιλεγμένα θρεπτικά συστατικά. Η αναγνώριση ιδιαίτερων χρήσιμων χαρακτηριστικών σε διάφορους οργανισμούς, είναι ο πιο σημαντικός και καθοριστικός παράγοντας στη διαδικασία της γενετικής τροποποίησης των οργανισμών. Σήμερα η διαδικασία αυτή έχει επιταχυνθεί χάρις στις νέες μεθόδους μελέτης της αλληλουχίας του DNA και γίνεται σε εκατοντάδες διαφορετικούς οργανισμούς.



Τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα (ΓΤΤ) προκύπτουν από καλλιέργειες και φυτείες που γίνονται σήμερα σε περισσότερες από 40 χώρες. Πολλά εκατομμύρια στρεμμάτων καλλιεργούνται με ΓΤ φυτά. Τα κυριότερα είναι φυτά σόγιας, καλαμποκιού, βαμβακιού, πατάτες, ελαιοκράμβη, κολοκυθιές, ραδίκια, ντομάτες. Υπάρχουν ακόμη μια σειρά από φυτείες που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Πρόκειται για μπανάνες που θα μπορούν να παράγουν εμβόλια για χρήση στον άνθρωπο εναντίον μολυσματικών ασθενειών όπως η ηπατίτιδα Β. Επίσης υπάρχουν φυτείες ρυζιού που παράγουν ρύζι με αυξημένη περιεκτικότητα σε σίδηρο και βιταμίνες που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην μείωση του προβλήματος της πείνας και της κακής διατροφής σε πολλές φτωχές χώρες. Οι φυτείες γλυκοπατάτας που αντιστέκεται σε ένα ιό που καταστρέφει τις φυτείες θα μπορούσε να λύσει το μεγάλο πρόβλημα της καταστροφής των σοδειών στην Αφρική. Παράλληλα αναμένονται ψάρια που θα μεγαλώνουν πολύ πιο γρήγορα, δέντρα που παράγουν φρούτα και ξηρούς καρπούς σε πολύ λιγότερα χρόνια και φυτά που παράγουν νέες ουσίες με μοναδικές ιδιότητες. Οι τεχνολογίες που επιτρέπουν την παραγωγή ΓΤΤ μπορούν να προσφέρουν πάρα πολλά στην ανθρωπότητα και να λύσουν το πρόβλημα του σιτισμού του ραγδαίως αυξανόμενου πληθυσμού της γης. Όμως όπως όλες οι νέες τεχνολογίες έτσι και αυτές έχουν κινδύνους. Μερικοί από τους κινδύνους είναι γνωστοί άλλοι όμως είναι άγνωστοι.

Τα επίμαχα θέματα που αφορούν τα ΓΤΤ έχουν σχέση με την ασφάλεια για τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Είναι καλό να δούμε αναλυτικά τα υπέρ και τα κατά των ΓΤ προϊόντων. Τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

1. Προϊόντα φυτικής προέλευσης:
 - Καλύτερη γεύση και ποιότητα
 - Μείωση χρόνου ωρίμανσης των φυτών ή δέντρων που τα παράγουν
 - Τα ΓΤ φυτά προσφέρουν καλύτερες και μεγαλύτερες σοδειές, αυξημένη αντίσταση εναντίον βλαβερών οργανισμών και ασθενειών, χρειάζονται λιγότερα εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα
 - Αυξημένη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά
 - Πιθανότητες για νέα προϊόντα και μεθόδους καλλιέργειας
2. Προϊόντα ζωικής προέλευσης:
 - Περισσότερες θρεπτικές ιδιότητες, αυξημένη αντίσταση των ζώων σε ασθένειες, αύξηση της παραγωγικότητας
 - Καλύτερη και περισσότερη παραγωγή κρέατος, αυγών και γάλακτος
 - Βελτίωση της υγείας των ζώων και καλύτερες διαγνωστικές μέθοδοι
3. Ωφέληματα για το περιβάλλον
 - Λιγότερη χρήση εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων

- Καλύτερη διατήρηση του εδάφους και των υδάτων όπως επίσης εξοικονόμηση ενέργειας
 - Βιολογική επεξεργασία των δασικών προϊόντων
 - Καλύτερος χειρισμός και επεξεργασία των αποβλήτων
4. Ωφελήματα για την κοινωνία
- Αυξημένη παραγωγή τροφίμων και ασφάλεια για τον αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό της γης
 - Αντιμετώπιση του προβλήματος της πείνας και του υποσιτισμού που μαστίζει σήμερα ένα πολύ μεγάλο αριθμό χωρών παγκοσμίως

Τα μειονεκτήματα και προβλήματα που συνοδεύουν τα ΓΤ προϊόντα αφορούν τους ακόλουθους τομείς:

1. Ασφάλεια
 - Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία: Μεταφορά αλλεργιών, δημιουργία ανθεκτικών μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά λόγω μετάδοσης των γονιδίων που προσδίδουν την ανθεκτικότητα αυτή, πιθανότητα για άγνωστες επιδράσεις που μπορούν να έχουν σχέση με καρκίνο ή άλλες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία
 - Κίνδυνοι για το περιβάλλον: Ανεπιθύμητη μεταφορά ΓΤ χαρακτηριστικών σε άλλους οργανισμούς με φυσικούς τρόπους, απώλεια του πλούτου της βιολογικής διαφοροποίησης στο φυτικό και ζωικό βασίλειο, άγνωστες επιδράσεις σε μικρόβια ή άλλους μικροοργανισμούς του εδάφους
2. Προβλήματα πνευματικών δικαιωμάτων
 - Υπάρχει ο κίνδυνος, μερικές πολυεθνικές εταιρείες να μπορούν να ελέγχουν την παγκόσμια παραγωγή τροφίμων λόγω πνευματικών δικαιωμάτων
 - Αύξηση της εξάρτησης των φτωχότερων και λιγότερο αναπτυγμένων χωρών από τις πλουσιότερες και βιομηχανοποιημένες χώρες
 - Εκμετάλλευση από τις πιο αναπτυγμένες χώρες των φυσικών πόρων άλλων πιο αδύνατων χωρών
3. Ηθικά προβλήματα
 - Επέμβαση στους γενετικούς μηχανισμούς της φύσης και παραβίαση των εσωτερικών αξιών φυσικών οργανισμών
 - Ανάμειξη γονιδίων από βιολογικά διαφορετικούς οργανισμούς
 - Αντίθεση στην κατανάλωση προϊόντων φυτικής προέλευσης που περιέχουν ζωικά γονίδια και αντίθετα
4. Προβλήματα σήμανσης
 - Σε μερικές χώρες δεν είναι υποχρεωτικό να αναφέρεται πάνω στα προϊόντα κατά πόσο προέρχονται από ΓΤ
 - Η ανάμειξη ΓΤ και μη ΓΤ προϊόντων δυσκολεύει τις προσπάθειες σήμανσης αναφορικά με την προέλευση και το είδος των προϊόντων
5. Προβλήματα για την κοινωνία
 - Δεδομένου ότι είναι οι περισσότεροι πλούσιες και ανεπτυγμένες χώρες που ελέγχουν την τεχνολογία των ΓΤΤ, υπάρχει ο κίνδυνος στρέβλωσης και τα νέα προϊόντα θα αναπτύσσονται σύμφωνα με τα συμφέροντα των πλουσιότερων χωρών.

Κατά γενικό κανόνα η γενετική τροποποίηση των τροφίμων μπορεί να θεωρηθεί ως μια ασφαλής μέθοδος για την υγεία. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν δεδομένα που να υποστηρίζουν ότι τα ΓΤΤ έχουν προκαλέσει κάποια ασθένεια ή βλάβες σε ανθρώπους. Η πλειοψηφία όμως πιστεύει ότι το κάθε ΓΤΤ θα πρέπει αξιολογείται ανεξάρτητα και σχολαστικά.

Ο κώδικας του ανθρώπου

Ένα μακροπρόθεσμο διεθνές πρόγραμμα που αφορά στην αποκρυπτογράφηση της αλληλουχίας του ανθρώπινου γενετικού κώδικα βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι ερευνητές θα πρέπει να καθορίσουν 3 δισεκατομμύρια ζεύγη βάσεων. Το συνολικό πρόγραμμα θα διαρκέσει 15 χρόνια και το συνολικό κόστος υπολογίζεται να ανέλθει σε αρκετά δισεκατομμύρια δολάρια.



Τα βήματα αυτού του φιλόδοξου προγράμματος θα είναι τα εξής:

- να τεμαχιστεί το ανθρώπινο DNA σε μικρά κομμάτια, χρησιμοποιώντας περιοριστικές νουκλεάσες σαν μοριακά ψαλίδια.
- να χωριστούν τα ζεύγη σε ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο,
- να καθοριστεί η σύνθεση των νουκλεοτιδίων κάθε τμήματος, δηλαδή να σχεδιαστεί ο βιοχημικός χάρτης όλου του DNA,
- να συσχετισθούν οι ακολουθίες των νουκλεοτιδίων με τις λειτουργικές μονάδες του DNA, δηλαδή με τα γονίδια που κωδικοποιούν τις ανθρώπινες πρωτεΐνες,
- να καθοριστεί η απόσταση μεταξύ των γονιδίων, δηλαδή να σχεδιαστεί ο φυσικός χάρτης του DNA. [15]

Τα τεχνικά προβλήματα που συνδέονται με το πρόγραμμα είναι τρομερά. Η εργασία αναμένεται να είναι μονότονη, σκληρή και, σε ορισμένα στάδια, κάθε άλλο παρά δημιουργική. Μοιάζει με το κοσκίνισμα ποταμίσιας άμμου σε μια προσπάθεια να βρεθεί χρυσός, καθώς είναι γνωστό ότι το 98% του ανθρώπινου DNA περιέχει γονίδια που στερούνται λειτουργικότητας. Οι δυνατές εφαρμογές του προγράμματος είναι οι ακόλουθες: [15,16]

- προφύλαξη ή θεραπεία από ασθένειες χρησιμοποιώντας γονιδιακή θεραπεία. Π.χ., ο καρκίνος μπορεί να θεραπευθεί με λεμφοκύτταρα που λαμβάνονται από έναν άνθρωπο και υφίστανται γενετική επεξεργασία στο εργαστήριο,
- αναγνώριση ατόμων από τα γενετικά τους αποτυπώματα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση εγκληματιών και στον καθορισμό του πατέρα ενός παιδιού.

Σε σχέση με αυτά εγείρονται τα ακόλουθα βιοηθικά θέματα: [3,15,17]

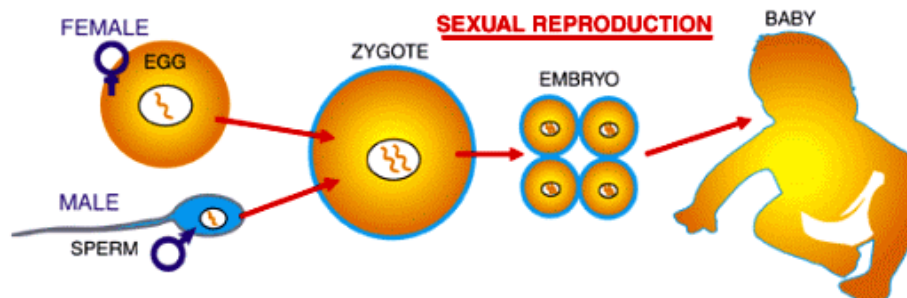
- σε κάθε ανθρώπινο πληθυσμό, ένας μεγάλος αριθμός ατόμων είναι φορείς γονιδίων που ευθύνονται για ορισμένες ασθένειες. Είναι ηθικό και δικαιολογημένο να εντοπίζονται αυτοί οι φορείς με την καθιέρωση υποχρεωτικού γενετικού ελέγχου όλων των πολιτών μιας χώρας;
- τελευταία, πολλοί εργοδότες είναι απρόθυμοι να προσλάβουν καπνιστές και παχύσαρκα άτομα. Πρέπει ένας εργοδότης να έχει πρόσβαση στα γενετικά δεδομένα αυτών που ζητούν εργασία;
- πρέπει ένα άτομο να ενημερώνεται για τη γενετική του προδιάθεση για μια σοβαρή χρόνια ή θανατηφόρα ασθένεια; Τι γίνεται εάν ο κίνδυνος είναι αναπόφευκτος και η ασθένεια ανίατη; Υπό ποιες συνθήκες επιτρέπεται σε τέτοιο άτομο να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές;

- η προγενετική διάγνωση γενετικών ανωμαλιών μπορεί να γίνει μία διαδικασία ρουτίνας. Έτσι επιστρέφουμε στο ερώτημα που μας απασχόλησε προηγουμένως, πρέπει να διακόπτεται η εγκυμοσύνη εφόσον αποκαλυφθεί κάποια γενετική ασθένεια;
- γνώσεις σχετικά με τη γενετική κατασκευή των ανθρώπων θα έχουν σημαντική επίδραση στον πολιτισμό. Θα προωθήσουν την καθαρά βιοχημική θεώρηση του ανθρώπου;
- και τελικά, το κρίσιμο ερώτημα, θα είναι επιτρεπτή η συνειδητή σχεδίαση ανθρώπων;

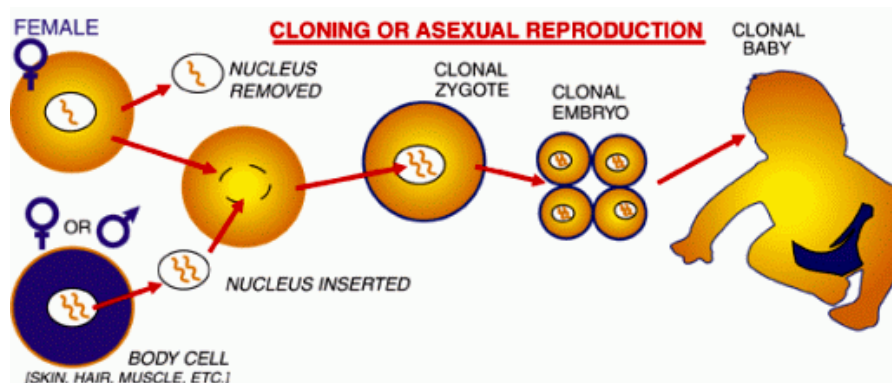
Περαιτέρω προοπτικές στη χρήση γενετικής μηχανικής περιλαμβάνουν αντικατάσταση γονιδίων, πράγμα που εντείνει τις ελπίδες για την εξάλειψη γενετικών ασθενειών. Η κοινωνία θα πρέπει να εγκαθιδρύσει νέους θεσμούς, προκειμένου να αντιμετωπιστούν με επιτυχία όλα τα σημαντικά βιοηθικά προβλήματα.

Αντίγραφα Θηλαστικών

Μια γενιά πραγματικά διάσημων πειραματόζωων έκανε την εμφάνισή της σε εργαστήρια πανεπιστημίων και εταιρειών βιοτεχνολογίας τα τελευταία πέντε χρόνια. Η νέα “αριστοκρατία” των θηλαστικών αναπαράγεται επιλεκτικά και αφυλετικά, και τα μέλη της μένουν -κατά κάποιον τρόπο- πάντοτε ίδια! Η αναπάντεχη άφιξη της τεχνολογίας κλωνισμού συνέβαλε σίγουρα στην αναθεώρηση της αντίληψης που έχουμε για τους μηχανισμούς αναπαραγωγής του ανθρώπινου είδους. Η Ντόλι, ο πρώτος κλώνος ενήλικου θηλαστικού, αντιμετωπίστηκε από ορισμένους ως ο αμνός των υποσχέσεων και από τους υπολοίπους ως το πρώτο βήμα προς έναν “Θαυμαστό καινούργιο κόσμο”. Το ενδεχόμενο να εφαρμοστεί και στον άνθρωπο η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της Ντόλι προκάλεσε μια θύελλα αντιδράσεων, που ξεκίνησε το 1997 και διαρκεί έως σήμερα, με διαρκώς αυξανόμενη ένταση.



Στην σεξουαλική αναπαραγωγή δύο γαμέτες συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα γόνο.



Στην περίπτωση του κλωνισμού το υλικό από ένα σωματικό κύτταρο αναπαράγεται μέσα σε ωάριο χωρίς γενετικό υλικό για να δημιουργήσει ένα γόνο/κλώνο.

Πέρα από τις ανησυχίες, λιγότερο ή περισσότερο βάσιμες, για τα αποτελέσματα του ενδεχόμενου κλωνισμού ανθρώπων, είναι βέβαιο ότι υπήρξαν και ορισμένες υπερβολικές αντιδράσεις. Το γεγονός ότι δεν ήταν λίγοι αυτοί που πίστεψαν ότι είναι πράγματι δυνατόν να κλωνοποιηθεί ο Ιησούς, από DNA που έχει -υποτίθεται- απομείνει στην Ιερά Σινδόνη, μας υπενθυμίζει ότι υπάρχουν αρκετές παρανοήσεις, σε μεγάλη μερίδα του κοινού, αναφορικά με τις δυνατότητες της νέας αυτής τεχνολογίας. Ας μη βιαστούμε να ανησυχήσουμε. Ο κλωνισμός θα εφαρμόζεται με ολοένα αυξανόμενη συχνότητα στα εκτρεφόμενα ζώα και τα πειραματόζωα, αλλά από τη μέχρι τώρα πορεία των πραγμάτων φαίνεται ότι δεν θα υπάρξει ανάγκη εκ νέου ταξινόμησης του ανθρώπινου είδους ως “Homo Xerox”, όπως έξυπνα έχει γραφτεί.

Τι είναι ο κλωνισμός;

Κλώνος ονομάζεται γενικά ένας πληθυσμός γενετικά ταυτόσημων οργανισμών ή κυττάρων που έχει προκύψει από ένα μοναδικό αρχικό οργανισμό ή κύτταρο. Ο όρος χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει πληθυσμούς γενετικά όμοιων μικροοργανισμών σε καλλιέργειες, ή ακόμα και ένα σύνολο αντιγράφων ενός μορίου DNA (κλωνισμός γονιδίων μέσω της εισαγωγής τους σε βακτήρια που πολλαπλασιάζονται). Ο κλωνισμός δεν είναι πρόσφατος ούτε ανθρώπινη επιινόηση. Ως πρακτική δεν εφαρμόζεται αποκλειστικά σε εξελιγμένα εργαστήρια βιοτεχνολογίας. Τα μονοζυγωτικά δίδυμα, δηλαδή τα αδέρφια που προκύπτουν από το ίδιο ωάριο και είναι γενετικώς πανομοιότυπα, οφείλουν την ύπαρξή τους σε ένα τυχαίο φαινόμενο φυσικού κλωνισμού εμβρύων που συμβαίνει περίπου 4.000 φορές την ημέρα σε ολόκληρο τον κόσμο. Ένα κομμένο κλαδί τριανταφυλλιάς που μεταφυτεύεται, εάν επιζήσει, θα αναπτυχθεί σε έναν κλώνο του αρχικού φυτού. Για πολλούς οργανισμούς ο κλωνισμός συμβαίνει κατ' εξαίρεση, αλλά για άλλους αποτελεί το βασικό μηχανισμό αναπαραγωγής: πολλοί μονοκύτταροι και πολυκύτταροι οργανισμοί που αναπαράγονται ασεξουαλικά προκύπτουν από διαίρεση του αρχικού ατόμου σε δύο ή περισσότερους “απογόνους”. Έχουμε και εδώ να κάνουμε με κλωνισμό.

Μέθοδοι κλωνισμού

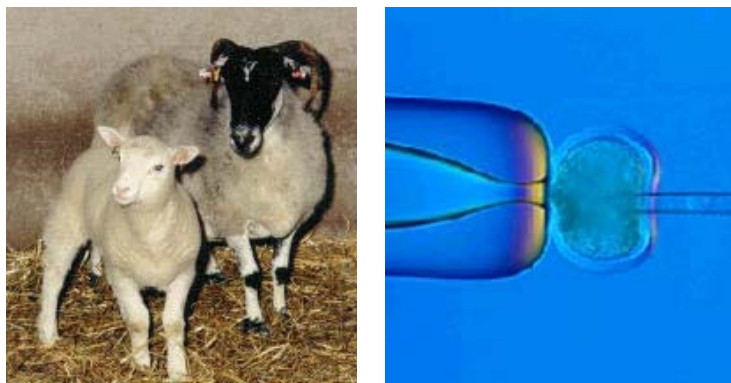
Κλώνοι θηλαστικών μπορούν να δημιουργηθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους και με τεχνικές που παρουσιάζουν κάποιες ομοιότητες με εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούνται ήδη ευρέως στην υποβοηθούμενη αναπαραγωγή. Η βασική ιδέα είναι είτε να εισαχθεί το DNA του “πρωτότυπου” οργανισμού σε ένα “άδειο” ωάριο, για να δημιουργηθεί το έμβρυο του “αντιγράφου”, είτε “απλά” να παραχθούν περισσότερα από ένα έμβρυα από το ίδιο -ήδη γονιμοποιημένο- ωάριο. Από πρακτική άποψη, οι τεχνικές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολες (οι έμπειροι χειριστές των μικροσυριγγών μπορούν να μεταφέρουν δέκα με 25 κυτταρικούς πυρήνες ανά ώρα) αλλά έχουν μικρή αποτελεσματικότητα, δηλαδή απαιτούν πολλές προσπάθειες.

Η πρώτη, και απλούστερη, μέθοδος ονομάζεται απλά κλωνισμός ή διαχωρισμός εμβρύου (embryo clonning ή splicing) και συνίσταται στο διαχωρισμό των δύο ενωμένων κυττάρων που προκύπτουν από την πρώτη διαίρεση του ήδη γονιμοποιημένου ωαρίου. Επισημαίνεται ότι με τη μέθοδο αυτή δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθούν “αντίγραφα” ενηλίκων ατόμων. Τα δύο ή περισσότερα κύτταρα που προκύπτουν από το διαχωρισμό αναπτύσσονται ως ξεχωριστά έμβρυα και μπορούν να εμφυτευτούν στη μήτρα μιας φέρουσας μητέρας είτε ταυτόχρονα, είτε με διαφορά πολλών ετών -εφόσον καταβληθούν. Τέτοια γενετικά ταυτόσημα παιδιά τα οποία δεν γεννιούνται ταυτόχρονα περιγράφονται με τον όρο serial twins (δίδυμα κατά συρροή!). Η ύπαρξη ανθρώπινων διδύμων κατά συρροή, πάντως, παραμένει προς το παρόν υποθετική, καθώς, από ό,τι είναι γνωστό, τέτοια παιδιά δεν έχουν γεννηθεί. Το 1993 δημοσιοποιήθηκε η πρώτη εφαρμογή της τεχνικής σε ανθρώπινα έμβρυα, από τον δρ. Τζέρι Χολ του Πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον, ο οποίος όμως διαβεβαιώνει ότι όλοι οι κλώνοι καταστράφηκαν.



Πανομοιότυπα πρόβατα (δεξιά) που προέρχονται από διαχωρισμό εμβρύου (αριστερά) στα πρώτα στάδια της κύησης

Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται πυρηνική μεταφορά και εφαρμόστηκε για τη δημιουργία της Ντόλι από τους δρ. Ίαν Γουίλμουτ και δρ. Κιθ Κάμπελ στο Ινστιτούτο του Ρόσλιν, σε συνεργασία με την εταιρεία PPL Therapeutics. Ως “πρώτη ύλη” χρησιμοποιούνται ωάρια, από τα οποία έχει αφαιρεθεί ο πυρήνας με το γενετικό υλικό, και κύτταρα του ενήλικου οργανισμού που πρόκειται να “αντιγραφεί”. Το κύτταρα που λαμβάνονται από το ζώο-δότη, στην περίπτωση της Ντόλι από το στήθος, επωάζονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών, ώστε ο κυτταρικός τους κύκλος (οι φάσεις που μεσολαβούν ανάμεσα σε δύο διαιρέσεις του κυττάρου) να εισέλθει στη φάση στάσης (αδράνειας) και να συγχρονιστεί με το αντίστοιχο “ρολόι” του ωαρίου. Ένα από τα κύτταρα αυτά τοποθετείται στη συνέχεια δίπλα στην εξωτερική μεμβράνη του απύρηνου ωαρίου. Προκειμένου να συγχωνευτούν τα δύο κύτταρα και να αρχίσει το ωάριο να διαιρείται, οι ερευνητές χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια και εφαρμόζουν ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα, αναπαράγοντας τεχνητά ορισμένα από τα φυσιολογικά φαινόμενα που συνοδεύουν την είσοδο του σπερματοζωαρίου στο ωάριο. Η “ζωογόνος σπίθα”, που απαιτείται για την “ενεργοποίηση” του πρωταρχικού κυττάρου του κλώνου, παραλληλίστηκε από ορισμένους πολέμιους του κλωνισμού με τους κεραυνούς που χρησιμοποίησε ο δρ. Φράνκενσταϊν για να ξυπνήσει την καρδιά του τέρατος, στο γνωστό βιβλίο της Μαίρης Σέλλεϊ... Τα κύτταρα που χρησιμοποιούνται κατά την πυρηνική μεταφορά δεν είναι απαραίτητο να προέρχονται από ενήλικο οργανισμό. Μέσα στο ωάριο μπορούν να μεταφερθούν και εμβρυϊκά κύτταρα, τα οποία είναι πιο “ευέλικτα” και αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα επιτυχούς κύησης. Οι οργανισμοί που προκύπτουν από πυρηνική μεταφορά δεν είναι γενετικά πανομοιότυποι, καθώς διαφέρουν περίπου στο 1-2% του DNA τους. Αυτό συμβαίνει επειδή γενετικό υλικό δεν περιέχεται μόνο στον πυρήνα του κυττάρου, αλλά και στα μιτοχόνδρια, οργανίδια που αποτελούν τα “ενεργειακά εργοστάσια” του οργανισμού και υπάρχουν σε μεγάλους αριθμούς στο αγονιμοποιητό ωάριο. Τα μιτοχόνδρια περιέχουν συνήθως μόνο μερικές δεκάδες γονίδια, τα οποία όμως είναι σημαντικά για την ομαλή ανάπτυξη του οργανισμού και ενδέχεται να επηρεάζουν τη λειτουργία και του πυρηνικού DNA.



Η Ντόλι (αριστερά), που παρουσιάζεται εδώ με τη θετή μητέρα της, γεννήθηκε με τη μέθοδο της πυρηνικής μεταφοράς. Με την τεχνική της Χονολουλού ο πυρήνας εισάγεται στο κύτταρο με μικροσύριγγα .

Η τρίτη μέθοδος, παραλλαγή της προηγούμενης, εφαρμόστηκε για τη δημιουργία των πρώτων κλώνων ποντικών, στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης, και είναι γνωστή ως τεχνική της Χονολουλού. Το κύτταρο του οργανισμού-δότη δεν τοποθετείται απλά δίπλα στο ωάριο, αλλά εισάγεται μέσα σε αυτό με τη βοήθεια μιας μικροπιπέτας (μικροσύριγγας).

Μέσα στο ωάριο είναι δυνατόν να μεταφερθούν, εκτός από πυρήνες, και άλλα συστατικά του κυττάρου δότη, όπως τα μιτοχόνδρια. Η μέθοδος ονομάζεται κυτταροπλασματική μεταφορά - κυτταρόπλασμα είναι το ημίρρευστο υλικό μέσα στο οποίο βρίσκονται ο πυρήνας και τα κυτταρικά οργανίδια. Η κυτταροπλασματική μεταφορά δεν αποτελεί μέθοδο κλωνισμού, αλλά τη συμπεριλαμβάνουμε εδώ, επειδή παρουσιάζει ουσιαστικές ομοιότητες με την τεχνική της πυρηνικής μεταφοράς. Δεδομένου ότι ορισμένα προβλήματα γονιμότητας στις γυναίκες είναι πιθανό να οφείλονται σε βλάβες του μιτοχονδριακού DNA των ωαρίων τους, η κυτταροπλασματική μεταφορά είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε ωάρια που έχουν ήδη γονιμοποιηθεί εξωσωματικά, για να αυξηθεί η πιθανότητα επιτυχούς κύησης. Στις αρχές Μαΐου Αμερικανοί επιστήμονες ανακοίνωσαν ότι είχαν εφαρμόσει τη μέθοδο για τη γέννηση τουλάχιστον 15 υγιών παιδιών. Τα βρέφη αυτά περιέχουν σε κάθε κύτταρό τους όχι μόνο τα “ελαττωματικά” μιτοχόνδρια που κληρονόμησαν από τις μητέρες τους, αλλά και μιτοχόνδρια που προέρχονται από τα ωάρια άλλων γυναικών. Πρόκειται επομένως για παιδιά που φέρουν γονίδια τριών συνολικά ανθρώπων, χωρίς βέβαια να είναι κλώνοι.

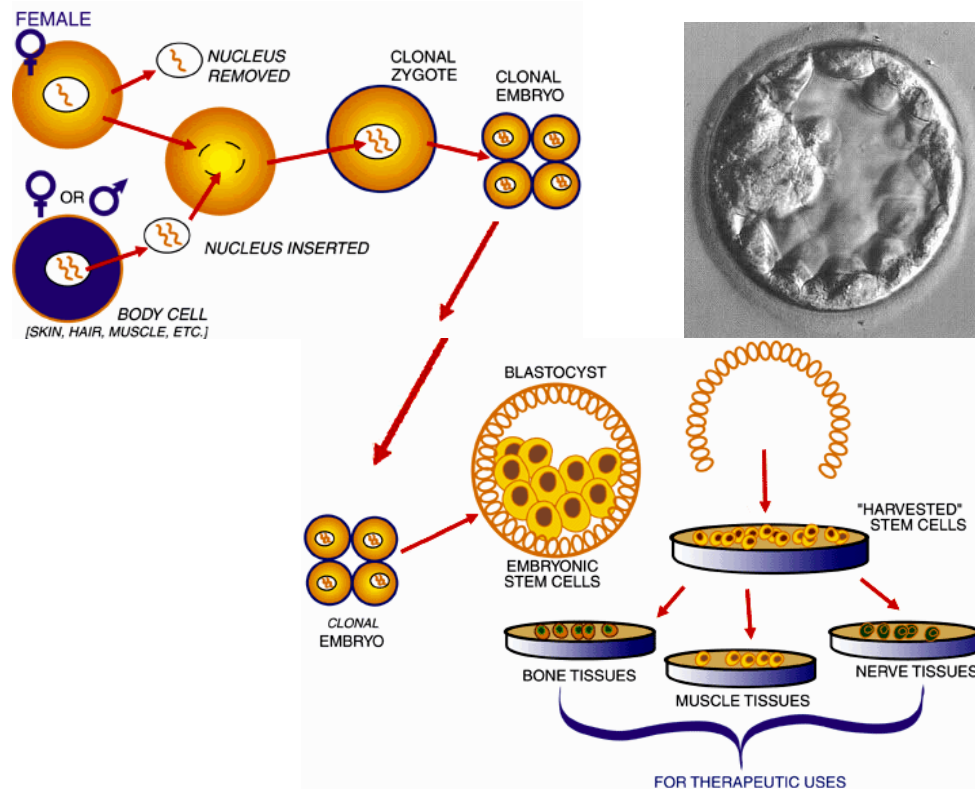
Κλωνισμός και βλαστικά κύτταρα

Από το 1953, ήδη, οι βιολόγοι είχαν καταφέρει να δημιουργήσουν κλώνους βατράχων (από κύτταρα γυρίνων), ωστόσο ο πρώτος επιτυχής κλωνισμός ενήλικου θηλαστικού, το 1996, εξέπληξε πολλούς αναπτυξιακούς βιολόγους. Επί αρκετές δεκαετίες, ήταν γενικά παραδεκτό ότι τα κύτταρα που έχουν διαφοροποιηθεί και εξειδικευτεί σε μία λειτουργία δεν μπορούν να “επαναπρογραμματιστούν” ώστε να χρησιμοποιηθούν για την αναδημιουργία ενός πλήρους οργανισμού ή ιστών προς μεταμόσχευση. Ο λόγος είναι ότι στα διαφοροποιημένα κύτταρα είναι ενεργά μόνο τα γονίδια που απαιτούνται για κάποιες εξειδικευμένες λειτουργίες (π.χ. παραγωγή μιας ορμόνης), ενώ τα γονίδια που περιέχουν τις “κατασκευαστικές προδιαγραφές” για την ανάπτυξη ολόκληρου του οργανισμού έχουν πάψει να εκφράζονται.

Αυτό που απέδειξε με τη δημιουργία της Ντόλι η ερευνητική ομάδα του δρ. Ίαν Γουίλμουτ στο Ινστιτούτο του Ρόσλιν ήταν ότι τα διαφοροποιημένα κύτταρα μπορούν να “συγχρονιστούν” με τον κυτταρικό κύκλο του ωαρίου και να συγχωνευτούν με αυτό για να δώσουν ένα βιώσιμο έμβρυο. Φαίνεται ότι το ίδιο το ωάριο περιέχει παράγοντες που “διαγράφουν” το γενετικό πρόγραμμα των κυττάρων, επαναφέροντάς τα έτσι στην αρχή της αναπτυξιακής πορείας τους. Η διαπίστωση αυτή έχει πιθανώς μεγάλη σημασία για την εξέλιξη της ιατρικής πρακτικής, καθώς θεωρητικά επιτρέπει την δημιουργία ιστών που είναι ανοσιολογικώς απόλυτα συμβατοί με τον πάσχοντα και θα μπορούσαν να μεταμοσχευτούν σε αυτόν χωρίς την ανάγκη χορήγησης -επικίνδυνων- ανοσοκατασταλτικών φαρμάκων. Τέτοια μοσχεύματα ονομάζονται αυτόλογα και μπορούν να δημιουργηθούν με πρώτη ύλη ένα δείγμα κυττάρων του ασθενούς, και ένα ωάριο από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο πυρήνας.

Όταν τα έμβρυα που προκύπτουν βρίσκονται στο στάδιο της βλαστοκύστης (όταν αποτελούνται από λίγες δεκάδες έως εκατοντάδες κύτταρα) έχουν σχήμα κενής σφαίρας με πάχυνση στην μία πλευρά. Τα κύτταρα της περιοχής αυτής θα πολλαπλασιαστούν για να δώσουν ολόκληρο τον οργανισμό (τα υπόλοιπα κύτταρα του εμβρύου θα δώσουν τους εξωεμβρυϊκούς σχηματισμούς, όπως τον πλακούντα και τον ομφάλιο λώρο). Τα κύτταρα αυτά είναι ολοδύναμα, δηλαδή μπορούν να διαφοροποιηθούν προς οποιονδήποτε από τους (πάνω από 200) τύπους ιστών που αποτελούν το ανθρώπινο σώμα. Τα αδιαφοροποίητα κύτταρα, που εξειδικεύονται ανάλογα με τις βιοχημικές συνθήκες στις οποίες αναπτύσσονται, περιγράφονται με τον γενικότερο όρο βλαστικά κύτταρα και υπάρχουν σε περιορισμένους αριθμούς και στον ενήλικο οργανισμό, όπως στον μυελό των οστών και το νευρικό σύστημα. Τα βλαστικά κύτταρα των ενηλίκων δεν είναι εξίσου “ευέλικτα” με τα εμβρυϊκά αντίστοιχά τους και είναι, στην καλύτερη περίπτωση, πολυδύναμα, δηλαδή μπορούν να δώσουν ορισμένους από τους τύπους ιστών και όχι όλους.

Τα βλαστικά κύτταρα αναμένεται να προκαλέσουν μια πραγματική επανάσταση στην Ιατρική τις επόμενες δεκαετίες, και έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί πειραματικά για την αντιμετώπιση εκφυλιστικών ασθενειών του εγκεφάλου, όπως η νόσος Πάρκινσον και Αλτσχάιμερ, για τη μερική αποκατάσταση των τραυμάτων του νωτιαίου μυελού που προκαλούν παράλυση, αλλά και για την παραγωγή καρδιακών, ηπατικών και επιθηλιακών κυττάρων προς μεταμόσχευση. Στις περισσότερες από τις έρευνες αυτές χρησιμοποιήθηκαν βλαστικά κύτταρα που απομονώθηκαν από έμβρυα πειραματόζωων. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι ερευνητές δημιούργησαν έμβρυα-κλώνους και απομόνωσαν από αυτά κύτταρα, τα οποία στη συνέχεια επανεμφύτευσαν στο πειραματόζωο-δότη.



Δημιουργία εμβρύου-κλώνου και απομόνωση των βλαστικών του κυττάρων.

Η μελέτη των εμβρυϊκών κυττάρων επέτρεψε στους επιστήμονες να κατανοήσουν καλύτερα τους βιοχημικούς παράγοντες που καθορίζουν τη διαδικασία διαφοροποίησης και να αξιοποιήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα βλαστικά κύτταρα των ενηλίκων. Τα τελευταία χρόνια, τα βλαστικά κύτταρα του μυελού των οστών έχουν αντικαταστήσει εν μέρει τα εμβρυϊκά βλαστοκύτταρα στις πειραματικές μεθόδους καλλιέργειας ιστών. Οι ερευνητές που αντιτίθενται στη χρήση εμβρύων για ηθικούς λόγους διατείνονται ότι οι συνάδελφοί τους θα πρέπει να επικεντρωθούν στη μελέτη των βλαστικών κυττάρων από ενήλικες. Πράγματι, κανείς δεν αποκλείει το ενδεχόμενο να υπάρξει στο μέλλον η δυνατότητα "εξαναγκασμένης" μετατροπής οποιουδήποτε τύπου ιστού του ενήλικου οργανισμού σε οποιονδήποτε άλλο. Πολλοί επιστήμονες, ωστόσο, θεωρούν ότι για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων καλλιέργειας αυτόλογων μοσχευμάτων είναι απολύτως απαραίτητη, προς το παρόν, η έρευνα σε ανθρώπινα έμβρυα, τα οποία μπορούν να προκύψουν και μέσω κλωνισμού.

Εφαρμογές στην κτηνοτροφία και τη βιοτεχνολογία

Οι πρωτοπόροι του κλωνισμού δεν ξεκίνησαν το ερευνητικό τους έργο στοχεύοντας στο να κλωνοποιήσουν ανθρώπους, κατοικίδια ζώα, ή τον... Ιησού. Οι μέθοδοι κλωνισμού έχουν ένα ευρύ πεδίο πιο πρακτικών εφαρμογών, και αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντικές εξελίξεις στον τομέα της βιοτεχνολογίας και της κτηνοτροφίας, όπου θα εφαρμοστούν αρχικά. Ορισμένες από τις εταιρείες που πειραματίζονται με τον κλωνισμό στοχεύουν στο μέλλον να αξιοποιήσουν εμπορικά τη μέθοδο

κλωνοποιώντας τα πλέον αποδοτικά και ανθεκτικά ζώα για την κτηνοτροφία. Οι εκτροφείς μπορούσαν μέχρι τώρα να αναπαράγουν τα καλύτερα από τα ζώα τους διασταυρώνοντάς τα με άλλα. Οι απόγονοι όμως φέρουν έναν συνδυασμό πατρικών και μητρικών γονιδίων και συχνά δεν διαθέτουν τις αρχικές επιθυμητές ιδιότητες. Οι ερευνητές όμως έχουν τώρα τη δυνατότητα να παρακάμπτουν τη... διαδικασία του σεξ και να αναπαράγουν αφυλετικά το ζώο που επιθυμούν. Η επιλεκτική αναπαραγωγή μέσω του κλωνισμού εντάσσεται βέβαια στο ευρύτερο πλαίσιο της ευγονικής, η οποία εφαρμόζεται κατά κόρον στη γεωργία και την κτηνοτροφία εδώ και χιλιάδες χρόνια.



Ο ταύρος-κλώνος Στάρμπακ

Η εταιρεία Genetics Australia κατάφερε να δημιουργήσει με τη μέθοδο του κλωνισμού εμβρύων 400 γενετικά πανομοιότυπα έμβρυα ενός βελτιωμένου τύπου αγελάδας, τα οποία θα μπορούσαν θεωρητικά να αναπτυχθούν σε ισάριθμα παραγωγικώς ενήλικα άτομα. Το Σεπτέμβριο του 2000 παρουσιάστηκε ο Στάρμπακ II, κλώνος ενός ταύρου που είχε αποβιώσει το 1998 προς μεγάλη απογοήτευση των ιδιοκτητών του, καθώς πιθανότατα υπήρξε ένα από τα πλέον παραγωγικά θηλαστικά όλων των εποχών: πάνω από 200.000 αγελάδες και αρκετές εκατοντάδες ταύροι προήλθαν από το σπέρμα του με εξωσωματική γονιμοποίηση. Ωστόσο, οι μέθοδοι κλωνισμού έχουν προς το παρόν πολύ μικρή αποτελεσματικότητα -για τη γέννηση ενός υγιούς κλώνου απαιτούνται δεκάδες ωάρια και αρκετές φέρουσες μητέρες και δότριες ωαρίων- και η στιγμή που ο αναπαραγωγικός κλωνισμός θα χρησιμοποιείται ευρέως στην κτηνοτροφία για το σκοπό αυτόν απέχει πολλά χρόνια.

Τον Φεβρουάριο του 2003 απεβίωσε η Ντόλι το πρώτο κλωνοποιημένο θηλαστικό στον κόσμο, το οποίο δημιουργήθηκε έξι χρόνια πριν σε ερευνητικό κέντρο της Σκωτίας. Σύμφωνα με ανακοίνωση του ινστιτούτου, οι επιστήμονες αποφάσισαν να θέσουν τέρμα στη ζωή του κλωνοποιημένου ζώου καθώς η κτηνιατρική εξέταση έδειξε ότι η Ντόλι έπασχε από πνευμονική νόσο σε προχωρημένο στάδιο.

Η ανακοίνωση της δημιουργίας της Ντόλι είχε πραγματοποιηθεί τον Φεβρουάριο του 1997. Δύο χρόνια μετά, οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι τα κύτταρα του θηλαστικού άρχισαν να εμφανίζουν σημάδια γήρανσης. Στις αρχές του έτους οι επιστήμονες ανακοίνωσαν ότι η Ντόλι έπασχε από αρθρίτιδα και τότε η επιστημονική κοινότητα είχε υποστηρίξει ότι τα προβλήματα υγείας του κλωνοποιημένου προβάτου σχετίζονταν με γενετικές ανωμαλίες, οι οποίες προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κλωνοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπό φυσιολογικές συνθήκες τα πρόβατα ζουν 15 με 16 χρόνια.

Ένα άλλο πρόβατο που κλωνοποιήθηκε στο ινστιτούτο Ρόσλιν παρουσίαζε αναπνευστικά προβλήματα εξαιτίας μιας συγγενούς ανωμαλίας στις αρτηρίες που φέρνουν αίμα στους πνεύμονες. Η Μαργκερίτ, αγελάδα-κλώνος από τον Γάλλο Ζαν Πολ Ρενάρ, και ο Νώε, κλώνος ενός είδους σπανίων βοοειδών, πέθαναν μετά από λίγες βδομάδες ζωής εξαιτίας του ανεπαρκούς ανοσοποιητικού τους συστήματος. Πολλά κλωνοποιημένα μοσχάρια γεννιούνται με παραμορφωμένα κεφάλια και πρόσωπο που μοιάζει με μπουλντόγκ! Εμφανίζουν ανωμαλίες του κυκλοφορικού

συστήματος, διαβήτη και υπαναπτυγμένους πνεύμονες .

Ως εκ τούτου, τότε τα μέλη πολλών οργανώσεων που αγωνίζονται για την προστασία και τα δικαιώματα των ζώων είχαν απευθύνει εκκλήσεις για αυστηρότερα μέτρα ασφαλείας κατά τη διάρκεια των κλωνοποιήσεων.

Κλωνισμός ανθρώπων. Είναι εφικτός;

Τα πρώτα ανθρώπινα έμβρυα-κλώνοι έχουν ήδη δημιουργηθεί: μόλις ένα χρόνο μετά την παρουσίαση της Ντόλι, το 1997, ο δρ. Χοσέ Σίμπελι, ερευνητής της Advanced Cell Technology, συγχώνευσε ωάριο αγελάδας, από το οποίο είχε αφαιρεθεί ο πυρήνας, με ένα δικό του κύτταρο (!) και κατάφερε να δημιουργήσει ένα υβριδικό έμβρυο που αφέθηκε να αναπτυχθεί μέχρι το στάδιο των 32 κυττάρων. Στη συνέχεια καταστράφηκε.

Στόχος του Σίμπελι, ο οποίος κράτησε μυστικό το πείραμα επί τρία τουλάχιστον χρόνια, ήταν να αποδείξει ότι για τη δημιουργία ανθρώπινων εμβρυϊκών βλαστικών κυττάρων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και ωάρια άλλων ειδών, τα οποία είναι διαθέσιμα σε μεγάλους αριθμούς. Το υβρίδιο δεν θα ήταν φυσικά δυνατόν να κυοφορηθεί ούτε από αγελάδα ούτε από άνθρωπο, και ένα μικρό ποσοστό των γονιδίων που περιείχε δεν ήταν ανθρώπινο, αφού το ωάριο περιέχει μιτοχονδριακό DNA. Ένα χρόνο αργότερα, ερευνητές της Πανεπιστημιακής Κλινικής Kyung Hee στη Νότιο Κορέα εισήγαγαν σε απύρηντο ανθρώπινο ωάριο το γενετικό υλικό μιας ενήλικης γυναίκας, δημιουργώντας έτσι το πρώτο θεωρητικά βιώσιμο έμβρυο - κλώνο. Εάν δεν είχαν διακόψει εθελοντικά το πείραμα, ο πρώτος κλωνοποιημένος άνθρωπος θα είχε ίσως ήδη γεννηθεί. Ο δρ. Ρίτσαρντ Σιντ ήταν ο πρώτος που ανακοίνωσε την πρόθεσή του να δημιουργήσει κλώνους -ακόμα και του εαυτού του. Η ομάδα του εγκατέλειψε τις ΗΠΑ το 1999 για την Κόστα Ρίκα, και έκτοτε δεν έχει ακουστεί ιδιαιτέρως.

Ακολούθησε η Clonaid, η εταιρεία που ίδρυσε ο Ραέλ, ηγέτης θρησκευτικής οργάνωσης που πιστεύει ότι προερχόμαστε από εξωγήινους, σε συνεργασία με τη δρ. Μπριγκίτ Μπουασελιέ, χημικό που ισχυρίζεται ότι απολύθηκε από το γαλλικό γίγαντα της χημικής βιομηχανίας, Air Liquide. Πρώτοι τους πελάτες ένα ζεύγος Αμερικανών που θέλει να “επαναφέρει στη ζωή” την κόρη του, η οποία πέθανε εξαιτίας γενετικής ασθένειας σε ηλικία 15 μηνών. Σύμφωνα με τις αρχικές τους δηλώσεις, η γυναίκα θα έπρεπε ήδη να κυοφορεί το έμβρυο, όμως ο Ραέλ και η Μπουασελιέ δεν αποκαλύπτουν άλλες λεπτομέρειες, ούτε την ακριβή τοποθεσία, στις ΗΠΑ, του εργαστηρίου που ισχυρίζονται ότι διαθέτουν. Στις προσπάθειές τους συμμετέχει μια ομάδα νεαρών γυναικών πρόθυμων να δωρίσουν τα ωάρια τους και να επανοικιάσουν τις μήτρες τους. Στις γυναίκες αυτές περιλαμβάνεται η μεγαλύτερη κόρη της δρ. Μπουασελιέ. Η δημιουργία ανθρώπινων εμβρύων με την τεχνική της πυρηνικής μεταφοράς είναι χρονοβόρα, αλλά απόλυτα εφικτή με τα υπάρχοντα τεχνικά μέσα. Δεν είναι όμως καθόλου βέβαιο ότι οι παραγόμενοι κλώνοι θα εξελιχθούν σε φυσιολογικά βρέφη και υγιείς ενήλικες.



Η δρ. Μπουασελιέ (αριστερά) και ο Ραέλ (δεξιά.)

Το Δεκέμβριο του 2000 γεννήθηκε στο Τέξας ο “86²”, κλώνος του “86”, ενός ταύρου με ασυνήθιστη ανθεκτικότητα σε τρεις ασθένειες που πλήττουν συχνά τα βοοειδή. Το νεαρό ζώο παρουσιάστηκε με υπερηφάνεια από τους κτηνιάτρους του Πανεπιστημίου Texas A&M, αλλά όσα είχαν προηγηθεί της γέννησής του δημοσιοποιήθηκαν λίγους μήνες αργότερα. Η αγελάδα που κυοφορούσε έναν από τους πρώτους κλώνους του 86 άρχισε στα τελικά στάδια της εγκυμοσύνης να πρήζεται από υγρό που συσσωρευόταν στην κοιλιά της. “Έγινε τόσο τεράστια, που τελικά απέβαλε, και το μοσχάρι χάθηκε στον όγδοο μήνα. Η αγελάδα έμοιαζε να έχει καταπιεί ολόκληρο βαρέλι” είχε δηλώσει στην εφημερίδα Washington Post ο δρ. Μαρκ Γουεστουσίν. Ο ίδιος υποστηρίζει ότι το 95 με 97% των προσπαθειών να κλωνοποιηθεί οποιοδήποτε θηλαστικό καταλήγει σε αποτυχία.

Φαίνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα ένζυμα του ωαρίου δεν διαγράφουν εντελώς το γενετικό “πρόγραμμα” των ενήλικων κυττάρων που εισάγονται σε αυτό. Τα ενεργά γονίδια στα διαφοροποιημένα κύτταρα είναι “κλειδωμένα” με μεθυλομάδες, μόρια που προσδένονται στο DNA και συχνά δεν είναι εύκολο να απομακρυνθούν. Το αποτέλεσμα είναι γενετικές ανωμαλίες που, στην καλύτερη των περιπτώσεων, προκαλούν παύση της εγκυμοσύνης. Εάν η κύηση φτάσει μέχρι τον τοκετό, οι κλώνοι γεννιούνται αφύσικα υπερμεγέθεις. Συνήθως πεθαίνουν τις πρώτες δύο εβδομάδες τις ζωής τους, εξαιτίας ατελούς ανάπτυξης των πνευμόνων και του κυκλοφορικού τους συστήματος, καρδιακών βλαβών, ανοσοποιητικής ανεπάρκειας και συσσώρευσης λιπιδίων στο συκώτι. Τα προβλήματα συχνά παραμένουν κρυμμένα μέχρι την ενηλικίωση του ζώου, οπότε μπορεί να εκδηλωθεί διαβήτης ή διαταραχές του αναπαραγωγικού και του ενδοκρινικού συστήματος. Ακόμα και κλώνοι που είναι κατά τα άλλα υγιείς φέρουν συχνά το “σήμα κατατεθέν” της προέλευσής τους: αφύσικα μεγάλους ομφαλούς -δύο έως τρεις φορές το φυσιολογικό μέγεθος- εξαιτίας ανωμαλιών στην ανάπτυξη του πλακούντα, που μέχρι στιγμής δεν έχει καταστεί δυνατόν να αποφευχθούν. “Εάν υπήρχαν κλώνοι ανθρώπων, θα ήταν πολύ εύκολο να τους αναγνωρίσει κανείς στην παραλία” αναφέρει χαρακτηριστικά ο δρ. Μάικλ Γουέστ, πρόεδρος της Advanced Cell Technology.

Οι υπέρμαχοι του κλωνισμού, όπως ο Αμερικανός, κυπριακής καταγωγής, γιατρός δρ. Ζαβός και η δρ. Μπουασελιέ της Clonaid διαβεβαιώνουν ότι οι προεμφυτευτικοί έλεγχοι του εμβρύου θα εξασφαλίσουν ότι τα κλωνοποιημένα βρέφη θα γεννηθούν υγιή. Στην πραγματικότητα όμως, οι γιατροί μπορούν να ελέγξουν το αναπτυσσόμενο έμβρυο μόνο για σοβαρές χρωμοσωμικές ανωμαλίες (τρισωμίες, θραύσεις, ελλείψεις) και για ελάχιστες από τις πάνω από 4.000 γενετικές ασθένειες. Σε ακρόαση της αρμόδιας επιτροπής του αμερικανικού Κογκρέσου, ερευνητές που ασχολούνται με τον κλωνισμό ζώων κατακεραύνωσαν τη δρ. Μουασελιέ και συμφώνησαν σχεδόν ομόφωνα ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας κλωνισμού σε ανθρώπινα όντα είναι -στην παρούσα φάση τουλάχιστον- απλά εγκληματική.

Φαίνεται, όμως, ότι οι δηλώσεις των επιστημόνων στην επιτροπή του Κογκρέσου αποκάλυψαν τη μισή μόνο αλήθεια. Σύμφωνα με άρθρο του περιοδικού Wired, την άνοιξη του 2000 οι περισσότεροι από τους ερευνητές που ασχολούνται με τον κλωνισμό ζώων - συμπεριλαμβανομένου του δρ. Γουίλμουτ του Ινστιτούτου του Ρόσλιν - συγκεντρώθηκαν στο Λονγκ Αϊλαντ των ΗΠΑ για να συζητήσουν τις δυνατότητες, τις εφαρμογές και τους πιθανούς κινδύνους της νέας τεχνολογίας. Η είσοδος στο συνεδριακό κέντρο επιτράπηκε μόνο στους προσκεκλημένους και απουσίαζαν οι δημοσιογράφοι και τα μαγνητόφωνα. Όσον αφορά στα συμπεράσματα των συνέδρων για ενδεχόμενη εφαρμογή της τεχνολογίας που ανέπτυξαν σε ανθρώπους, ο πρόεδρος της Infigen Μάικλ Μπίσοπ είναι αρκετά σαφής: “Ένα απόγευμα μετά το δείπνο, συζητούσα με μερικούς συνάδελφους, και δεν υπήρχε κανείς που να μην πιστεύει ότι (ο κλωνισμός ανθρώπων) έχει ήδη συμβεί. Είναι υπερβολικά εύκολο”.

Μύθοι και υπερβολές

Λίγες εβδομάδες μετά την παρουσίαση της Ντόλι στο Ινστιτούτο του Ρόσλιν στη Σκοτία, πολυάριθμα αντίγραφα του Χίτλερ έκαναν την εμφάνισή τους στο εξώφυλλο του γερμανικού περιοδικού Der Spiegel. Ο εκλιπών καρδινάλιος της Νέας Υόρκης Τζον Ο'Κόννορ προειδοποίησε ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας κλωνισμού θα μπορούσε να οδηγήσει σε στρατιές “αναλώσιμων υπανθρώπων” στη διάθεση απολυταρχικών καθεστώτων, άποψη την οποία έσπευσαν να αναπαραγάγουν πλήθος δημοσιογράφων και κάθε είδους “ειδικοί” στα τηλεοπτικά παράθυρα. Και όπως αναφέρει στο βιβλίο

του “Η δεύτερη Δημιουργία” (The Second Creation) ο δημιουργός της Ντόλι, δρ. Ίαν Γουίλμουτ, μετά την παρουσίαση του κλώνου ο ίδιος δέχτηκε αναρίθμητα τηλεφωνήματα από γονείς που είχαν χάσει τα παιδιά τους και ζητούσαν τη βοήθειά του για να τα “επαναφέρουν στη ζωή”. Ο μύθος που θέλει τους κλώνους πανομοιότυπους στο χαρακτήρα και την προσωπικότητα είχε ήδη δημιουργηθεί.



Στην πραγματικότητα, όμως, είναι πολύ αμφίβολο ότι ένας κλώνος του Χίτλερ - παραβλέποντας για λίγο ότι είναι αδύνατον να δημιουργηθεί - θα επιχειρούσε να καταλάβει εκ νέου την Ευρώπη ή ότι οι κλώνοι του Μότσαρτ θα γίνονταν σπουδαίοι συνθέτες, ή έστω άριστοι DJ. Κάποια γονίδια φαίνεται πράγματι να συμμετέχουν στον καθορισμό του χαρακτήρα, και ορισμένες ικανότητες και στοιχεία της συμπεριφοράς έχουν συνδεθεί με συγκεκριμένες γενετικές ποικιλομορφίες. Είναι όμως αποδεδειγμένο πέραν πάσης αμφιβολίας ότι το περιβάλλον έχει εξίσου σημαντική επίδραση στον καθορισμό των συμπεριφορικών χαρακτηριστικών. Ακόμα και οι γενετικώς πανομοιότυποι μονοζυγωτικοί δίδυμοι, κλώνοι στην ουσία, είναι διαφορετικοί στο χαρακτήρα, παρ' όλο που μεγαλώνουν ταυτόχρονα και σε παρόμοιο περιβάλλον. Η επίδραση του περιβάλλοντος θα είναι ακόμα πιο σημαντική στην περίπτωση των κλώνων που, αν και όταν θα υπάρξουν, θα γεννιούνται και μεγαλώνουν σε διαφορετικές εποχές και κοινωνίες από ό,τι το “πρωτότυπο”. Όπως το θέτει ο δρ. Στιν Γουίαντσεντ της Infigen, εταιρείας που δραστηριοποιείται στον κλωνισμό ζώων, “υπάρχουν πιο αποτελεσματικοί τρόποι για να δημιουργήσεις πανομοιότυπους ανθρώπους. Μπορείς να τους βάλεις να φοιτήσουν στα ίδια σχολεία και να τους αναγκάσεις να παρακολουθούν τηλεόραση οκτώ ώρες την ημέρα”. Κανείς, βέβαια, δεν μπορεί να αποκλείσει το ενδεχόμενο ένας κλώνος του Αϊνστάιν να γινόταν εξαιρετικός θεωρητικός φυσικός εάν φοιτούσε στα καλύτερα πανεπιστήμια και δεχόταν κάθε είδους υποστήριξη για το σκοπό αυτόν, αλλά η πιθανότητα θα ήταν ίσως μεγάλη σε κάθε άλλο άτομο που θα μεγάλωνε στις συγκεκριμένες αυτές συνθήκες.

Οι γενετικώς πανομοιότυποι κλώνοι που γεννήθηκαν την ίδια περίοδο παρουσιάζουν συχνά μικροδιαφορές ακόμα και στην εμφάνισή τους, όπως βούλες στο τρίχωμα τους που έχουν μετακινηθεί μερικά εκατοστά ή απουσιάζουν εντελώς. Ο τύπος ενός θηλαστικού επηρεάζεται από πολυάριθμους περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θέση του εμβρύου στη μήτρα, τα ορμονικά επίπεδα στον οργανισμό της μητέρας του κατά την κύηση, η ψυχολογική της κατάσταση, ίσως ακόμα και οι διατροφικές της προτιμήσεις. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο σημείο, οι κλώνοι που δημιουργούνται με την τεχνική της πυρηνικής μεταφοράς δεν είναι καν γενετικά πανομοιότυποι, αφού τα μιτοχόνδρια των κυττάρων τους περιέχουν DNA της δότριας του ωαρίου από το οποίο αναπτύχθηκαν. Όπως περιέργως, ο μύθος της απόλυτης ομοιότητας χρησιμοποιείται όχι μόνο από πολέμιους, αλλά και από υποστηρικτές του κλωνισμού: σε συνέντευξη που παραχώρησε στο health.in.gr, ο κυπριακής καταγωγής δρ. Παναγιώτης Ζαβός - ο οποίος έχει ανακοινώσει ότι προτίθεται να εφαρμόσει τον αναπαραγωγικό κλωνισμό σε ανθρώπους, σε συνεργασία με Ιταλό συνάδελφό του- αιτιολογεί τις προθέσεις του με το επιχείρημα ότι “αν δεν το κάνουμε εμείς, θα το κάνει πρώτος ο Σαντάμ ή ο Μπιλ Λάντεν”!

Το γεγονός ότι οι τεχνικές λεπτομέρειες του κλωνισμού είναι δυσνόητες για τους περισσότερους μη ειδικούς άφησε το περιθώριο στην παραφιλολογία επί του θέματος να επεκταθεί σε απρόβλεπτους τομείς. Το Κίνημα των Ραελιστών, για παράδειγμα, είναι μία θρησκευτική οργάνωση με έδρα το Κεμπέκ του Καναδά, η οποία διατείνεται ότι οι άνθρωποι είναι στην πραγματικότητα κλώνοι μιας ανώτερης φυλής εξωγήινων που ονομάζονται Ελοχίμ (ο πληθυντικός της λέξης “Θεός” στα εβραϊκά). Ο Ραέλ -κατά κόσμον Κλόντ Βοριχόν- ηγέτης της ομάδας και ιδρυτής της Clonaid (της “πρώτης εταιρείας κλωνισμού ανθρώπων”) ισχυρίζεται ότι οι Ελοχίμ ήλθαν σε επαφή με τον ίδιο, το 1973 στη Γαλλία, με σκοπό να του αναθέσουν να προετοιμάσει τον πλανήτη για την τεχνολογική ουτοπία στην οποία σύντομα θα μας οδηγήσουν. Και ενώ ο Ραέλ καταβάλλει κάθε προσπάθεια να πείσει για το αληθές των ισχυρισμών του, μια μερίδα του κοινού φαίνεται επιρρεπής στο να “υποκύψει” ακόμα και σε φάρσες: στο δικτυακό τόπο της ομάδας “Χριστιανοί για τον κλωνισμό του Ιησού” (σας υποδέχεται με την παρότρυνση “κάντε κλικ για τον Ιησού εδώ”) μπορεί κανείς να πληροφορηθεί πώς είναι δυνατόν ο Θεάνθρωπος να κλωνοποιηθεί από το DNA που έχει απομείνει στην Ιερά Σινδώνη! Πρόκειται βέβαια για χιουμοριστικό δικτυακό τόπο, ο οποίος κατάφερε ωστόσο να προκαλέσει ένα νέο κύμα ανησυχίας. Μετά την επιτυχία της προσπάθειας αυτής ακολούθησαν οι “Αμερικανοί για τον κλωνισμό του Έλβις”, με μάλλον πιο μετριοπαθείς στόχους.

Το όραμα του Στίβεν Σπίλμπεργκ για ένα “Ιουράσιο πάρκο”, όπου οι επισκέπτες θα μπορούν να θαυμάσουν από κοντά κλώνους των δεινοσαύρων, θα παραμείνει κατά πάσα πιθανότητα στο χώρο της φαντασίας για πάντα. Οι παράγοντες που καθιστούν αδύνατο τον κλωνισμό του Ιησού (υποθέτοντας βεβαίως ότι η Ιερά Σινδώνη που έχουμε στα χέρια μας είναι η πραγματική) ισχύουν για σχεδόν όλα τα εξαφανισμένα είδη: εάν τα κύτταρα ενός νεκρού οργανισμού δεν διατηρηθούν στις κατάλληλες συνθήκες (βυθισμένα σε υγρό άζωτο ή μέσα σε μπλοκ παραφίνης), με την πάροδο του χρόνου, το DNA των χρωμοσωμάτων τους κατακερματίζεται και τελικά αποσυντίθεται εντελώς. Σύμφωνα με το σενάριο της ταινίας, το γενετικό υλικό των δεινοσαύρων απομονώνεται από κουνούπια ή άλλα έντομα που τράφηκαν με το αίμα τους και στη συνέχεια παγιδεύτηκαν μέσα σε ρητίνες δέντρων. Έντομα διατηρημένα σε κεχριμπάρι έχουν βέβαια βρεθεί πάρα πολλά, στα περισσότερα όμως τα εσωτερικά όργανα έχουν αποσυντεθεί εντελώς και το μόνο που έχει απομείνει είναι ο εξωσκελετός. Εάν οι ερευνητές κατόρθωναν τελικά να απομονώσουν DNA από τέτοια δείγματα, θα έπρεπε, για να ανασυνθέσουν το γονιδίωμα των ερπετών, να συμπληρώσουν ένα παζλ για το οποίο δεν έχουν ιδέα από πόσα κομμάτια αποτελείται και με τι πρέπει να μοιάζει όταν ολοκληρωθεί. Αν μάλιστα σκεφτεί κανείς ότι τα κουνούπια ίσως παρασιτούσαν σε περισσότερα από ένα είδη, το εγχείρημα φαντάζει αδύνατο. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται μία τουλάχιστον επιτυχής απομόνωση DNA, του ίδιου του παγιδευμένου εντόμου, η οποία πάντως αμφισβητήθηκε έντονα, εξαιτίας της μεγάλης πιθανότητας μόλυνσης του δείγματος από εξωγενές DNA.



“Ιουρασικό πάρκο”

Το νομικό πλαίσιο

Η Ελλάδα ήταν μία από τις πρώτες πέντε χώρες που επικύρωσαν το Πρωτόκολλο για την Απαγόρευση του Κλωνισμού Ανθρώπινων Όντων του Συμβουλίου της Ευρώπης, το οποίο εντάσσεται στη Συνθήκη

για τα Ανθρώπινα Δικαιώματα και τη Βιοϊατρική -οι υπόλοιπες τέσσερις ήταν η Ισπανία, η Σλοβακία, η Σλοβενία και η Γεωργία. Η Κύπρος έχει ήδη επικυρώσει την συνθήκη. Ακόμα όμως και στις ευρωπαϊκές χώρες, όπου η συνθήκη δεν έχει ακόμα επικυρωθεί, υπάρχουν σε πολλές περιπτώσεις νόμοι ή ελεγκτικοί θεσμοί που εμποδίζουν έμμεσα την εφαρμογή της τεχνολογίας κλωνισμού στον άνθρωπο. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, απαγορεύεται η διεξαγωγή ερευνών σε ανθρώπινα έμβρυα για οποιοδήποτε σκοπό. Αντίστοιχοι νομικοί περιορισμοί υπάρχουν και στην Αυστραλία, τη Βραζιλία, το Μεξικό, τη Σαουδική Αραβία και τη Νότιο Αφρική. Η καναδική Βουλή των Κοινοτήτων υπερψήφισε το νομοσχέδιο που απαγορεύει των ανθρώπινη κλωνοποίηση και την πώληση ανθρώπινου σπέρματος. Το σχέδιο νόμου που απαγορεύει την ανθρώπινη κλωνοποίηση, επιτρέπει αντίθετα τον πειραματισμό σε μητρικά κύτταρα, που προέρχονται από έμβρυα τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από άτεκνα ζευγάρια. Οι υποστηρικτές του νομοσχεδίου υποστηρίζουν πως οι σχετικές έρευνες μπορούν να οδηγήσουν στην ανακάλυψη νέων θεραπειών για πολλές ασθένειες, οι πολέμιοι του, κυρίως οι αντιτιθέμενοι στις αμβλώσεις, αντιτείνουν πως υπάρχει φόβος να οδηγήσει σε πειράματα για ανθρώπινη κλωνοποίηση. Ο Καναδάς απαγορεύει επίσης την αγοραπωλησία σπέρματος και ωαρίων, καθώς και τη “μίσθωση” γυναικών για την κυοφορία εμβρύων. Στην Τσεχία, την Αργεντινή, το Ισραήλ, την Αίγυπτο, την Ιορδανία, τη Σιγκαπούρη, την Κορέα και την Ιαπωνία ο κλωνισμός ανθρώπων αποτρέπεται με κατευθυντήριες γραμμές τις οποίες είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν τα ερευνητικά κέντρα, μολονότι η ιαπωνική κυβέρνηση εξετάζει το ενδεχόμενο να κατοχυρώσει νομικά τους περιορισμούς αυτούς. Πολλές κυβερνήσεις έχουν δημιουργήσει επιτροπές βιοηθικής, την έγκριση των οποίων είναι υποχρεωμένοι να ζητήσουν οι επιστήμονες πριν ξεκινήσουν ερευνητικά προγράμματα που αφορούν σε έμβρυα ή αναπαραγωγικές τεχνικές.

Στη Βρετανία, όπου από πέρυσι επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στην έρευνα ανθρώπινα έμβρυα που μπορούν να προκύψουν ακόμα και μέσω κλωνισμού, το έργο αυτό έχει ανατεθεί στην Επιτροπή Ανθρώπινης Γονιμότητας και Εμβρυολογίας, η οποία είχε δηλώσει προκαταβολικά ότι δεν θα επέτρεπε σε καμία περίπτωση τη γέννηση κλώνων ανθρώπων. Η βρετανική κυβέρνηση ανακοίνωσε στα μέσα Απριλίου ότι σκοπεύει να εντάξει τους φραγμούς για τον αναπαραγωγικό κλωνισμό ανθρώπων στο νομικό πλαίσιο της χώρας, απαγορεύοντας ρητά την εφαρμογή του. Πρόκειται για μία από τις ελάχιστες περιπτώσεις νομοθεσίας που απαγορεύει ρητά τη γέννηση κλώνων ανθρώπων (ίσως η μοναδική σε ολόκληρο τον κόσμο), καθώς από νομική άποψη θεωρείται δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ του αναπαραγωγικού και του θεραπευτικού κλωνισμού. Εξάλλου, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι τα κύτταρα που προκύπτουν από συγχώνευση του ωαρίου με σωματικά κύτταρα ή πυρήνες δεν είναι πραγματικά έμβρυα -αφού στο σχηματισμό τους δεν συμμετείχαν σπερματοζωάρια- και τυπικά δεν διαφέρουν από τις καλλιέργειες ανθρώπινων κυττάρων που διατηρούνται σε αναρίθμητα ερευνητικά εργαστήρια.

Το 1997, μετά την παρουσίαση της Ντόλι στη Σκωτία, ο τότε Αμερικανός πρόεδρος Μπιλ Κλίντον εξέφρασε ανοιχτά την ανησυχία του. Όταν η Εθνική Συμβουλευτική Επιτροπή Βιοηθικής των ΗΠΑ εξέδωσε έκθεση στην οποία χαρακτήριζε τον κλωνισμό ανθρώπων “ηθικά απαράδεκτο”, ο Κλίντον πρότεινε την εφαρμογή ομοσπονδιακού νόμου για την απαγόρευσή του (Human Cloning Prohibition Act). Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα προειδοποίησε τον Αμερικανό πρόεδρο ότι η κίνηση αυτή θα εμπόδιζε ενδεχομένως την έρευνα που αφορά στα πολλά υποσχόμενα βλαστικά κύτταρα (από τα οποία τα πλέον “ευέλικτα” προέρχονται από έμβρυα) και θα επέτρεπε σε άλλες χώρες, όπως η Βρετανία, να αποκτήσουν το προβάδισμα στη σχετική τεχνογνωσία και την ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοτεχνολογίας. Έτσι, ο έλεγχος των ερευνητικών προγραμμάτων ανατέθηκε στην Υπηρεσία Ελέγχου Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), η οποία όμως μπορεί να απορρίψει τις αιτήσεις των ερευνητών μόνο για λόγους ασφάλειας. Ορισμένες αμερικανικές πολιτείες φρόντισαν να θεσπίσουν ειδικούς νόμους για την απαγόρευση είτε του κλωνισμού γενικά είτε ειδικά της χρήσης του με σκοπό την αναπαραγωγή.

Την ανησυχία του Κογκρέσου πυροδότησαν εκ νέου η ίδρυση της εταιρείας Clonaid, της “πρώτης εταιρείας κλωνισμού ανθρώπων”, και τα σχέδια του κυπριακής καταγωγής Αμερικανού γιατρού δρ. Παναγιώτη Ζαβού να δημιουργήσει κλώνους για άτεκνα ζευγάρια. Η αρμόδια επιτροπή του Κογκρέσου κάλεσε σε ακρόαση τους ενδιαφερόμενους στα τέλη Μαρτίου, προκειμένου να εκτιμηθεί η ασφάλεια των μεθόδων κλωνισμού, και δεν δίστασε να εκφράσει την αντίθεσή της, όταν οι

ερευνητές που ασχολούνται με τον κλωνισμό ζώων περιέγραψαν αρκετές περιπτώσεις γενετικών ανωμαλιών και διαταραχών της ανάπτυξης και του μεταβολισμού σε κλώνους θηλαστικών.

Στα τέλη Απριλίου 2001, Ρεπουμπλικανοί γερουσιαστές κατέθεσαν στο Κογκρέσο πρόταση νόμου για την απαγόρευση του κλωνισμού ανθρώπων σε ομοσπονδιακό επίπεδο (Human Cloning Prohibition Act 2001), προκειμένου να αποτρέψουν την εφαρμογή μιας “διαδικασίας παραγωγής, κατά την οποία τα παιδιά κατασκευάζονται σε εργαστήρια”. Βάσει του συγκεκριμένου νομοσχεδίου, ο κλωνισμός ανθρώπων και η εισαγωγή κλώνων σε αμερικανικό έδαφος θεωρούνται αξιόποινες πράξεις και τιμωρούνται με φυλάκιση έως και δέκα ετών ή πρόστιμο ενός εκατομμυρίου δολαρίων. Δεν έχει διευκρινιστεί, ωστόσο, αν η νέα νομοθεσία θα απαγορεύει μόνο τον αναπαραγωγικό κλωνισμό ή και τις εφαρμογές του για θεραπευτικούς σκοπούς. Επίσης, δεν έχει καταστεί σαφές αν η απαγόρευση εισόδου αφορά μόνο σε κλωνοποιημένα έμβρυα ή και σε βρέφη και ενήλικους που έχουν δημιουργηθεί μέσω κλωνισμού σε άλλες χώρες. Πρόκειται βέβαια για ιδιαίτερα σημαντική “λεπτομέρεια”, καθώς η απαγόρευση εισόδου σε κλώνους θα μπορούσε να θεωρηθεί διάκριση εναντίον μιας μερίδας ανθρώπων, με βάση τη γενετική τους σύσταση ή τις τεχνικές λεπτομέρειες της σύλληψής τους. Πάντως, δεδομένου ότι η τεχνική της πυρηνικής μεταφοράς και της διαίρεσης εμβρύου μπορεί ίσως να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε κέντρο υποβοηθούμενης αναπαραγωγής, το πιθανότερο είναι ότι οι πρώτες προσπάθειες κλωνισμού ανθρώπων θα έχουν την έδρα τους σε κάποια από τις πάνω από 180 χώρες όπου ακόμα δεν υπάρχουν νομικοί περιορισμοί.

Ο δρ. Ζαβός και ο Ιταλός συνάδελφός του Σεβερίνο Αντινόρι αποφάσισαν να εγκαταλείψουν τις ΗΠΑ και ανακοίνωσαν πρόσφατα ότι σκοπεύουν να εργαστούν για το στόχο τους σε χώρα της πρώην Σοβιετικής Ένωσης ή στην Κύπρο. Ο δρ. Ζαβός είχε μάλιστα συνάντηση με τον Κύπριο υπουργό Υγείας, ο οποίος δήλωσε ότι θα φέρει το θέμα προς συζήτηση στο Κοινοβούλιο της χώρας. Ωστόσο, σύμφωνα με ορισμένες πηγές, η Κύπρος δεν πρόκειται σε καμία περίπτωση να “φιλοξενήσει” τους δύο αμφιλεγόμενους επιστήμονες. Γεγονός ωστόσο παραμένει ότι, όπως οι αμβλώσεις και οι τεχνικές επιλογής του φύλου, η εφαρμογή του κλωνισμού στον άνθρωπο είναι μάλλον αδύνατο να ελεγχθεί πλήρως από τη νομοθεσία. Σύμφωνα μάλιστα με πρόσφατο άρθρο του περιοδικού Wired, ερευνητές που εργάζονται με άκρα μυστικότητα έχουν επιδοθεί σε έναν αγώνα δρόμου για τη δημιουργία του πρώτου κλώνου ανθρώπου, ενώ ορισμένοι υποψιάζονται ότι το πρώτο παιδί που προέκυψε αυφλετικά έχει ήδη γεννηθεί.

Ο Zain Hashmi έχει βήτα θαλασσαιμία, μια γενετική ασθένεια αίματος. Για να μείνει ζωντανός ο Zain πρέπει να έχει συχνές μεταγγίσεις αίματος και την επίπονη ιατρική περίθαλψη. Υπάρχει μια θεραπεία για την ασθένεια που περιλαμβάνει μεταμόσχευση κύτταρων από τον μυελό των οστών ή τον ομφάλιο λώρο. Για να είναι επιτυχής η μεταμόσχευση ο ιστός του δότη πρέπει να είναι συμβατός με τον ασθενή, αλλά κανένας στην οικογένεια του Zain δεν είναι. Η οικογένεια Hashmi θέλει να κάνει ένα άλλο μωρό συμβατό με τον Zain. Τα έμβρυα που θα δημιουργηθούν με εξωσωματική γονιμοποίηση, θα εξετάζονται και μόνο εκείνα που είναι χωρίς γενετική ασθένεια και επίσης ταιριάζοντας με τον τύπο ιστού του Zain θα εμφυτεύονται. Το αίμα από τον ομφάλιο λώρο του μωρού θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θεραπεία του Zain.



Η Michelle και ο Jayson Whitaker έχουν ένα τριχρονο γιο, τον Charlie, ο οποίος υποφέρει από Αναιμία Diamond Blackfan (DBA), μια πολύ σπάνιας μορφής αναιμία. Τα συμπτώματα είναι παρόμοια με άλλες μορφές αναιμίας. Αυτή η ασθένεια δεν είναι κληρονομική αλλά σποραδική (γενετική ανωμαλία που παρουσιάζεται παρ’ όλο που κανείς από τους γονείς δεν έχει το γονίδιο.) Μια μεταμόσχευση κύτταρων από τον μυελό των οστών θα έδινε στο Charlie 90% πιθανότητες θεραπείας. Όπως και η οικογένεια Hashmi έτσι και αυτοί θέλουν να αποκτήσουν και άλλα παιδιά. Θέλουν όμως να είναι βέβαιοι ότι το επόμενο τους παιδί θα είναι συμβατό με τον Charlie για να μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν τα κύτταρα του για τη θεραπεία.

Ζητήματα βιοηθικής

Σύμφωνα με δημοσκόπηση που διενεργήθηκε στις αρχές Φεβρουαρίου για λογαριασμό του περιοδικού Time και του CNN, το 90% των Αμερικανών πολιτών θεωρεί ότι ο κλωνισμός ανθρώπων είναι “κακή ιδέα”. Παρ’ όλα αυτά, εκατοντάδες, ίσως χιλιάδες, άτομα έχουν ήδη προθυμοποιηθεί να συμμετάσχουν στα προγράμματα του δρ. Ζαβού και της Clonaid προκειμένου να αποκτήσουν παιδιά. Είναι αλήθεια πως ο αναπαραγωγικός κλωνισμός μπορεί να δώσει λύση σε προβλήματα γονιμότητας, τα οποία δεν ήταν δυνατόν μέχρι σήμερα να αντιμετωπιστούν -κυρίως στις περιπτώσεις που ο άνδρας δεν παράγει καθόλου σπερματοζωάρια ή το σπέρμα του είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί για τεχνητή γονιμοποίηση εξαιτίας άλλων ανωμαλιών. Ο δρ. Ζαβός έχει διευκρινίσει ότι δεν προτίθεται να βοηθήσει ομοφυλόφιλους να τεκνοποιήσουν, αλλά η Clonaid, ίσως και άλλοι που εργάζονται μυστικά, δεν δείχνει να έχει τέτοιους ενδοιασμούς.

Στα μάτια πολλών από εκείνους που δεν μπορούν να αποκτήσουν παιδιά, οι πολέμιοι του κλωνισμού φαντάζουν σαν ρατσιστές μιας νέας μορφής που προσπαθούν να τους στερήσουν το θεμελιώδες δικαίωμα στην τεκνοποίηση. Είναι γεγονός, εξάλλου, ότι χιλιάδες ζευγάρια ανά τον κόσμο προτιμούν να υποβληθούν σε αλλεπάλληλους κύκλους εξωσωματικής γονιμοποίησης, αντί απλώς να υιοθετήσουν ένα παιδί. “Είμαι 36 ετών” γράφει μία τακτική επισκέπτρια του δικτυακού τόπου Humancloning.org. “Όταν ήμουν 14, εμφανίστηκε στον εγκέφαλό μου όγκος· εξαιτίας του δεν μπορώ να αποκτήσω παιδιά. Έχω ακούσει όλα τα επιχειρήματα υπέρ της υιοθεσίας, αλλά δεν καταλαβαίνω γιατί θα πρέπει να εξαιρεθώ από το δικαίωμα σε ένα παιδί με τα δικά μου γονίδια” δηλώνει.

Επειδή, ανταπαντά η αντίθετη πλευρά, με τον κλωνισμό παράγονται άτομα τα οποία στερούνται το θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα σε “ένα ανοιχτό και ελεύθερο μέλλον”: ο προκαθορισμός της γενετικής σύστασης των κλώνων αντικαθιστά τον παράγοντα τύχη στον ανασυνδυασμό των γονιδίων του πατέρα και της μητέρας για τη δημιουργία ενός φυσιολογικού βρέφους και οδηγεί σε ανθρώπους με “κατασκευαστικές” προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί από άλλους. Πρόκειται, επομένως, για μια νέα μορφή δουλείας που θίγει τη μοναδικότητα του ατόμου. Επιπλέον, οι κλώνοι ανθρώπων που δεν μπορούν να τεκνοποιήσουν θα παρουσίαζαν τα ίδια προβλήματα γονιμότητας, διαιωνίζοντας έτσι γενετικά χαρακτηριστικά που η φυσική επιλογή θα εξάλειφε ίσως με την πάροδο του χρόνου. Η επιλεκτική και ασεξουαλική αναπαραγωγή θα μπορούσε ίσως να αλλάξει τη φυσική εξελικτική πορεία του ανθρώπινου είδους και να οδηγήσει στον εκφυλισμό του -θεωρητικά, ο κλωνισμός καθιστά δυνατή την ύπαρξη μιας παρθενογενετικά αναπαραγόμενης κοινωνίας που αποτελείται μόνο από γυναίκες.

Όσο μικρότερη είναι η γενετική ποικιλότητα (η οποία εξασφαλίζεται μέσω της εγγενούς αναπαραγωγής), τόσο μικρότερες είναι οι πιθανότητες να επιζήσει ένας πληθυσμός έπειτα από ξαφνικές αλλαγές στο περιβάλλον του. Βέβαια, στην πραγματικότητα ο αναπαραγωγικός κλωνισμός θα έπρεπε να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, για να μπορεί να έχει αντίκτυπο στη φυσική πορεία ενός πληθυσμού που ήδη υπερβαίνει τα έξι δισεκατομμύρια. Επίσης, διατείνονται οι υποστηρικτές του, η μοναδικότητα, το μέλλον και οι επιλογές του ατόμου ελάχιστα επηρεάζονται από τη γενετική του σύσταση. Αυτό που είναι σημαντικό, ισχυρίζονται, είναι να γεννιούνται υγιή παιδιά. Η γενετική τους ταυτότητα δεν θα έπρεπε να έχει καμία σημασία. Η αντίθεση στον κλωνισμό “συνιστά μία νέου είδους διάκριση εναντίον ανθρώπων, η οποία βασίζεται στα γενετικά τους χαρακτηριστικά -στο γεγονός ότι κάποιος άλλος έχει ήδη πανομοιότυπη αλληλουχία DNA” σχολιάζει ο Νέιθαν Μίρβολντ, ο οποίος άφησε τη θέση του επικεφαλής του τμήματος εκπαίδευσης προσωπικού της Microsoft για να δραστηριοποιηθεί στο χώρο της βιοτεχνολογίας. Στο αντίπαλο στρατόπεδο, όμως, εκφράζονται έντονες ανησυχίες για το ενδεχόμενο ψυχολογικής πίεσης που θα μπορούσαν να ασκήσουν οι “γονείς” στα κλωνοποιημένα παιδιά τους. Γνωρίζοντας εκ των προτέρων την πορεία που ακολούθησε στη ζωή του το “πρωτότυπο”, θα προσπαθούσαν να επηρεάσουν ώστε να οδηγηθεί το “αντίγραφο” στις επιλογές που οι ίδιοι θεωρούν σωστές. Βέβαια, και εδώ υπάρχει ο αντίλογος: κανένα παιδί δεν είναι απόλυτα ελεύθερο, καθώς στην ουσία όλοι οι γονείς προσπαθούν να οδηγήσουν την πνευματική ανάπτυξη των απογόνων τους προς την κατεύθυνση που οι ίδιοι επιθυμούν.

Είναι γεγονός ότι οι τεχνικές κλωνισμού διευκολύνουν τη γενετική τροποποίηση των εμβρύων πριν αυτά εμφυτευτούν στη μήτρα. Πολλοί υποστηρικτές των ανθρωπίνων δικαιωμάτων (όπως και ο σεναριογράφος της ταινίας Gattaca) υποστηρίζουν ότι είναι ορατό ένα μέλλον στο οποίο η πλουσιότερη κοινωνική τάξη θα επιλέγει τα χαρακτηριστικά των απογόνων της, ενώ άλλες φτωχότερες κοινωνικές ομάδες θα έχουν “υποβαθμιστεί”, παραγκωνιζόμενες σε ένα γενετικό γκέτο, όπου επικρατούν τα ζώδια αναπαραγωγικά ένστικτα. Η άποψη αυτή θίγει το πάντα επίκαιρο θέμα της κοινωνικής ανισότητας στην πρόσβαση στις υπηρεσίες υγείας. Ήδη πολλά ζευγάρια αδυνατούν να αντεπεξέλθουν στο κόστος της υποβοηθούμενης αναπαραγωγής και αναγκαστικά παραμένουν άτεκνα -ή απλώς υιοθετούν παιδιά.

Οι υποστηρικτές του κλωνισμού, όμως, θεωρούν ότι η κοινωνία δεν θα πρέπει να απαγορεύσει τις νέες αναπαραγωγικές θεραπείες απλώς επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λανθασμένους σκοπούς: θα ήταν σαν να απαγορεύαμε τα πιρούνια επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βγάλουν το μάτι του συνανθρώπου μας! Εναπόκειται στην Πολιτεία να διασφαλίσει με κανονιστικά μέτρα ότι ο κλωνισμός δεν θα συνδυάζεται με γενετική τροποποίηση των παραγόμενων βρεφών. Ορισμένοι ειδικοί διατείνονται, ωστόσο, ότι η εφαρμογή της ευγονικής στον άνθρωπο (της γενετικής επιλογής, όπως προτιμούν να την ονομάζουν) είναι μέχρι ενός σημείου θεμιτή. Ήδη για πολλές χρωμοσωμικές και γενετικές ασθένειες εφαρμόζεται αρνητική επιλογή των εμβρύων (απορρίπτονται τα έμβρυα που φέρουν τη βλάβη και εμφυτεύονται μόνο τα υγιή), η οποία στο μέλλον θα εξασφαλίζει ότι γεννιούνται μόνο υγιή παιδιά, περιορίζοντας έτσι ως ένα βαθμό τον ανθρώπινο πόνο.

Η αρνητική επιλογή έχει γίνει γενικά δεκτή από την κοινωνία και ορισμένοι υποστηρικτές του “τεχνολογικού φιλελευθερισμού” διατυπώνουν την άποψη ότι ο άνθρωπος ως οργανισμός έχει φτάσει σε αρκετά υψηλό επίπεδο εξέλιξης, ώστε να επιλέγει ο ίδιος πώς θα αναπαράγεται και ποιες γενετικές ποικιλομορφίες θα πρέπει να διατηρηθούν. Εξάλλου, η δημιουργία παιδιών που φέρουν στα κύτταρά τους γονίδια τα οποία δεν προέρχονται από τους γονείς τους είναι δυνατή και χωρίς την εφαρμογή του κλωνισμού. Ομάδα γιατρών του Ινστιτούτου Αναπαραγωγικής Ιατρικής και Επιστήμης στο Νιου Τζέρσι των ΗΠΑ επιβεβαίωσε στις αρχές Μαΐου τη γέννηση τουλάχιστον 15 γενετικά τροποποιημένων παιδιών, τα οποία δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο της κυτταροπλασματικής μεταφοράς. Στόχος των ερευνητών ήταν να βοηθήσουν άτεκνες γυναίκες να αποκτήσουν παιδί, προσθέτοντας στα ωάρια τους γονίδια άλλων γυναικών (μιτοχονδριακό DNA). Τα ωάρια που προέκυψαν γονιμοποιήθηκαν στη συνέχεια εξωσωματικά.

Πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η αξία της εν λόγω τεχνικής αμφισβητείται από ιατρικής άποψης, καθώς ο ρόλος του μιτοχονδριακού DNA στα προβλήματα γονιμότητας δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Η εφαρμογή της μεθόδου σε ανθρώπινα ωάρια χαρακτηρίζεται από ορισμένους “γονιδιακή θεραπεία”, αφού θεωρητικά αναπληρώνει τη λειτουργία “ελαττωματικών” γονιδίων. Άλλοι, ωστόσο, προτιμούν τον όρο “γενετική τροποποίηση ανθρώπων” και τάσσονται κατά της εφαρμογής της για λόγους ηθικής και ασφάλειας.

Όπως αναφέρει ο ειδικός σε θέματα βιοηθικής Τζέφρι Καν του Πανεπιστημίου της Μινεσότα, η κοινωνία τείνει να αντιδρά μάλλον στην επιστήμη παρά να την καθοδηγεί. Οι ερευνητές προτείνουν και οι πολίτες κρίνουν. Πολλοί υποστήριζαν ότι ο νομοθέτης δεν πρέπει, και ούτως ή άλλως δεν μπορεί, να κατευθύνει την πορεία της επιστημονικής έρευνας, η οποία πηγάζει πρωταρχικά από την έμφυτη περιέργεια του ανθρώπου για τον κόσμο που τον περιβάλλει. Ο κλωνισμός είναι εδώ και έχουμε ήδη ξεπεράσει το σημείο χωρίς επιστροφή. Όμως, η Ιστορία έχει αποδείξει ότι η επιστήμη δεν είναι ανεξάρτητη από την κοινωνία που την παράγει. Η ίδια η επιστημονική αντικειμενικότητα έχει επανειλημμένως τεθεί υπό αμφισβήτηση, καθώς οι κατά καιρούς προτεινόμενες επιστημονικές θεωρίες τείνουν να αντανakλούν τις αντιλήψεις της εποχής κατά την οποία διατυπώθηκαν. Για το λόγο αυτόν, πολλοί επιστημολόγοι υποστηρίζουν ότι η κοινωνία έχει κάθε δικαίωμα να διακόπτει ερευνητικά προγράμματα που τελούν υπό ηθική αμφισβήτηση.

Ωστόσο, ακόμα και ειδικοί που συμφωνούν με την άποψη αυτή, θεωρούν ότι τα οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την τεχνολογία κλωνισμού δικαιολογούν απόλυτα την καταστροφή εμβρύων στην

πορεία της έρευνας -σε τελική ανάλυση, τα συναισθήματα και η αυτοσυνείδηση ενός πρώιμου εμβρύου αντιστοιχούν στο επίπεδο αυτών μιας αμοιβάδας. Επιφανείς Αμερικανοί επιστήμονες και διανοητές υπέγραψαν προ ετών τη Διακήρυξη προς υπεράσπιση του κλωνισμού και της επιστημονικής ακεραιότητας, με την οποία καλούσαν τον τότε πρόεδρο Μπιλ Κλίντον να μην επιβάλει μορατόριουμ στην έρευνα για τη βελτίωση των μεθόδων κλωνισμού. Στα ονόματα που υπέγραψαν την επιστολή περιλαμβάνεται ο Φράνσις Κρικ (ο νομπελίστας που ανακάλυψε τη δομή του DNA σε συνεργασία με τον Τζέιμς Γουάτσον), ο Ρίτσαρντ Ντόκινς (ζωολόγος, ριζοσπάστης ηθολόγος και συγγραφέας του βιβλίου Το εγωιστικό γονίδιο) και ο βραβευμένος συγγραφέας Κουρτ Βόνεγκατ. Επιπλέον, πολλοί είναι εκείνοι που υποστηρίζουν ότι οι αντιδράσεις για τον ενδεχόμενο κλωνισμό ανθρώπων είναι από λογικής απόψεως εντελώς αβάσιμες -με εξαίρεση τις αντιδράσεις για το επικίνδυνο της μεθόδου. Θεωρούν ότι οι αντιρρήσεις για την εφαρμογή του κλωνισμού οφείλονται σε ενστικτώδεις και αυθαίρετες αντιλήψεις για το τι είναι “φυσιολογικό” και “υγιές” και τι δεν είναι.

Ο ειδικός για θέματα βιοηθικής Τομ Γουίλκι του κοινωφελούς ιδρύματος Wellcome Trust επινόησε τον παράγοντα μπλιαχ (the yuk factor), για να περιγράψει το αόριστο αίσθημα αποστροφής που προκαλούν ορισμένες ιατρικές πρακτικές και επιστημονικές ανακαλύψεις. Πάντως, οι περισσότεροι κοινωνιολόγοι σήμερα δέχονται ότι το περιεχόμενο της έννοιας “ηθική” καθορίζεται από την κοινωνία (και όχι από τον Θεό) και μεταβάλλεται ανάλογα με τις ιστορικές συνθήκες. Σε τελική ανάλυση, υποστηρίζουν ορισμένοι, αν η πλειονότητα του κοινού θεωρεί μια πρακτική “ανήθικη”, τότε αυτή μπορεί κάλλιστα να οριστεί ως τέτοια. Τελικά, η στάση που θα κρατήσει η κοινωνία απέναντι στον κλωνισμό ίσως καθοριστεί από την έκβαση της πρώτης -και αναπόφευκτης- εφαρμογής του στον άνθρωπο: αν το πρώτο κλωνοποιημένο βρέφος γεννηθεί με σοβαρές ανωμαλίες, ο παράγοντας μπλιαχ θα επικρατήσει. Αν, αντίθετα, γεννηθεί υγιέστατο, ίσως όλοι σπεύσουν να το αγκαλιάσουν και να αποδεχτούν την τεχνολογία που οδήγησε στη γέννησή του -όπως, εξάλλου, συνέβη με τα παιδιά που προκύπτουν από εξωσωματική γονιμοποίηση (τα οποία, όμως, συχνά περιγράφονται με τον μάλλον προσβλητικό όρο “παιδιά του σωλήνα”).

Στην προαναφερθείσα δημοσκόπηση του Time, το 69% των ερωτηθέντων που τάσσονται κατά της εφαρμογής της νέας τεχνολογίας πιστεύει ότι η δημιουργία ανθρώπων διά του κλωνισμού είναι “αντίθετη στη θέληση του Θεού”. Πράγματι, οι περισσότεροι από τους κύριους θρησκευτικούς ηγέτες του κόσμου έχουν ταχθεί άμεσα εναντίον της εφαρμογής της νέας τεχνολογίας σε ανθρώπους, καθώς θεωρούν ότι ο κλωνισμός ως μέθοδος αναπαραγωγής είναι αφύσικος, θίγει την ανθρώπινη αξιοπρέπεια και μοναδικότητα και υποβιβάζει τη ζωή σε “παρασκεύασμα”. Αξίζει να θυμηθούμε ότι ο ίδιος ο Ρίτσαρντ Σιντ έχει υποστηρίξει ότι με τον κλωνισμό έχουμε ουσιαστικά μεταβίβαση μιας από τις αρμοδιότητες του Θεού στον άνθρωπο (Ο κλωνισμός είναι έργο του Θεού). Τον Αύγουστο του 2000 ο Πάπας Ιωάννης Παύλος Β' διέκοψε την παραμονή του στη θερινή του κατοικία, για να προσέλθει εσπευσμένα σε συνέδριο βιοηθικής στη Ρώμη και να καταδικάσει τον κλωνισμό εμβρύων και ενηλίκων για οποιονδήποτε σκοπό. Οι δηλώσεις του δεν θα μπορούσαν, βέβαια, να είναι διαφορετικές, καθώς το Βατικανό συνεχίζει να μάχεται κατά των αμβλώσεων και της εξωσωματικής γονιμοποίησης. Η Εκκλησία της Ελλάδος έχει επίσης καταδικάσει, δια στόματος του Αρχιεπισκόπου Χριστόδουλου, τον κλωνισμό ανθρώπων ως αφύσικο και προσβλητικό για την ανθρώπινη φύση. Οι θρησκευτικοί ηγέτες του ιουδαϊσμού αντιτίθενται εν πολλοίς στη δημιουργία ανθρώπινων κλώνων. Καθώς, όμως, για τους Εβραίους η τεκνοποίηση συνιστά θρησκευτικό καθήκον (μιτσβά), ορισμένοι ραβίνοι εμφανίζονται πιο μετριοπαθείς σε σχέση με εκπροσώπους άλλων θρησκειών. “Όταν καμία άλλη μέθοδος δεν είναι διαθέσιμη, θα φαινόταν λογικό ότι η απόκτηση παιδιών μέσω του κλωνισμού είναι ίσως μιτσβά υπό ορισμένες συνθήκες” αναφέρει, με μάλλον διστακτική διατύπωση, ο ραβίνος Μάικλ Μπρόντ του Πανεπιστημίου Emory σε δημοσίευσή του στο περιοδικό Jewish Law. Όταν, τέλος, η βρετανική κυβέρνηση αποφάσισε πέρυσι να επιτρέψει τη διεξαγωγή ερευνών σε ανθρώπινα έμβρυα - τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν ακόμα και με κλωνισμό - μέχρι τη 14η ημέρα μετά τη γονιμοποίηση, ο Δαλάι Λάμα κάλεσε τον Τόνι Μπλερ να επανεξετάσει την ηθική βάση των αποφάσεων της κυβέρνησής του. Οι επίσημοι φορείς των θρησκειών είναι μάλλον απίθανο να αναθεωρήσουν τις απόψεις τους για τον κλωνισμό. Απομένει να δούμε αν οι αρχικές αντιδράσεις της κοινωνίας και των πολιτικών ήταν όντως βάσιμες ή αν στο μέλλον θα θεωρείται φυσιολογικό μια οικογένεια να έχει το ίδιο μέλος σε περισσότερα από ένα “αντίγραφα”.

Στις 22 Φεβρουαρίου 2002, η Αρχή Ανθρώπινης Γονιμοποίησης και Εμβρυολογίας (HFEA) της Αγγλίας παραχώρησε άδεια στο γιατρό των Hashmi, στο Νότιγγχαμ, να προχωρήσει με προγενετική διάγνωση (PGD) και εξωσωματική γονιμοποίηση της κας Hashmi. Μετά από 15 μήνες δικαστικών μαχών (η απόφαση της HFEA αμφισβητήθηκε στο Ανώτατο Δικαστήριο από ομάδες που αντιτίθενται σε αυτού του είδους επεμβάσεις) η οικογένεια μπορεί τώρα να προχωρήσει στη σύλληψη ακόμα ενός παιδιού συμβατού με τον Zain.

Οι Whitaker υπέβαλαν αίτηση το 2002 ώστε να επιτραπεί στο γιατρό που θα πραγματοποιούσε την εξωσωματική γονιμοποίηση να επιλέξει ένα έμβρυο με τέλεια συμβατότητα με τον Charlie. Η αίτηση τους απορρίφθηκε για τεχνικούς λόγους. Η Αρχή Ανθρώπινης Γονιμοποίησης και Εμβρυολογίας (HFEA) της Αγγλίας αποφάνθηκε ότι είναι αποδεκτό να εξετάζονται και να επιλέγονται έμβρυα για να αποτραπεί η γέννηση ενός μωρού με γενετική ασθένεια, αλλά όχι προκειμένου να βοηθηθεί ένα άλλο παιδί. Μια και η DBA είναι σποραδική ασθένεια, δεν είναι απαραίτητη προγενετική διάγνωση (PGD) δεδομένου ότι είναι μάλλον απίθανο να εμφανιστεί και στο επόμενο παιδί. Το ζεύγος αποφάσισε να μεταβεί στις ΗΠΑ για τη θεραπεία και την εξωσωματική γονιμοποίηση. Στις 16 Ιουνίου 2003 γεννήθηκε ο James που είναι απόλυτα συμβατός με τον αδελφό του.



Αλλά ο John Smeaton, εθνικός διευθυντής της Ένωσης για την Προστασία των Αγέννητων Παιδιών, σημειώνει: “Παρά το γεγονός ότι νοιώθουμε τα διλήμματα της οικογένειας και χαιρετίζουμε την γέννηση του Jamie Whitaker, υπάρχουν θέματα σε αυτή την υπόθεση που προκαλούν βαθιά ανησυχία. Ανθρώπινα όντα που δεν ήταν συμβατά απλά απορρίφθηκαν και ένα παιδί δημιουργήθηκε με μόνο σκοπό να σώσει το μεγαλύτερο αδελφό του. Με αυτό τον τρόπο θίγεται ανεπανόρθωτα η ανθρώπινη αξιοπρέπεια του Jamie.”

(Αυτό το κείμενο βασίζεται σε μεγάλο μέρος σε αφιέρωμα που παρουσιάστηκε στο in.gr το 2001.)

Γενική Βιβλιογραφία

- **E-Health, Telehealth, and Telemedicine : A Guide to Startup and Success** by Marlene Maheu, Pamela Whitten, Ace Allen. Jossey-Bass, 2001.
- **Telemedicine and Telehealth: Principles, Policies, Performance and Pitfalls** by Adam William Darkins, Margaret Ann Cary. Springer Publishing, 2000.
- **Tissue Engineering** by Bernhard O. Palsson, Sangeeta N. Bhatia. Prentice Hall, 2003.
- **Principles of Tissue Engineering** by Robert P. Lanza, Robert Langer, Joseph P. Vacanti. Academic Press, 2000.
- **Understanding Biotechnology** by Aluizio Borem, Fabricio R. Santos, David E. Bowen. Pearson Education, 2003.
- **Biotechnology Unzipped: Promises & Realities (Natural Hazards and Disasters)** by Eric S. Grace. National Academy Press, 1997.
- **Genetically Modified Organisms in Agriculture: Economics and Politics** by Gerald C. Nelson. Academic Press, 2001.
- **Human Cloning and Human Dignity: The Report of the President's Council on Bioethics** by Leon R. Kass. PublicAffairs, 2002.
- **Who's Afraid of Human Cloning?** by Gregory E. Pence. Rowman & Littlefield, 1998.

Βιβλιογραφία

1. Bashshur RL. Telemedicine and Health Care. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):5-12
2. Krupinski E, Nypaver M, Poropatich R, et al. Clinical Applications in Telemedicine/Telehealth. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):13-34
3. Ruggiero C. Teleradiology: a review. *J Telemed Telecare*. 1998;4(1):25-35.
4. Cross SS, Dennis T, Start RD. Telepathology: current status and future prospects in diagnostic histopathology. *Histopathology*. 2002 Aug;41(2):91-109.
5. Hilty DM, Marks SL, Urness D, Yellowlees PM, Nesbitt TS. Clinical and educational telepsychiatry applications: a review. *Can J Psychiatry*. 2004 Jan;49(1):12-23.
6. Whited JD. Teledermatology. Current status and future directions. *Am J Clin Dermatol*. 2001;2(2):59-64.
7. Flowers CW Jr, Baker RS, Khanna S, Ali B, March GA, Scott C, Murrillo S. Teleophthalmology: rationale, current issues, future directions. *Telemed J*. 1997 Spring;3(1):43-52.
8. Molinari G, Valbusa A, Terrizzano M, Bazzano M, Torelli L, Girardi N, Barsotti A. Nine years' experience of telecardiology in primary care. *J Telemed Telecare*. 2004;10(5):249-53.
9. Whitten P, Mair F. Telesurgery versus telemedicine in surgery--an overview. *Surg Technol Int*. 2004;12:68-72.
10. Beals DA, Fletcher JR. Telemedicine and pediatric surgery. *Semin Pediatr Surg*. 2000 Feb;9(1):40-7.
11. Bengner J. A review of telemedicine in accident and emergency: the story so far. *J Accid Emerg Med*. 2000 May;17(3):157-64.
12. Kaye LW. Telemedicine: extension to home care. *Telemed J*. 1997 Fall;3(3):243-6.
13. Kopp S, Shuchman R, Strecher V, et al. Public Health Applications. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):35-48
14. Mangrulkar R, et al. Public Health Applications. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):49-60
15. Ackerman M, Craft R, Ferrante F, Kratz M, Mandil S, Sapci H. Telemedicine Technology. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):71-78
16. Guler NF, Ubeyli ED. Theory and applications of telemedicine. *J Med Syst*. 2002 Jun;26(3):199-220.
17. Conner DA, Grimes GJ, Goldman, J. Issues and techniques in networked-based distributed healthcare: Overview. *J. Syst. Integration*. 2000;10:81-94.
18. Sargsyan AE, Doarn CR, Simmons SC. Internet and World-Wide-Web technologies for medical data management and remote access to clinical expertise. *Aviat. Space Environ. Med*. 1999;70(2):185-190.
19. Pombortsis AS. Communication technologies in health care environments. *Int. J. Med. Inform*. 1998;52(1-3):61-70.
20. Shannon G, Nesbitt T, et al. Public Health Applications. *Telemed J e-Health*. 2002;8(1):61-70
21. Papadaki M. An introduction to cellular and tissue engineering. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 2000 Jan-Feb;19(1):126-7.

