

# Μεταμόσχευση καρδιάς - πνευμόνων: σημερινή πραγματικότητα και μελλοντικές προοπτικές

Γεώργιος Η. Σαρρής

*Διευθυντής Δ' Καρδιοχειρουργικού Τμήματος  
Παιδων και Συγγενών Καρδιοπαθειών,  
Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Κ**άθε μεταμόσχευση, ίσως ιδιαίτερα μια μεταμόσχευση καρδιάς, προκαλεί πάντα ιδιαίτερη συγκίνηση, αποτελώντας τη σύγκλιση και την κορύφωση δύο τραγικών ιστοριών, δηλαδή του συνήθως απροσδόκτου θανάτου ενός μέχρι πρότινος υγιούς δότη και της νέας ευκαιρίας και ελπίδας για ζωή ενός ανθρώπου που βρισκόταν στα πρόθυρα του θανάτου. Σήμερα όμως η εδραίωση της μεταμοσχευτικής δραστηριότητας σε πολλά νοσοκομεία ανά τον κόσμο έχει μετατρέψει τη μεταμόσχευση καρδιάς σχεδόν σε επέμβαση ρουτίνας, ενώ μόλις πριν από ακριβώς 50 χρόνια διάσημοι επιστήμονες είχαν ανακηρύξει το εγχείρημα αυτό ακατόρθωτο. Ο Marcus έγραψε το 1951 ότι η μεταμόσχευση καρδιάς πρέπει να θεωρηθεί ακατόρθωτο φανταστικό όνειρο. Επειδή είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς το παρελθόν για να καταλάβει το παρόν και για να προετοιμάσει καλύτερα το μέλλον, στην αποψι-

νή ομιλία θα προσπαθήσω, χωρίς να παραθέσω πολλές τεχνικές λεπτομέρειες, να παρουσιάσω την ιστορία της εξέλιξης της μεταμόσχευσης καρδιάς και πνευμόνων, την κατάσταση των μεταμοσχεύσεων σήμερα και τις προοπτικές για το μέλλον. Οι μεταμοσχεύσεις καρδιάς και πνευμόνων έγιναν πραγματικότητα χάρη στις προσπάθειες πολλών επιστημόνων, ξεκινώντας από τον πατέρα των μεταμοσχεύσεων καρδιάς, τον καθηγητή Norman Shumway από το Πανεπιστήμιο Στάνφορντ των ΗΠΑ.

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι βάσεις είχαν τοποθετηθεί από τον Alexis Carell, ο οποίος αναφέρεται ως ο θεμελιωτής χειρουργικών τεχνικών που αποτέλεσαν προϋπόθεση για τις μετέπειτα μεταμοσχευτικές δραστηριότητες. Νεαρός γιατρός στη Γαλλία, στιγματίστηκε από τη δολοφονία του Προέδρου της Γαλλίας, τον οποίο δεν μπόρεσαν να σώσουν οι γιατροί από τα σοβαρά τραύματα που υπέστη στα μεγάλα αγγεία, και αφιέρωσε την υπόλοιπη ζωή του (στις Ηνωμένες Πολιτείες πλέον) στην ανάπτυξη τεχνικών συρραφής διαφόρων αγγείων και μάλιστα πραγματοποίησε κάποια υποτυπώδη πειράματα μεταμόσχευσης καρδιάς. Για τις προσπάθειές του αυτές τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής. Ασφαλώς όμως, οι μεταμοσχεύσεις οργάνων γενικά δεν θα ήταν εφικτές χωρίς τη διερεύνηση των μηχανισμών απόρριψης των μοσχευμάτων που πραγματοποίησε ο Sir Peter Medawar στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η ανακάλυψη ανοσοκατασταλτικών φαρμάκων (αζαθειοπρίνη και στεροειδή) επέτρεψε επιτυχημένες μεταμοσχεύσεις νεφρών στα μέσα της δεκαετίας του '50. Όμως, παρά τις επιτυχίες στη μεταμόσχευση νεφρών, η μεταμόσχευση καρδιάς εξακολουθούσε να φαντάζει σαν ένα όνειρο. Το όνειρο όμως έγινε πραγματικότητα χάρη στην επίμονη και συστηματική επιστημονική προσπάθεια του καθηγητή Norman Shumway.

Με καθαρή επιστημονική σκέψη, ο Shumway εντόπισε τα εξής ερωτήματα, που έπρεπε να απαντηθούν για να επιτευχθεί η μεταμόσχευση καρδιάς:

1. Πώς μπορεί να αφαιρεθεί η καρδιά του δότη διατηρώντας παράλληλα τη βιωσιμότητά της;

2. Ποια είναι η κατάλληλη χειρουργική τεχνική για την αφαίρεση της καρδιάς του λήπτη και τη μεταμόσχευση της νέας καρδιάς;
3. Πώς θα μπορέσει η νέα καρδιά να επαναλειτουργήσει υποστηρίζοντας πλήρως την κυκλοφορία του λήπτη;
4. Πώς θα γίνει αντιληπτή έγκαιρα και πώς θα αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της απόρριψης του μοσχεύματος;
5. Ποιος είναι ο κατάλληλος δότης;

Τα επόμενα χρόνια, δουλεύοντας στο πειραματικό εργαστήριο, ο καθηγητής Shumway και η ομάδα του έδωσαν απαντήσεις σε όλα αυτά τα ερωτήματα. Επινόησε τη μέθοδο της βαθιάς τοπικής υποθερμίας για την προστασία του μυοκαρδίου, ούτως ώστε να διατηρείται η βιωσιμότητά του κατά τη διαδικασία της αφαίρεσης μέχρι τη μετεμφύτευσή του στο λήπτη. Κατέληξε σε μια εκπληκτική για την απλότητά της χειρουργική τεχνική με στόχο την ασφαλή μετεμφύτευση του μοσχεύματος στο λήπτη. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα σε όλο τον κόσμο. Απέδειξε ότι η μεταμοσχευμένη καρδιά μπορεί να λειτουργήσει άριστα υποστηρίζοντας πλήρως την κυκλοφορία του λήπτη, χωρίς καμιά πλέον σύνδεση με το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Όμως, παρότι τα μεταμοσχευθέντα πειραματόζωα αρχικά συμπεριφέρονταν φυσιολογικά, σε λίγες μέρες κατέληγαν αν δεν υπήρχε ανοσοκαταστολή. Η ομάδα του καθηγητή Shumway μελέτησε τις εκδηλώσεις της απόρριψης και –δανειζόμενη ανοσοκατασταλτικά σχήματα από τους μεταμοσχευτές νεφρών– πέτυχε μακρόχρονη επιβίωση των σκυλιών που χρησιμοποιούσε ως πειραματόζωα το 1965. Παρέμενε όμως το μεγάλο ερώτημα του δότη. Ο Shumway γνώριζε ότι ο δότης έπρεπε να είναι κάποιος εγκεφαλικά νεκρός, συνήθως θύμα ατυχήματος. Όμως, την εποχή εκείνη δεν υπήρχε κατοχύρωση της έννοιας του εγκεφαλικού θανάτου. Η ιατρική πρακτική που ακολουθούνταν ήταν, σε περίπτωση βεβαιωμένου εγκεφαλικού θανάτου, να διακόπτεται η μηχανική αναπνευστική υποστήριξη και όταν πλέον η καρδιά είχε σταματήσει (οπότε πλέον ήταν αργά για μεταμόσχευση), τότε να πιστοποιείται ο θάνατος του ασθενούς. Έτσι, αν και όλα ήταν έτοιμα για μια κλινική μεταμόσχευση στο πανεπιστήμιο Στάνφορντ (αλλά και στη Βιρτζίνια όπου είχε μετακινηθεί ο Richard Lower, ο πρώτος μαθητής του

Shumway), το πρόβλημα του δότη παρέμενε ανυπέρβλητο εμπόδιο. Δεν είναι ευρέως γνωστό ότι το 1964 ο James Hardy στο πανεπιστήμιο του Μίσισιπή στις ΗΠΑ πραγματοποίησε την πρώτη καρδιακή ξеноμεταμόσχευση στον άνθρωπο χρησιμοποιώντας ως δότη πίθηκο. Και στις δύο περιπτώσεις η μεταμοσχευμένη καρδιά του ζώου απορρίφθηκε σε λίγα λεπτά και οι ασθενείς κατέληξαν. Την πρώτη επιτυχή καρδιακή μεταμόσχευση πραγματοποίησε τον Δεκέμβριο του 1967 ο Christian Barnard στο Κέιπ Τάουν. Ο Barnard, έχοντας επισκεφτεί το εργαστήριο του Richard Lower, μαθητή του Shumway στη Βιρτζίνια, είχε ενημερωθεί για τη χειρουργική τεχνική και πέτυχε πρώτος την επίλυση του προβλήματος του δότη. Παρόλο που ο πρώτος αυτός λήπτης καρδιακού μοσχεύματος δεν έζησε για πάρα πολύ, το πρώτο μεγάλο βήμα είχε γίνει και σε αυτό το εγχείρημα δόθηκε τεράστια δημοσιότητα. Ο καθηγητής Shumway και η ομάδα του πραγματοποίησαν τη δεύτερη μεταμόσχευση τον Ιανουάριο του 1968. Η ευρεία δημοσιότητα που δόθηκε στην πρώτη μεταμόσχευση δημιούργησε μια έκρηξη μεταμοσχευτικής δραστηριότητας σε πολλά νοσοκομεία του κόσμου, δεδομένου ότι η χειρουργική τεχνική του Shumway ήταν εύκολη και ένας έμπειρος χειρουργός μπορούσε να την εφαρμόσει χωρίς μεγάλη δυσκολία. Δυστυχώς όμως, παρόλο που μέσα σε έναν χρόνο έγιναν πάνω από 200 μεταμοσχεύσεις, όλοι οι ασθενείς κατέληξαν, αφού τα κέντρα που επεχείρησαν τις μεταμοσχεύσεις αυτές δεν είχαν την ανάλογη υποδομή και την απαραίτητη τεχνογνωσία που είχαν κατακτηθεί έπειτα από πολυετείς έρευνες στο Στάνφορντ. Ο αρχικός ενθουσιασμός στα μέσα ενημέρωσης μετατράπηκε σε κατακραυγή και όλα σχεδόν τα μεταμοσχευτικά προγράμματα έκλεισαν. Φημισμένα πανεπιστήμια, όπως το Χάρβαρντ, αποφάσισαν ότι οι μεταμοσχεύσεις δεν είχαν μέλλον και δεν σκόπευαν να τις συνεχίσουν.

Αθόρυβα όμως η προσπάθεια βελτίωσης των μεταμοσχεύσεων καρδιάς συνεχίστηκε στο Στάνφορντ. Το 1972 επινοήθηκε η τεχνική της ενδομοσχευτικής βιοψίας που επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία της απόρριψης. Το 1973 καθιερώθηκε το θεσμικό πλαίσιο του εγκεφαλικού θανάτου στην Καλιφόρνια, ο αριθμός των δοτών αυξήθηκε και εισήχθησαν τεχνικές που επέτρεπαν την αφαίρεση του μοσχεύματος από τον δότη που βρισκόταν και σε

νοσοκομεία μακριά από το μεταμοσχευτικό κέντρο. Το 1980 ανακαλύφθηκαν οι εξαιρετικές ανοσοκατασταλτικές ιδιότητες ενός φαρμάκου που ονομαζόταν κυκλοσπορίνη. Στα πειράματα αυτά είχε συμβάλει σημαντικά και ο καθηγητής κύριος Κωστάκης. Η εισαγωγή της κυκλοσπορίνης στις καρδιακές μεταμοσχεύσεις στο Στάνφορντ το 1980 έδωσε νέα ώθηση στη μεταμοσχευτική δραστηριότητα σε παγκόσμια κλίμακα.

Μαζί με άλλες καινοτομίες (όπως η εισαγωγή των αντισωμάτων που είχε γίνει στο Στάνφορντ), τα αποτελέσματα βελτιώθηκαν. Επιπλέον, η μείωση των δόσεων των στεροειδών επέτρεψε την επέκταση της μεταμοσχευτικής δραστηριότητας της καρδιάς και στην παιδική ηλικία. Μάλιστα, ένας από τους πρώτους παιδιατρικούς ασθενείς που υποβλήθηκαν σε μεταμόσχευση καρδιάς στο Στάνφορντ έλαβε μόσχευμα προερχόμενο από δότη που βρισκόταν σε μακρινή πολιτεία, η δε μεταφορά αυτού του μοσχεύματος στο μεταμοσχευτικό κέντρο του Στάνφορντ ήταν περιπετειώδης, ο χρόνος ισχαιμίας ήταν πάνω από 8 ώρες (ενώ το συνηθισμένο επιτρεπόμενο όριο είναι περίπου 3-4 ώρες). Όμως, ο μικρούλης αυτός ασθενής, 15 χρόνια αργότερα όχι μόνο είναι άριστα στην υγεία του αλλά είναι και ο μόνος ασθενής που έχει υποστεί μεταμόσχευση στον κόσμο που ζει σήμερα χωρίς κανένα ανοσοκατασταλτικό φάρμακο. Με τη σταθερή πρόοδο που σημειώθηκε στο Στάνφορντ, δειλά στην αρχή και αργότερα με ενθουσιασμό, δημιουργήθηκαν πολλά μεταμοσχευτικά κέντρα σε όλο τον κόσμο.

## **ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΜΕΡΑ;**

Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν πάνω από 300 κέντρα μεταμοσχεύσεων καρδιάς, από τα οποία πάνω από 50 πραγματοποιούν και παιδιατρικές μεταμοσχεύσεις. Στην Ελλάδα υπάρχουν τρία μεταμοσχευτικά κέντρα αλλά η μεταμοσχευτική δραστηριότητα παραμένει ακόμα σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μέχρι σήμερα, όπως δείχνουν τα στοιχεία της Παγκόσμιας Εταιρείας Μεταμοσχεύσεων, έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από 55.000 μεταμοσχεύσεις καρδιάς και η πιθανότητα επιβίωσης έπειτα από μεταμόσχευση ξεπερνά το 90% τον πρώτο χρόνο. Βέβαια, μια επιτυχημένη μεταμόσχευση δεν εξασφαλίζει τη μακροβιό-

τητα. Υπάρχουν ακόμα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την ανάγκη πρόσληψης ανοσοκατασταλτικών φαρμάκων, με συνέπεια τη μειωμένη αντίσταση του οργανισμού στις λοιμώξεις. Έτσι, οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες κινδύνου μακροπρόθεσμα είναι η απόρριψη και η λοίμωξη και οι πιθανότητες επιβίωσης έπειτα από μεταμόσχευση καρδιάς είναι περίπου 70% στα πέντε χρόνια και 60% στα 10 χρόνια. Επίσης, κάποια χρόνια μετά την επιτυχή μεταμόσχευση, η καρδιά ανεπαρκεί, προσβαλλομένη από μια περίεργη γενικευμένη πάθηση των στεφανιαίων αγγείων που ονομάζεται αποφρακτική αγγειοπάθεια και θεωρείται μια μορφή χρόνιας απόρριψης.

Σχεδόν παράλληλα με τις μεταμοσχεύσεις καρδιάς κινήθηκε και η ιστορία των μεταμοσχεύσεων πνευμόνων. Η ερευνητική ομάδα του καθηγητή Shumway πραγματοποίησε πολλαπλές μελέτες στο ερευνητικό εργαστήριο του Στάνφορντ και πέτυχε μακρόχρονη επιβίωση των πειραματόζωων (που ήταν σε αυτή την περίπτωση πίθηκοι) για πολλά χρόνια. Έτσι, το 1981 πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή Shumway και τον Bruce Reitz η πρώτη επιτυχημένη συνδυασμένη μεταμόσχευση καρδιάς και πνευμόνων στο ίδιο πάντα πανεπιστήμιο. Η ασθενής Mary Golke είχε μια δύσκολη αρχική πορεία, επέζησε όμως και έγραψε αργότερα ένα βιβλίο για την εμπειρία της. Αρχικά, οι συνδυασμένες μεταμοσχεύσεις καρδιάς και πνευμόνων ήταν σωτήριες για ασθενείς που υπέφεραν από ανίαιτες παθήσεις της καρδιάς και των πνευμόνων ή και μόνο των πνευμόνων, όμως για τεχνικούς λόγους η μεταμόσχευση των πνευμόνων χωριστά από την καρδιά δημιουργούσε προβλήματα. Πάντως μέχρι σήμερα έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός συνδυασμένων μεταμοσχεύσεων καρδιάς και πνευμόνων, πρέπει δε να σημειωθεί ότι η διπλή μεταμόσχευση είναι επέμβαση με υψηλότερο κίνδυνο και μικρότερη μακρόχρονη επιβίωση από τη μεταμόσχευση καρδιάς. Παράλληλα όμως, σημειώθηκε πρόοδος και στις μεταμοσχεύσεις πνευμόνων (του ενός ή και των δύο) για ασθενείς με πνευμονική μόνο ανεπάρκεια. Αρχικά, η μεγαλύτερη δραστηριότητα ξεκίνησε από το πανεπιστήμιο Τζόρτζ Γουάσινγκτον στο Σαν Λούις. Μακροπρόθεσμα, οι ασθενείς με μεταμοσχευθέντες πνεύμονες κινδυνεύουν επίσης από λοίμωξη και απόρριψη και από το πρόβλημα της χρόνιας βρογχειολί-

τιδας, που θεωρείται και αυτό μια μορφή χρόνιας απόρριψης. Ολοκληρώνοντας τη σύντομη αυτή έκθεση της κατάστασης των μεταμοσχεύσεων σήμερα, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μεταμοσχεύσεις καρδιάς και πνευμόνων έχουν επίσης επιτρέψει σε χιλιάδες παιδιά με ανίατες παθήσεις να επιζήσουν. Τα μεταμοσχευτικά κέντρα παιδιών είναι λιγότερα, τα αποτελέσματα όμως είναι άριστα.

## ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Έχοντας πραγματοποιήσει μια ανασκόπηση της ιστορίας των μεταμοσχεύσεων μέχρι σήμερα και της σημερινής τους κατάστασης, πρέπει να αναρωτηθούμε για τις μελλοντικές προοπτικές.

Υπάρχει έντονη δραστηριότητα και βάσιμες ελπίδες για την ανακάλυψη νέων ανοσοκατασταλτικών φαρμάκων με λιγότερες τοξικές παρενέργειες, φάρμακα που μπορεί να μειώσουν και το φαινόμενο της χρόνιας απόρριψης, δηλαδή της αποφρακτικής αγγειοπάθειας ή βρογχιολίτιδας που προαναφέραμε. Ένα τέτοιο φάρμακο φαίνεται να είναι το Rapamycin. Ο στόχος βέβαια είναι η επίτευξη της μόνιμης ανοχής στο μόσχευμα (tolerance) προς αυτή την κατεύθυνση γίνονται πολλές ερευνητικές προσπάθειες που περιλαμβάνουν και μεθόδους γονιδιακής θεραπείας.

Το άλλο σκέλος της ερευνητικής προσπάθειας κατευθύνεται προς την επίλυση του προβλήματος της έλλειψης δοτών. Η ευαισθητοποίηση του κοινού, ο εκσυγχρονισμός των μεταμοσχευτικών κέντρων και η προώθηση της συνεργασίας τους με τα νοσοκομεία μπορούν να αυξήσουν τον αριθμό των δωρεών οργάνων (περισσότερο ίσως σε χώρες όπως η δική μας που κατέχει την τελευταία θέση στον τομέα αυτό στην Ευρώπη), αλλά διεθνώς αυτές οι προσπάθειες δεν θα αυξήσουν ιδιαίτερα τον αριθμό των διαθέσιμων μοσχευμάτων. Η πρόοδος της καρδιοχειρουργικής και η εφαρμογή νεώτερων τεχνικών αντιμετώπισης της καρδιακής ανεπάρκειας ίσως οδηγήσει σε μικρή μείωση του αριθμού των υποψήφιων ληπτών. Μακροπρόθεσμα όμως η λύση μπορεί να δοθεί μόνο με τη χρησιμοποίηση ζωικών οργάνων για μεταμόσχευση ή με τη μηχανική καρδιά. Οι πρώιμες προσπάθειες ξενομεταμόσχευσης καρδιάς από τον Hardy,

το 1964, και η περίφημη μεταμόσχευση ενός νεογνού (baby Fae) με δότη μπαμπούνο από τον Leonard Bailey στη Λόμα Λίντα το 1986 ήταν ανεπιτυχείς. Παρόμοιες προσπάθειες έχουν γίνει στον τομέα της ηπατικής ξενομεταμόσχευσης από τον Starzi και τους συνεργάτες του στο Πίτσμπουργκ.

## **ΤΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΓΙΑ ΖΩΙΚΟΥΣ ΔΟΤΕΣ;**

Η φυσικότερη επιλογή θα ήταν η χρησιμοποίηση πιθηκοειδών (φυλογενετικά το πλησιέστερο στον άνθρωπο είδος), όμως τα ζώα αυτά δεν είναι επαρκή ούτε σε αριθμό ούτε σε σωματικό μέγεθος. Επιπλέον, η χρησιμοποίησή τους γεννά ισχυρότερα ηθικά ζητήματα. Η χρησιμοποίηση χοίρων είναι ηθικά περισσότερο αποδεκτή, δεδομένου ότι εκτρέφονται και χρησιμοποιούνται για την τροφή του ανθρώπου. Το πρόβλημα με την ξενομεταμόσχευση οργάνων χοίρων είναι κατ' αρχάς η ύπαρξη στο ανθρώπινο αίμα προσχηματισμένων αντισωμάτων που καταστρέφουν σε λίγα λεπτά το μεταμοσχευμένο ζωικό όργανο. Γι' αυτό οι μεταμοσχεύσεις αυτές (σε αντίθεση με τις μεταμοσχεύσεις από άνθρωπο σε άνθρωπο ή από πίθηκο σε άνθρωπο) λέγονται ασύμφωνες. Εδώ μπορεί να μας βοηθήσουν οι μέθοδοι της γενετικής. Η ομάδα του Wallwork στο Κέμπριτζ πέτυχε την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων χοίρων, που τα κύπαρά τους φέρουν στην επιφάνειά τους ανθρώπινα μόρια, ώστε να μην αναγνωρίζονται ως ξένα από το ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα και επομένως να μην καταστρέφονται. Τα αρχικά πειράματα στην κατεύθυνση αυτή είναι ενθαρρυντικά, όμως εξακολουθούν να υπάρχουν πολύ σημαντικά εμπόδια. Η υπεροξεία απόρριψη μπορεί να ελεγχθεί, αλλά όχι και η οξεία και μακρόχρονη απόρριψη ενός ζωικού μοσχεύματος. Τα ανοσοκατασταλτικά φάρμακα που απαιτούνται για τις ξενομεταμοσχεύσεις είναι ιδιαίτερα ισχυρά και εκθέτουν τους λήπτες σε πολύ σοβαρότερο κίνδυνο λοιμώξεων. Είναι άγνωστο επίσης ποια θα είναι μακροπρόθεσμα η λειτουργία των οργάνων της καρδιάς ενός χοίρου σε έναν άνθρωπο. Τα αποτελέσματα μέχρι σήμερα δείχνουν ότι όλα τα πειραματόζωα (πίθηκοι) που έχουν δεχτεί καρδιακό μόσχευμα από χοίρους έχουν πεθάνει σε λιγότερο από 30 ημέρες. Έτσι, βρισκόμαστε



ακόμα πολύ μακριά από την κλινική εφαρμογή της ξενομεταμόσχευσης στον άνθρωπο, η προσπάθεια όμως προς αυτή την κατεύθυνση θα συνεχιστεί.

Τέλος, πρέπει να αναφερθούμε στις δυνατότητες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες της γενετικής και συγκεκριμένα της κλωνοποίησης (που σύντομα θα επιτρέψει την παραγωγή γενετικά τροποποιημένων χοίρων που φέρουν ανθρώπινα γονίδια). Η διαδικασία της κλωνοποίησης θεωρητικά μπορεί να περιλαμβάνει το εξής σχήμα: ο πυρήνας ενός σωματικού κυττάρου του υποψηφίου λήπτη μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα εμβρυικό ωάριο του οποίου έχει αφαιρεθεί ο πυρήνας, να διαφοροποιηθεί σε εμβρυονικά κύτταρα τα οποία να διαφοροποιηθούν περαιτέρω, π.χ. σε καρδιοεμβρυοκύτταρα, και τελικά να υπάρξει ένα ανοσολογικά απόλυτα συμβατό μόσχευμα για τον λήπτη. Η τεχνολογική δυνατότητα προς αυτή την κατεύθυνση θεωρητικά υφίσταται, αν και η πραγματοποίησή της σήμερα, το 2001, φαντάζει σαν όνειρο. Το μέλλον όμως ίσως δείξει ότι και το όνειρο αυτό μπορεί να γίνει πραγματικότητα.