



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: «Νεώτερα βιβλιογραφικά δεδομένα για την επίδραση της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό».

Νικόλαος Παπαδημητράκης του Γεωργίου (Α.Μ. 14056)



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Νικόλαος Θαλασσινός (Επίκουρος καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.)

ΑΘΗΝΑ 2022

Μέλη τριμελούς επιτροπής

A/a	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Νικόλαος Θαλασσινός	Καθηγητής/ Α' Επιβλέπων	
2	Φραγκίσκη Ανθούλη – Αναγνωστοπούλου	Καθηγήτρια/ Β' Επιβλέπουσα	
3	Πέτρος Παπαγιώργης	Λέκτορας/ Γ' Επιβλέπων	

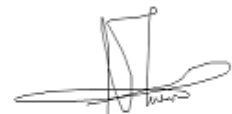
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Παπαδημητράκης Νικόλαος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 14056 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Βιοϊατρικών Επιστημών του Τμήματος Ιατρικών Εργαστηρίων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Περιεχόμενα	4
	Ευχαριστίες	7
A.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
B.	ΟΙ ΚΗΔΕΜΟΝΕΣ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	10
B.1.	Σύντομη ιστορική αναδρομή	10
B.2.	Sergei Sergeerich Brukhonenko.....	12
B.3.	Edward Delos Churchill	14
B.4.	John H. Gibbon	16
B.5.	Clarence Walton Lillehei	19
B.6.	Το πρώτο επιτυχημένο χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς χωρίς καρδιοπνευμονική παράκαμψη	21
Γ.	ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	22
Γ.1.	Ενδοσωματική κυκλοφορία του αίματος	22
Γ.2.	Εξωσωματική κυκλοφορία του αίματος	23
Γ.2.1.	Συμβατική εξωσωματική κυκλοφορία (CECC)	24
Γ.2.2.	Ελάχιστα επεμβατική εξωσωματική κυκλοφορία (MECC)	24
Γ.2.3.	Εξωσωματική οξυγόνωση μεμβράνης (ECMO)	25
Γ.3.	Σύγκριση της CECC με την MECC	26
Δ.	Η ΜΗΧΑΝΗ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	28
Δ.1.	Τα μέρη της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας	29
Δ.1.1.	Φλεβικοί καθετήρες ή κάνουλες	29
Δ.1.2.	Αρτηριακές κάνουλες	30
Δ.1.3.	Σωλήνες	31
Δ.1.4.	Περισταλτική αντλία	31
Δ.1.5.	Φυγόκεντρη αντλία	31
Δ.1.6.	Οξυγονωτής	32
Δ.1.7.	Δεξαμενή φλεβικού αίματος	33
Δ.1.8.	Φίλτρα	33
Δ.2.	Ο ρόλος του χειριστή της εξωσωματικής κυκλοφορίας.....	35
E.	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ	38

E.1.	Θετικές επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό	38
E.2.	Αρνητικές επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό	39
E.2.1.	Σύστημα πήξης και ινωδόλυσης	39
E.2.2.	Πεπτικό σύστημα	40
E.2.3.	Καρδιαγγειακό σύστημα	40
E.2.4.	Ενδοκρινικό σύστημα	42
E.2.5.	Ανοσοποιητικό σύστημα	43
E.2.6.	Αιμορραγία	44
E.2.7.	Καταστροφή των έμμορφων συστατικών του αίματος.....	44
E.2.8.	Εμβολισμός των αγγείων	45
E.2.9.	Υπεργλυκαιμία	46
E.2.10.	Επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό προερχόμενες από τη διασωλήνωση του ασθενή με τη μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας	47
E.2.11.	Αναφυλακτικό σοκ	47
E.2.12.	Υποξυγοναιμία	48
E.2.13.	Οξειδωτικό στρες	49
E.2.14.	Οξεοβασική ισορροπία.....	51
E.2.15	Διατάραξη των ηλεκτρολυτών.....	52
E.2.16.	Νεφροί.....	52
E.2.17.	Νευρολογικές επιπλοκές	52
E.2.18.	Συγκέντρωση βιταμινών στον ορό	53
E.2.19.	Σύνδρομο «ισχαιμίας – επαναιμάτωσης»	53
E.2.20.	Συσχέτιση συνδρόμου «ισχαιμίας-επαναιμάτωσης» με το «οξειδωτικό στρες»	53
E.2.21.	Σύνδρομο μετά από εξωσωματική κυκλοφορία	54
ΣΤ.	Συμπεράσματα	55
Z.	Περίληψη	56
ΣΤ.	Βιβλιογραφία	57

Σ τ ο υ ς γ ο ν ε ί ς μ ο υ
μ ε α γ ά π η

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τον σεβαστό μου καθηγητή κ. Νικόλαο Θαλασσινό για την αμέριστη συμπαράστασή του, τις σαφείς οδηγίες του καθώς και την υπομονή και την κατανόηση που έδειξε στο πρόσωπό μου κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Νιώθω επίσης την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Πέτρο Παπαγιώργη και στην κ. Φραγκίσκη Αναγνωστοπούλου-Ανθούλη ως μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου για την αγάπη τους και τη συμπαράστασή τους σε ηθικό και οικονομικό επίπεδο για όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το θείο μου κ. Δημήτριο Παπαδημητράκη καθώς και τη θεία μου Ζαχαρούλα Καφαντάρη για την συμπαράσταση, τη βοήθεια και την εμπύχωση που έλαβα από εκείνους για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τον 19^ο αιώνα, οι επιστήμονες καρδιοχειρουργοί αναζήτησαν τρόπους προκειμένου κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης ανοιχτής καρδιάς να μειώσουν το ποσοστό των αποτυχημένων χειρουργικών επεμβάσεων καθώς και των θανάτων που προκαλούσαν αυτές. Εδώ πραγματικά επισημαίνεται μία αμφίδρομη σχέση και πορεία μεταξύ της ιατρικής επιστήμης και της τεχνολογίας. Πρόκειται στην ουσία για μια σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο διαφορετικών αυτών κόσμων. Από τη μια η ιατρική επιστήμη προσπαθεί να σώσει τον άνθρωπο και από την άλλη η τεχνολογία βοηθάει προς την επίτευξη αυτού του σκοπού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι τα ποσοστά θανάτων από τις εγχειρήσεις ανοιχτής καρδιάς μειώνονται κάθε φορά που η τεχνολογία αναπτύσσεται σε τέτοια θαυμάσια επίπεδα, που δεν αφήνουν περιθώρια αμφισβήτησης στο γεγονός, ότι χωρίς την τεχνολογική εξέλιξη των ιατρικών μηχανημάτων τα ποσοστά θανάτων θα παρέμεναν πάντα σε υψηλά ποσοστά. Δεν μπορούμε βέβαια να παρακάμψουμε το γεγονός, ότι η τεχνολογική πρόοδος των ιατρικών μηχανημάτων δεν ήταν τυχαία, αλλά προϊόν έμπνευσης και αναζήτησης λύσεων στα προβλήματα που αντιμετώπιζαν οι ίδιοι οι καρδιοχειρουργοί στο παρελθόν προκειμένου να πετύχουν το σκοπό τους, που δεν ήταν άλλος από την παράταση της ζωής του ανθρώπου. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετώπιζαν οι καρδιοχειρουργοί στο παρελθόν, ήταν ότι κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης η πάλλουσα καρδιά και παράλληλα η συνεχής ροή του αίματος δεν άφηνε πολλά περιθώρια επιτυχίας της επέμβασης. Αυτό λοιπόν που αναζήτησαν οι καρδιοχειρουργοί ήταν, το πώς η τεχνολογία των μηχανημάτων θα βοηθούσε προς τον σκοπό αυτό, δηλαδή στο πώς θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ένα χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς χωρίς η καρδιά να πάλλεται και χωρίς το αίμα να ρέει μέσα από την καρδιά. Αυτός ακριβώς ο προβληματισμός οδήγησε την τεχνολογία στην κατασκευή ενός μηχανήματος, διά του οποίου ο καρδιοχειρουργός θα μπορούσε να πραγματοποιήσει μία επέμβαση, στην ουσία αναίμακτη, αφού διά του μηχανήματος αυτού πέτυχαν να παρακάμψουν τη λειτουργία της καρδιάς και των πνευμόνων χωρίς όμως τα δύο αυτά ζωτικά όργανα του ανθρώπινου σώματος να νεκρωθούν, αφού προσωρινά το ρόλο τους αντικατέστησε το συγκεκριμένο μηχάνημα. Το μηχάνημα αυτό ονομάστηκε «μηχανή εξωσωματικής κυκλοφορίας» διότι το αίμα του ασθενή μεταφέρεται έξω από το σώμα του και διατηρείται μέσα στο

κύκλωμα αυτής της μηχανής, την οποία δεν θα ήταν υπερβολή εάν την χαρακτηρίζαμε ως μία επαναστατική ανακάλυψη, που διακρίνει και σηματοδοτεί το δυτικό πολιτισμό.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πρέπει να υπογραμμισθεί ότι κατά τη διάρκεια της έρευνάς μου εντοπίστηκαν στη σχετική βιβλιογραφία τόσες πληροφορίες, που απεικόνιζαν την αγωνία, αλλά και τα πειράματα ορισμένων καρδιοχειρουργών του 19^{ου} αιώνα, προς την επίτευξη αυτού του σκοπού, που με οδήγησαν στην απόφαση να αφιερώσω για τους ίδιους το κεφάλαιο Β με τον τίτλο «Οι κηδεμόνες της εξωσωματικής κυκλοφορίας», καθώς και το κεφάλαιο Δ για την εξέλιξη των μηχανών με τον τίτλο «Η μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας».

Στο κεφάλαιο Ε αποτύπωσα αναφορές της σύγχρονης βιβλιογραφίας σχετικά με τις επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό, τις οποίες διέκρινα σε θετικές και αρνητικές. Ωστόσο, έμεινα έκπληκτος όταν διαπίστωσα ότι οι αρνητικές επιδράσεις, που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία, υπερτερούν έναντι των θετικών επιδράσεων στον ανθρώπινο οργανισμό. Ίσως αυτή η διαπίστωση να εκληφθεί από τον αναγνώστη ως μία παράμετρος αρνητική για τον χαρακτηρισμό της εξωσωματικής κυκλοφορίας ως πραγματικού επιτεύγματος ή όχι. Στην πραγματικότητα όμως, εάν λάβουμε υπόψη τη λεπτή διαχωριστική γραμμή μεταξύ ζωής και θανάτου, η εξωσωματική κυκλοφορία αποτελεί πράγματι ένα από τα σημαντικά επιτεύγματα τόσο της ιατρικής επιστήμης όσο και της τεχνολογίας υπέρ της ζωής του ανθρώπου.

B. ΟΙ ΚΗΛΕΜΟΝΕΣ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

B.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η πιο πρωτόγονη ιδέα της εξωσωματικής κυκλοφορίας προήλθε το **1813** από τον **Le Gallois** όταν διατύπωσε την έννοια της ζωτικότητας ενός οργάνου μέσω της εξωσωματικής κυκλοφορίας.

Μια αντίστοιχη ιδέα έγινε πράξη από τον **Charles-Édouard (Brown-Séquard)**¹ το **1858**, όταν ο ίδιος χρησιμοποιούσε ακρωτηριασμένα μέλη θανατοποινιτών και μελετούσε την ανταντακλαστικότητα των νεύρων καθώς αυτά τροφοδοτούνταν με οξυγονωμένο αίμα μέσω τεχνητής κυκλοφορίας που επιτυγχάνονταν μέσω συριγγών.

Μετά από μια δεκαετία, το **1868**, περιεγράφηκε για πρώτη φορά από τους **Ludwig και Schmidt**, μια συσκευή που θα μπορούσε να αιματώνει ένα απομονωμένο όργανο μέσω μιας δεξαμενής με οξυγονωμένο αίμα, ώστε να διατηρείται ζωτικό.

Η κατασκευή του πρώτου κυκλώματος εξωσωματικής κυκλοφορίας πραγματοποιήθηκε από τους **Max von Frey**² και **Max Gruber** το **1885**. Η οξυγόνωση πραγματοποιούνταν μέσω λεπτής στρώσης αίματος όταν αυτή περνούσε από το εσωτερικό τοίχωμα ενός περιστρεφόμενου κυλίνδρου. [10]

Ο Max von Frey κατασκεύασε ένα χειροκίνητο σύστημα με χαρακτήρα τεχνητού πνεύμονα και υποκινητή της κυκλοφορίας του αίματος που θα μπορούσε να διατηρεί

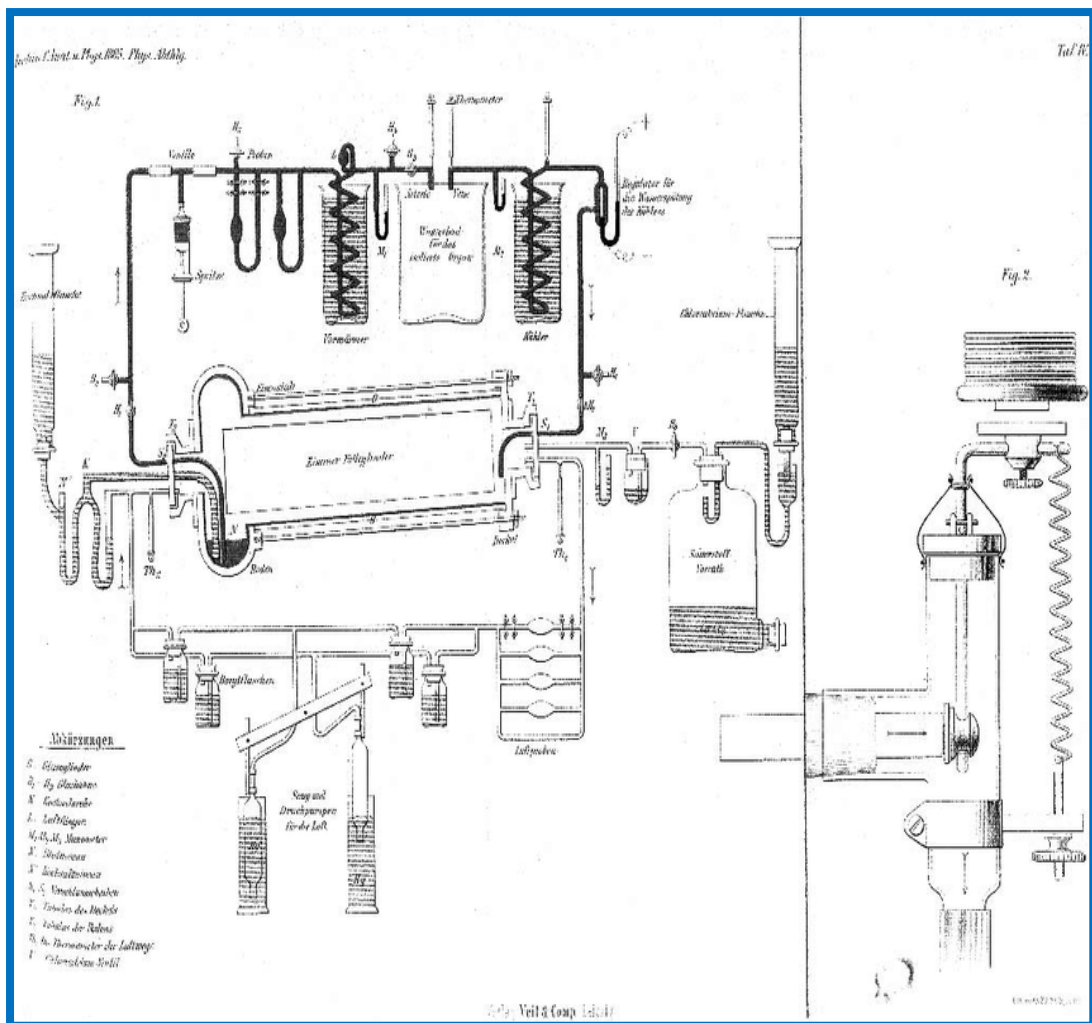
¹ Ο Charles-Édouard Brown-Séquard FRS ήταν ένας Μαυρικός φυσιολόγος και νευρολόγος, ο οποίος, το 1850, έγινε ο πρώτος που περιέγραψε αυτό που τώρα ονομάζεται σύνδρομο Brown-Séquard. Γεννήθηκε 8 Απριλίου 1817 (Πορτ. Λούις, Μαυρικός). Απεβίωσε 2 Απριλίου 1894 (Σο, Γαλλία). [Πηγές: 1) Brown-Sequard, C. E. (1851). De la transmission croisée des impressions sensibles par la moelle épinière. *Comptes rendus de la Société de biologie*, 2, 33-44., 2) Ruch, T. C. (1946). Charles Edouard Brown-Séquard (1817-1894). *The Yale journal of biology and medicine*, 18(4), 227.]

² Ο Maximilian Ruppert Franz von Frey ήταν Αυστρο-Γερμανός φυσιολόγος που γεννήθηκε στο Σάλτσμπουργκ. Έλαβε το διδακτορικό του από το Πανεπιστήμιο της Λειψίας το 1877 και στη συνέχεια εργάστηκε στο Φυσιολογικό Ινστιτούτο του Carl Ludwig στη Λειψία. Γεννήθηκε 16 Νοεμβρίου 1852 (Σάλτσμπουργκ, Αυστρία). Εκπαιδεύτηκε στο Πανεπιστήμιο της Λειψίας στον τομέα της φυσιολογίας. Απεβίωσε 25 Ιανουαρίου 1932 (Βίρτσμπουργκ, Γερμανία). [Πηγές: 1) Hurst, J. W., Fye, W. B., & Zimmer, H. G. (2003). The heart-lung machine was invented twice—the first time by Max von Frey. *Clinical cardiology*, 26(9), 443., 2) NorrSELL, U., Finger, S., & Lajonchere, C. (1999). Cutaneous sensory spots and the “law of specific nerve energies”: history and development of ideas. *Brain research bulletin*, 48(5), 457-465.]

ένα όργανο ζωντανό. Σε συνεργασία με τον Max Gruber, οι δυνατότητες της πρώιμης εξωσωματικής κυκλοφορίας εφαρμόστηκαν πειραματικά σε σκύλους.

Η άντληση του αίματος πραγματοποιούνταν χειροκίνητα μέσω συρίγγων με ιδιότητες πίεσης-αναρρόφησης. Το ήμισυ του σώματος ενός σκύλου τέθηκε σε εξωσωματική κυκλοφορία με το σύστημα του Frey. Η ακατάσχετη αιμορραγία του ζώου ήταν το δυσμενές αποτέλεσμα του πειράματος. [5]

Εικόνα B.1: Η συσκευή των Max von Frey και Max Gruber.³

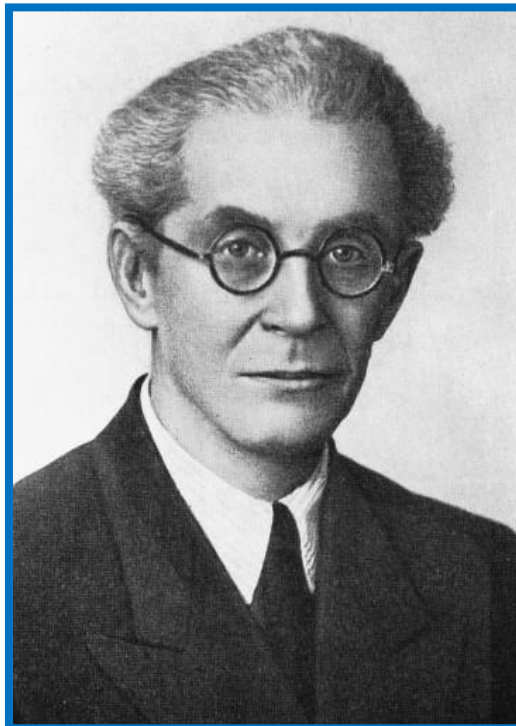


³ Εικόνα B.1. Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-respiration-apparatus-of-von-Frey-and-Gruber-1885-a-precursor-of-todays_fig5_8978872

B.2. Sergei Sergeerich Brukhonenko⁴

Ο **Sergei Sergeerich Brukhonenko** κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου άσκησε τις ιατρικές του δεξιότητες στον στρατό. Υπήρξαν περιπτώσεις τραυματιών πολέμου που δεν μπορούσε να διαχειριστεί όπως τραύματα που αφορούσαν κεντρικά αγγεία, τον θώρακα ή την καρδιά και έτσι αναζήτησε τρόπους καρδιοπνευμονικής παράκαμψης μέσω εξωσωματικής κυκλοφορίας. Το 1923 μελετούσε ένα φάρμακο, την σουραμίνη, στο ιστιτούτο χημείας και φαρμακολογίας της Μόσχας. Όταν ανακάλυψε τις αντιπηκτικές ιδιότητες της σουραμίνης αποφάσισε να το εφαρμόσει κατά την εκτέλεση της εξωσωματικής κυκλοφορίας ως αντιθρομβωτικό. [10]

Εικόνα B.2: Sergei Sergeerich Brukhonenko.⁵



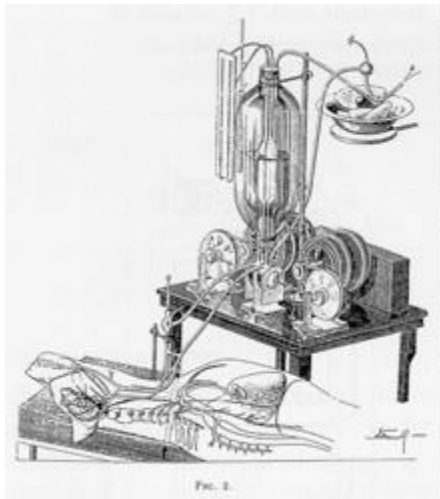
⁴Ο Sergei Sergeerich Brukhonenko γεννήθηκε το 1890 στο Kozlov της Ρωσίας και πέθανε το 1960 στη Μόσχα. Στην εφηβική του ηλικία κατασκεύασε το πρώτο του δημιούργημα, ένα ποδήλατο. Σπούδασε την Ιατρική επιστήμη στη Μόσχα απ' όπου αποφοίτησε το 1914. Κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου υπηρέτησε στο στρατό ως γιατρός. Από το 1919 έως το 1926 υπήρξε καθηγητής στο τμήμα κλινικής παθολογίας και θεραπείας του στρατιωτικού νοσοκομείου στο Lefortovo της Μόσχας. [Πηγή: <https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975%2800%2901091-2/fulltext>]

⁵ Εικόνα B.2. [Πηγή: <https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975%2800%2901091-2/fulltext>]

Κατά τη διάρκεια των ερευνών του ο Brukhonenko κατασκεύασε 3 μοντέλα μηχανών:

1. Το πρώτο μοντέλο αυτοματοποιημένης μηχανής κατασκευάστηκε μεταξύ 1922-1924. Η συσκευή λειτουργούσε μέσω ενός ηλεκτρικού μοτέρ. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της μηχανής του ήταν ο αυτόματος έλεγχος της αρτηριακής πίεσης της κεφαλής του σκύλου μέσω ενός ρυθμιστή έγχυσης. Γι' αυτό αποκαλέστηκε Autojector (auto + injector). Το αντιπηκτικό που χρησιμοποιούσε ήταν το κιτρικό νάτριο το οποίο αποδείχθηκε τοξικό αφού η κατάλληλη δόση για την σωστή του δράση ήταν υπερβολική για το σκύλο. Ο οξυγονωτής φυσαλίδων δεν ήταν ακόμα σε θέση να οξυγονώσει μεγάλα ποσά αίματος.

Εικόνα Β.3: Πείραμα αναβίωσης σκύλου μέσω του Autojector.⁶



Εικόνα Β.4: Διατήρηση ασώματης κεφαλής σκύλου με το Autojector.⁷



2. Στο δεύτερο μοντέλο τροποποίησε το πείραμά του χρησιμοποιώντας απομονωμένους πνεύμονες άλλου σκύλου δότη και νέα αντιπηκτικά βασισμένα στη σελουλόζη. Τον Μάιο του 1926 διατήρησαν ζωτική την κεφαλή ενός σκύλου όσο αυτή ήταν συνδεδεμένη και τροφοδοτούνταν με τη μηχανή του. Έτσι αποδείχθηκε ότι η εξωσωματική αιμάτωση με αυτό τον τρόπο είναι ικανή να κρατήσει στη ζωή έναν ολόκληρο εγκέφαλο.

⁶ Εικόνα Β.3. Πηγή: [[https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975\(00\)01091-2/fulltext#FIG3](https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975(00)01091-2/fulltext#FIG3), Fig 3]

⁷ Εικόνα Β.4. Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Experiments_in_the_Revival_of_Organisms]

3. Το τρίτο μοντέλο του Autojector σχεδιάστηκε τον Νοέμβριο του 1926 και ήταν ικανό να εκτελέσει θεαματικά πειράματα. Το πιο διαδεδομένο από αυτά εμπειρείχε την περίπτωση ενός ολόσωμου σκύλου ο οποίος συνδέθηκε ζωντανός με την μηχανή όπου τη δεδομένη στιγμή λειτουργούσε σαν επέκταση της κυκλοφορίας του. Αυτό αποκαλέστηκε «**παράλληλη κυκλοφορία**». Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αφαίμαξη του ζώου με αποτέλεσμα την ηθελημένη διακοπή της καρδιάς του. Την ίδια στιγμή η μηχανή εσκεμμένα σταμάτησε να λειτουργεί για περίπου 2-8 λεπτά. Με την επανέναρξη της μηχανής οι καρδιοαναπνευστικές λειτουργίες του ζώου επανήλθαν και συνεχίστηκε η παράλληλη κυκλοφορία ώσπου αναβίωσε χωρίς να γίνεται αναφορά σε μετεγχειρητικές επιπλοκές.

Παρόμοια πειράματα συνεχίστηκαν μέχρι τον Φεβρουάριο του 1927 σε 8 περιπτώσεις ζώων. Παρόλα αυτά, η συσκευή δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ σε περιπτώσεις ανθρώπων ασθενών.

Ο Brukhonenko με απώτερο σκοπό να βελτιώσει τη μηχανή του κατασκεύασε έναν οξυγονωτή φυσαλίδων το 1936. Έτσι τα πειράματά του εκτελούνταν πλέον με επιτυχία και χωρίς μετεγχειρητικές επιπλοκές. Όμως ο 2^{ος} παγκόσμιος πόλεμος αναχαίτισε την απόπειρά του να εγκαθιδρύσει την μηχανή στην κλινική πράξη.

Το 1958 κατασκεύασε δύο νέες μηχανές Autojector ικανές να εφαρμοστούν στην κλινική πράξη για παιδιά και ενήλικες. Αυτό δεν πρόλαβε να γίνει εφικτό αφού εκείνη την περίοδο ασθένησε και τελικά πέθανε το 1960 από καρκίνο του πρωκτού.

[11]

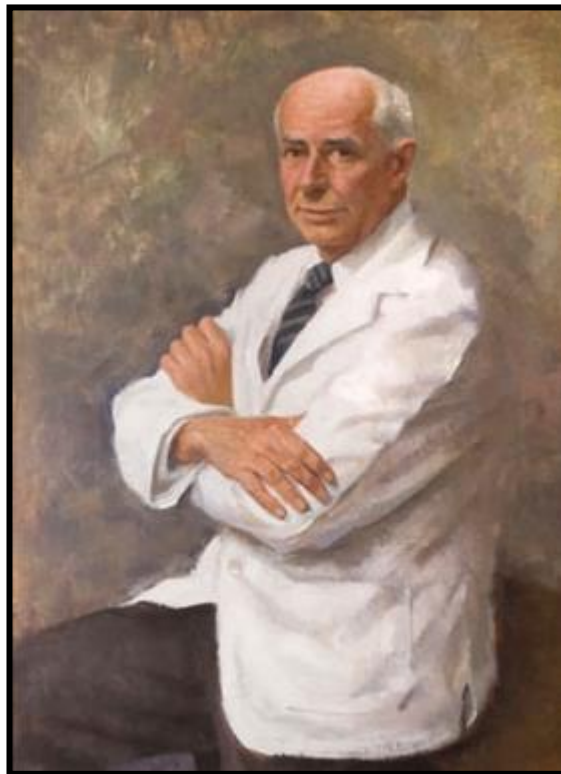
B.3. Edward Delos Churchill⁸

Στις 3 Οκτωβρίου του **1931**, ο θωρακοχειρουργός **Edward Delos Churchill** διάγνωσε πνευμονική εμβολή σε γυναίκα 53 ετών έπειτα από χολοκυστεκτομή στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης. Η κατάστασή της επιδεινώθηκε και επήλθε η καταστολή της στις 4 Οκτωβρίου.

⁸ Ο Edward Delos Churchill ήταν Αμερικανός χειρουργός. Γεννήθηκε 25 December 1895 (Chenoa, Illinois). Απεβίωσε 28 Αυγούστου 1972 [Πηγές: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1553350620950908> ή <https://sci-hub.yncjkj.com/10.1177/1553350620950908>].

Αν και υπεράνθρωπες οι προσπάθειες για εμβολεκτομή με σκοπό τη διάσωσή της, η γυναίκα κατέληξε την ίδια μέρα. Έπειτα από αυτό, ο Churchill και το πλήρωμά του διερωτήθηκαν αν θα μπορούσε να υπάρξει ένα εξωσωματικό σύστημα που να διατηρεί τη φυσιολογία της αιματικής κυκλοφορίας έως την περάτωση της εμβολεκτομής και συνεπώς την επιβίωσή της.

Εικόνα Β.5.: Edward Delos Churchill⁹



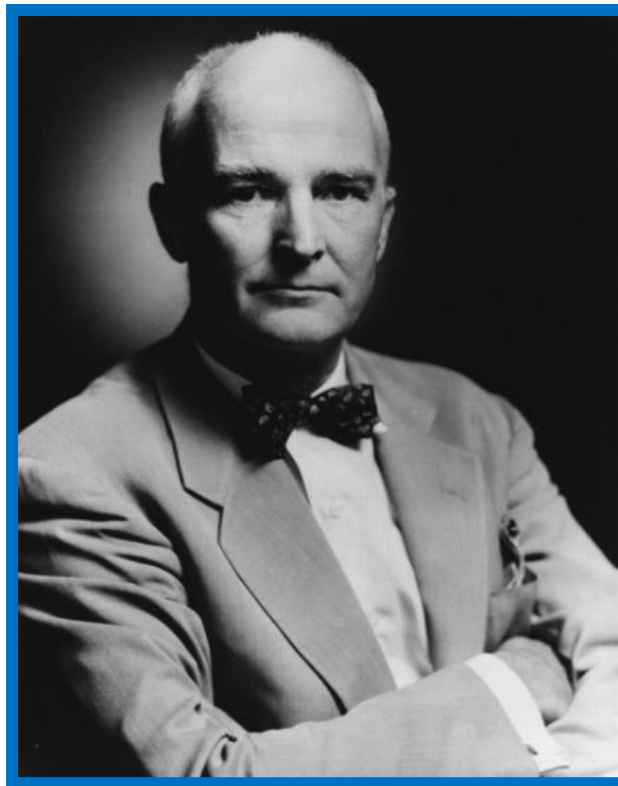
⁹ Εικόνα Β.5.:

Πηγή: <http://history.massgeneral.org/catalog/Detail.aspx?itemId=119&searchFor=churchill#>

B.4. John H. Gibbon¹⁰

Την ίδια περίοδο εμφανίζεται ο **John H. Gibbon**, μαθητής και συνεργάτης του Edward Delos Churchill, ο οποίος σύμφωνα με την παγκόσμια βιβλιογραφία θεωρείται ο πατέρας της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Υπήρξε ένας σπουδαίος ερευνητής και πρωτοπόρος στη μηχανή εξωσωματικής κυκλοφορίας αφού με την εξελιγμένη του μηχανή ξεκίνησε μια νέα χρυσή εποχή για την καρδιοχειρουργική. [6]

Εικόνα B.6: John Heysham Gibbon.¹¹



¹⁰ Ο Αμερικανός ιατρός John Heysham Gibbon θεωρείται εμβληματικό πρόσωπο στην ιατρική κοινότητα αφού κατόρθωσε καρδιοπνευμονική παράκαμψη μέσω της μηχανής εξωσωματικής κυκλοφορίας που επινόησε για τα χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς τον 20^ο αιώνα και έκτοτε άνοιξε τον δρόμο για κατά συρροή χειρουργεία τέτοιων επεμβάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Γεννήθηκε 29 Σεπτεμβρίου 1903 στη Φιλαδέλφεια, Πενσυλβάνια των ΗΠΑ). Εκπαιδεύτηκε στο Πανεπιστήμιο του Πρίνστον, στο Πανεπιστήμιο του Thomas Jefferson και στο William Penn Charter School. Βραβεύτηκε με τα Βραβεία Λάσκερ Ντεμπέικι Κλινικής ιατρικής έρευνας, διεθνές βραβείο Γκάρντνερ, βραβείο Ντίκσον στην ιατρική. Βιβλίο: Surgery of the Chest. Απεβίωσε 5 Φεβρουαρίου 1973, στην Πενσυλβανία, ΗΠΑ [Πηγή: <http://awardsandwinners.com/winner/?name=john-heysham-gibbon&mid=/m/05pg46>]

¹¹ Εικόνα B.6.:

Πηγή: https://library.jefferson.edu/archives/exhibits/notable_alumni/john_gibbon_jr.cfm

Παράλληλα με την αδιάκοπη έρευνά του για την βελτιστοποίηση της μηχανής, ο John Gibbon κατά τα τέλη της δεκαετίας του 40' προσέγγισε την **IBM**¹² με σκοπό την εξέλιξη της μηχανής σε επίπεδο που να μπορεί να εφαρμοστεί πλέον σε καρδιοχειρουργεία ανθρώπων.

Η μηχανή που κατασκευάστηκε στις προδιαγραφές του ανθρώπου μετά την συνεργασία του με την IBM, δεν απέδωσε. Έτσι ο Gibbon συνέχισε τις προσπάθειες στον δικό του εργαστηριακό χώρο μέχρις ότου κατόρθωσε να κατασκευάσει την δική του μηχανή καρδιοπνευμονικής παράκαμψης το 1950 με σχετικά απογοητευτικά αποτελέσματα σε διάφορους ασθενείς με την εφαρμογή στα χειρουργεία. [7]

Πρώιμη καθώς ήταν ακόμη η ιδέα για ένα τέτοιο σύστημα, ο John H. Gibbon, επιχείρησε να αναπτύξει περαιτέρω την ιδέα. Στα πλαίσια των ερευνών του, το 1934, ο J. Gibbon εφάρμοσε αυτό το σύστημα σε ένα αιλουροειδές πειραματόζωο αφού διέκοψε με τεχνητό τρόπο την ροή του αίματος από την πνευμονική αρτηρία της καρδιάς προς τους πνεύμονες. Αυτό επιτεύχθηκε για 2 ώρες και 51 λεπτά.

Στις 27 Μαρτίου του 1953 εισήχθη στο νοσοκομείο μία νεαρή κοπέλα 18 ετών, η Cecelia Bavolek, με μεσοκοιλιακή επικοινωνία. Σε λιγότερο από δύο μήνες, την 6 Μαΐου 1953 υποβλήθηκε σε χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς. Αφού της χορηγήθηκαν μορφίνη και ατροπίνη ως προεγχειρητική φαρμακευτική αγωγή και έπειτα 2 gr βαρβιτουρικών (thiopental) για να πραγματοποιηθεί ομαλά η γενική αναισθησία, διασωληνώθηκε με ενδοτραχειακό εξαερισμό και ξεκίνησε η επέμβαση. Χρειάστηκαν 45 λεπτά για την καρδιοπνευμονική παράκαμψη. Η εξωσωματική κυκλοφορία επιτεύχθηκε επιτυχώς για 26 λεπτά. Στο ενδιάμεσο η Cecelia δέχθηκε 3 φιάλες αίματος και 500 ml διάλυμα δεξτρόζης (dextrose 5%). Αυτή η μέρα, 6 Μαΐου 1953, ανακήρυξε το πρώτο επιτυχημένο χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς για τον John H. Gibbon με την παρέμβαση της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας αφού η ασθενής εξήλθε του νοσοκομείου υγιής.

¹² Η IBM (International Business Machines Corporation) ιδρύθηκε στην πολιτεία της Νέας Υόρκης το 1911. Ειδικεύεται στην παραγωγή τεχνολογικών προϊόντων όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Αρχικά, η εταιρεία ονομαζόταν Computing-Tabulating-Recording Company, αλλά από το 1924 έως σήμερα ονομάζεται IBM [Πηγή: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41295889/IBM_dahs_Volume-01_505-506-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642588551&Signature=Ty~-7tk9fQOSm7jeSJNiS9ZPYzGVKsCN3LbTTYH~Vyb36OICXKsvZDN8DQaiqTfe9aPoYttTJp7AvKcNaznFRCXX~3bQFaIMt7XkzGGTDB8CBj4BAOchq3nqhWHpZfkOrgbThuw205Ebs-70t3Fc0QH6fuzKywcyN2mz6a~aVN-ZPcDvggxawoI01ffegX7jAb5TqfoM0qkmqAKN8eACNasJvFJ~MKoLP68y256dERNKcjoyGka6dTfFV0sDoNv5JR7Kzi6NEsLphktGPrXr~v9e5-2voFPeTvdHuB8CZ6wX-lzzkvU24c073Xrszq6sfkE0Ntg~pQ6u~QNtQfDUxA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA]

Εικόνα B.7: John H. Gibbon with Cecelia Bavolek¹³



Μετά από το αξιοσημείωτο αυτό γεγονός, ο Gibbon εφάρμοσε την ίδια τεχνική σε τέσσερις ακόμα περιπτώσεις ασθενών με απογοητευτικά όμως αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό οδήγησε τον ίδιο στο συμπέρασμα ότι η μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας χρίζει βελτιστοποίησης.

Με την πάροδο των χρόνων καθώς ο Gibbon τελειοποιούσε το έργο του, συνεργάστηκε με την Mayo clinic με σκοπό την είσοδο μίας πιο προηγμένης μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας στα πρότυπα αυτής του Gibbon, στον χώρο της χειρουργικής. Έτσι, δημιουργήθηκε το μοντέλο Mayo-Gibbon ικανό να συνοδεύει χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς όπως στην περίπτωση διόρθωσης μεσοκολπικής επικοινωνίας.

¹³ Εικόνα B.7.:

Πηγή: <https://jdc.jefferson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=jeffhistoryposters>

Εικόνα Β.8: Mayo-Gibbon Heart-Lung Machine.¹⁴



Στις 23 Μαρτίου 1955 πραγματοποιήθηκε τέτοιας φύσεως επέμβαση, για πρώτη φορά με επιτυχία από τον John Kirklin. [6] Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επόμενα πιο εξελιγμένα μοντέλα βασίστηκαν στο δεύτερο μοντέλο της μηχανής εξωσωματικής κυκλοφορίας του John H. Gibbon.[7]

B. 5. Clarence Walton Lillehei

Το 1954 ο **Clarence Walton Lillehei** επινόησε ένα άλλο μοντέλο εξωσωματικής κυκλοφορίας που καλείται «διασταυρούμενη ή διαγώνια κυκλοφορία». [8]

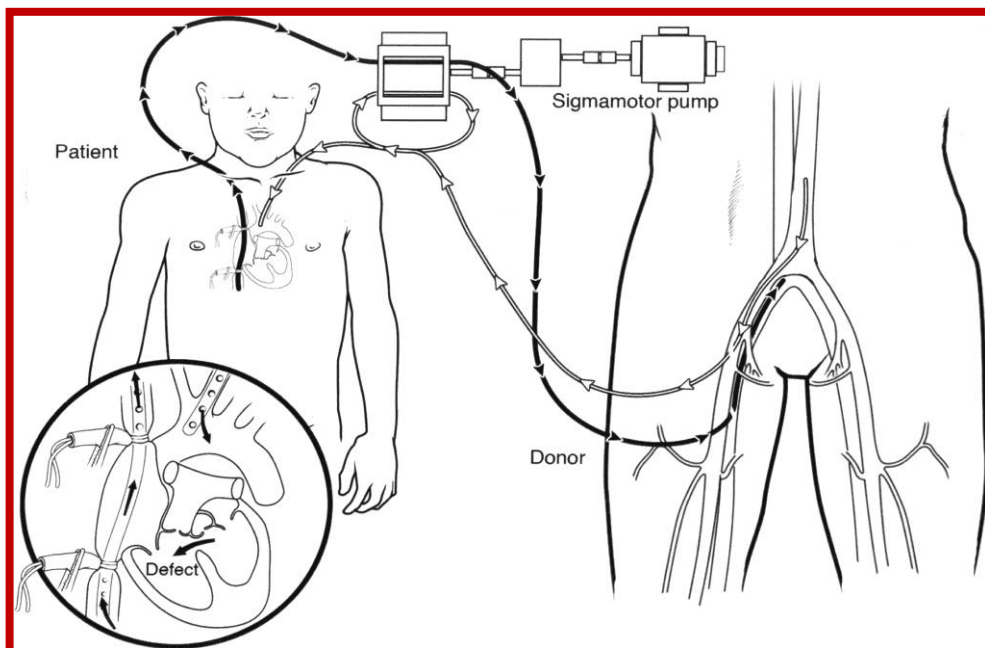
¹⁴ Εικόνα Β.8. Πηγή: [https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1213038]

Εικόνα Β.9: Clarence Walton Lillehei-University of Minnesota.¹⁵



Η διασταυρούμενη κυκλοφορία είναι η διαμοίραση της κυκλοφορίας μεταξύ δύο ανθρώπων. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τη θεραπεία ασθενών με καρδιακά προβλήματα μέσω υγρών δοτών. [9]

Εικόνα Β.10: Διασταυρούμενη Κυκλοφορία.¹⁶



¹⁵ Εικόνα Β.9. Πηγή: [<https://www.heart.umn.edu/about/c-walton-lillehei-phd-md>]

¹⁶ Εικόνα Β.10. Πηγή: [<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.830174>]

Την εφάρμοσε σε συνδυασμό με τον οξυγονωτή φυσαλίδων το 1954 σε 45 ασθενείς στην ιατρική σχολή του πανεπιστημίου της Μινεσότα.

Αν και τα ποσοστά θνησιμότητας αποδείχθηκαν υψηλότατα, το παροδικό πέρασμα της ώθησε σε διαρκή εξέλιξη τα χειρουργεία καρδιάς. [8]

B.6. Το πρώτο επιτυχημένο χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς χωρίς καρδιοπνευμονική παράκαμψη.

Ένα αξιοσημείωτο γεγονός έλαβε χώρα στις 10 Ιουλίου 1893 στο Provident Hospital του Chicago.[31] Κεντρικός ήρωας εκείνης της ημέρας ήταν ο Dr. Daniel Hale Williams όπου εκτέλεσε με επιτυχία το πρώτο χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς [32] στο νεαρό James Cornish που υπέστη τραυματισμό περικαρδίου από εισαγωγή μαχαιριού. [33]

Αξίζει να σημειωθεί πως εκείνη την περίοδο δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η πενικιλίνη ως αντιβιοτικό αφού αυτή ανακαλύφθηκε το 1928 [34] και οι μεταγίσεις αίματος δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με ασφάλεια αφού το σύστημα ABO ανακαλύφθηκε το 1900, ενώ η διαπίστωση ότι το αίμα ενός ασθενή σε ανάγκη δέχεται συγκεκριμένη ομάδα ερυθρών για να είναι συμβατή, το 1910.[35] Επίσης, η εξωσωματική κυκλοφορία ήταν ακόμα μία ιδέα όταν η θεραπευτική της εφαρμογή σε άνθρωπο πραγματοποιείται το 1953.[6] Παρόλες τις αντιξοότητες, ο Dr. Williams κατάφερε να θεραπεύσει τον ασθενή επιτρέποντάς του να επιστρέψει στην καθημερινότητά του υγιής.[33]

Γ. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Γ.1. Ενδοσωματική κυκλοφορία του αίματος

Αν και ο επιστημονικός όρος που έχει επικρατήσει για τη διαδικασία που ακολουθείται όταν το αίμα κυκλοφορεί μέσα στο ανθρώπινο σώμα ονομάζεται «καρδιαγγειακό σύστημα», στην παρούσα εργασία την ονομάζουμε «ενδοσωματική κυκλοφορία του αίματος» για να κατανοηθεί ευκολότερα ο όρος της «εξωσωματικής» κυκλοφορίας».

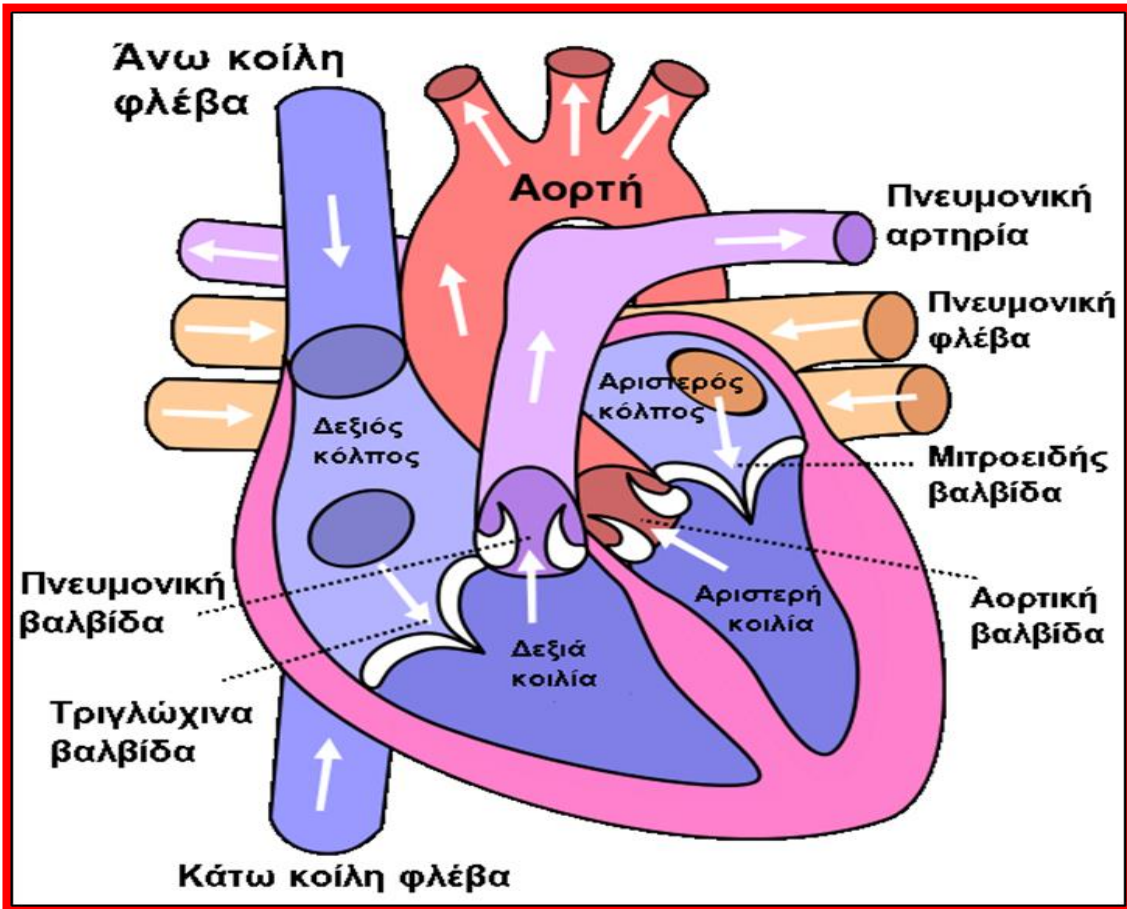
Αναλυτικότερα, η καρδιά αποτελείται από τις εξής τέσσερις κοιλότητες:

- ✓ Τους δύο κόλπους και
- ✓ Τις δύο κοιλίες.

Για την προώθηση του αίματος από την καρδιά προς κάθε άλλο σημείο του σώματος, οι δύο κοιλίες λειτουργούν ως αντλίες.

Αυτή η διαδικασία της προώθησης του αίματος από την καρδιά σε κάθε άλλο σημείο του σώματος και την επιστροφή του στην καρδιά, ονομάζεται «κυκλοφορικό σύστημα» και διακρίνεται σε δύο τομείς:

- στον τομέα της πνευμονικής κυκλοφορίας και
- στον τομέα της συστηματικής κυκλοφορίας.
 - ✓ Η πνευμονική κυκλοφορία είναι ένα σύστημα που προωθεί το αποξυγονωμένο αίμα της δεξιάς κοιλίας (προερχόμενο από το δεξιό κόλπο) προς τους πνεύμονες για οξυγόνωση μέσω των πνευμονικών αρτηριών και από εκεί προς τον αριστερό κόλπο μέσω των πνευμονικών φλεβών.
 - ✓ Στην περίπτωση της συστηματικής κυκλοφορίας το οξυγονωμένο (αρτηριακό) αίμα συλλέγεται στην αριστερή κοιλία (μέσω του αριστερού κόλπου) από την επιστροφή της πνευμονικής κυκλοφορίας. Από εκεί αντλείται προς την περιφέρεια του σώματος μέσω της αορτής και των παρακείμενων κλάδων της για την οξυγόνωση όλων των ιστών του σώματος. Από την ανταλλαγή των αερίων που επιτυγχάνεται μεταξύ των τριχοειδών αγγείων, το αίμα επιστρέφει φτωχό σε οξυγόνο στον δεξιό κόλπο. [1]

Εικόνα Γ.1: Τα μέρη της καρδιάς.¹⁷

Γ.2. Εξωσωματική κυκλοφορία του αίματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εξωσωματική κυκλοφορία, είναι ένα σύστημα προσωρινής παράκαμψης της καρδιάς και των πνευμόνων. Σε αντίθεση με την ενδοσωματική κυκλοφορία, στην εξωσωματική κυκλοφορία τον ρόλο της άντλησης και της οξυγόνωσης του αίματος αναλαμβάνει ο χειριστής με τη μηχανή εξωσωματικής κυκλοφορίας.[2] Έτσι, υποκαθίσταται η λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος με σκοπό την εκτέλεση ασφαλών καρδιοχειρουργικών επεμβάσεων.[3]

Η εξωσωματική κυκλοφορία του αίματος διακρίνεται στα εξής τρία είδη:

- α) Στην «συμβατική»,
- β) στην «ελάχιστα επεμβατική» εξωσωματική κυκλοφορία και
- γ) στην «εξωσωματική οξυγόνωση μεμβράνης».

¹⁷ Εικόνα Γ.1. Πηγή: <https://nurseslabs.com/cardiovascular-system-anatomy-physiology/>

Γ.2.1. «Συμβατική» εξωσωματική κυκλοφορία [Conventional Extracorporeal Circulation (CECC)]

Είναι γνωστό πως η **συμβατική** εξωσωματική κυκλοφορία ήρθε πρώτη στο χώρο της καρδιοχειρουργικής μετά την επιτυχή διόρθωση μεσοκολπικής επικοινωνίας της 18χρονης ασθενούς το 1953. Έκτοτε, πραγματοποιούνται χιλιάδες χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς σε αναίμακτο χειρουργικό πεδίο με ελάχιστα ποσοστά θνησιμότητας. [28]

Παρά τα θεραπευτικά της αποτελέσματα, οι διεγχειρητικές και μετεγχειρητικές επιπλοκές που λαμβάνουν χώρα κατά καιρούς, οδήγησαν στην ανάγκη εξάλειψής τους δημιουργώντας ένα πιο προηγμένο μοντέλο εξωσωματικής κυκλοφορίας, αυτό της ελάχιστα επεμβατικής.[28]

Γ.2.2. «Ελάχιστα επεμβατική» εξωσωματική κυκλοφορία [Minimal Extracorporeal Circulation (MECC)]

Ένα κύκλωμα «ελάχιστα επεμβατικής» εξωσωματικής κυκλοφορίας διαθέτει:

- ✓ ηπαρινισμένες¹⁸ επιφάνειες,
- ✓ ηπαρινισμένο οξυγονωτή μεμβράνης,
- ✓ εναλλάκτη θερμοκρασίας,
- ✓ φυγόκεντρη αντλία,
- ✓ παγιδευτή φουσαλίδων,
- ✓ ένα σύστημα για τη χορήγηση της καρδιοπληγίας
- ✓ και φυσικά μία συσκευή συλλογής του αίματος του μεσοθωρακίου.

Αρχικά ξεκίνησε ως υποστηρικτικό σύστημα της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια χειρουργείων με πάλλουσα καρδιά. Έκτοτε, έχει υποστεί εκτεταμένες διορθωτικές και εξελικτικές παρεμβάσεις με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οι ακόλουθοι τέσσερις τύποι της ελάχιστα επεμβατικής εξωσωματικής κυκλοφορίας:

- ✓ **ΤΥΠΟΣ Ι:** Με την προσθήκη του συστήματος της καρδιοπληγίας πήρε τη μορφή μιας ολοκληρωμένης εξωσωματικής κυκλοφορίας.
- ✓ **ΤΥΠΟΣ ΙΙ:** Στη συνέχεια εξελίχθηκε περαιτέρω με την προσθήκη παγιδευτών φουσαλίδων σε συνδυασμό με αυτόματο απαερωτή.

¹⁸ Για την “Ηπαρίνη” βλέπε στην υποσημείωση 37.

- ✓ **ΤΥΠΟΣ ΙΙΙ:** Προκειμένου να αποφορτίζεται το μυοκάρδιο αλλά και να μπορεί ο όγκος αίματος του ασθενούς να είναι διαχειρίσιμος, προστέθηκε ακόμα μία εύκαμπτη δεξαμενή αίματος ή αλλιώς soft-shell reservoir.
- ✓ **ΤΥΠΟΣ ΙV:** Τέλος, ο πιο σύγχρονος και εξελιγμένος τύπος **ελάχιστα επεμβατικής εξωσωματικής κυκλοφορίας** είναι ο τύπος IV αφού διαθέτει επιπλέον μία σκληρή δεξαμενή αίματος που ενεργοποιείται σε περίπτωση ανεπιθύμητων καταστάσεων όπως κατακλυσμιαίες αιμορραγίες και είσοδος όγκου αέρα στο κύκλωμα διατηρώντας το ανοικτό.

Αξίζει να σημειωθεί πως τέτοια κυκλώματα είναι πολύ πιο σύνθετα από αυτά της **συμβατικής εξωσωματικής κυκλοφορίας** και απαιτούν λεπτομερή γνώση του αντικειμένου και κατάλληλη εκπαίδευση του ιατρικού προσωπικού (καρδιοχειρουργός, τεχνικός εξωσωματικής κυκλοφορίας, αναισθησιολόγος).[30]

Γ.2.3. «Εξωσωματική οξυγόνωση μεμβράνης» [extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)]

Το ECMO (ExtraCorporeal Membrane Oxygenation) είναι μία μορφή επέκτασης της καρδιοπνευμονικής παράκαμψης. Συγκεκριμένα, μία κάνουλα του συστήματος ECMO τοποθετείται σε κεντρική φλέβα για την εκτροπή του φλεβικού αίματος προς το εξωσωματικό αυτό κύκλωμα. Στη συνέχεια, το αίμα αντλείται προς τον οξυγονωτή μεμβράνης όπου εκεί θα *απαλλαχθεί* από το διοξείδιο του άνθρακα και θα εμπλουτιστεί με οξυγόνο ώστε να επιστρέψει ανανεωμένο στην κυκλοφορία του ασθενή.

Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλο το εύρος ηλικιών του πληθυσμού που είναι υποψήφιο για μία τέτοια τεχνική, ειδικότερα όταν παρατηρείται αυξημένη πιθανότητα θανάτου από την ασθένεια που πάσχουν. Έχει ρόλο υποστήριξης σε καταστάσεις ανεπάρκειας της αναπνευστικής ή και της καρδιακής λειτουργίας και η χρήση του μπορεί να παραταθεί έως και εβδομάδες.

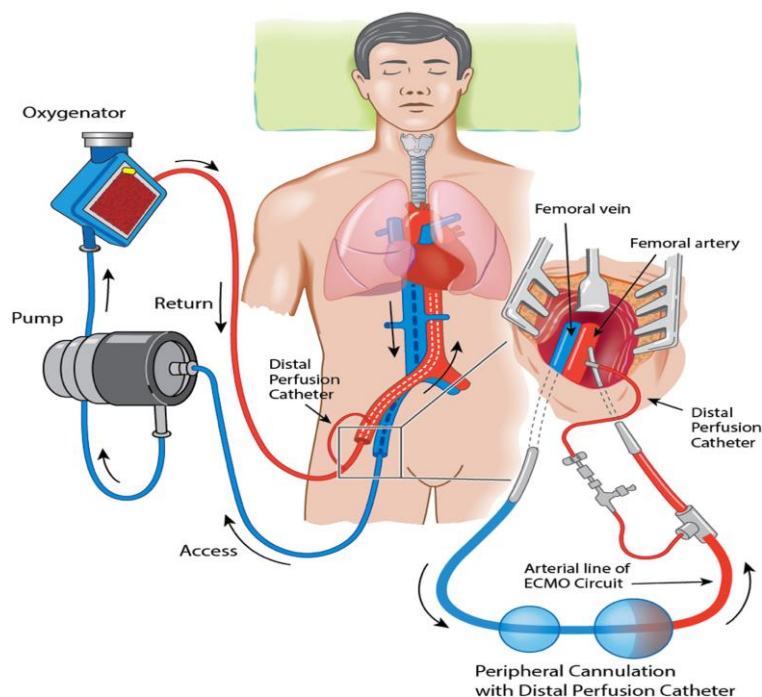
Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από:

- ✓ Μία κάνουλα υπεύθυνη για την εκτροπή του φλεβικού αίματος από τον ασθενή.
- ✓ Αντλία κυλίνδρου ή φυγοκεντρική αντλία που κατευθύνει το αίμα προς τον οξυγονωτή.

- ✓ Τον οξυγονωτή μεμβράνης που είναι υπεύθυνος για την ανταλλαγή των αερίων.
- ✓ Μία επιπλέον κάνουλα υπεύθυνη για την επιστροφή του οξυγονωμένου αίματος προς τον ασθενή.

Εφαρμόζεται κυριότερα σε ασθενείς που εμφανίζουν κρίσιμες για τη ζωή επιπλοκές μετά τα χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς με καρδιοπνευμονική παράκαμψη, [36] για την υποστήριξη ανθρώπων που νοσούν από Sars-Cov-2 και ARDS. [37]

Εικόνα Γ.2.: Εξωσωματική οξυγόνωση μεμβράνης¹⁹



Γ.3. Σύγκριση της CECC με τη MECC

Αν και τα πλεονεκτήματα της συμβατικής εξωσωματικής είναι πολλά, αυτά της ελάχιστα επεμβατικής είναι αναρίθμητα. Με τη χρήση της MECC έχει παρατηρηθεί μείωση της εμφάνισης του συνδρόμου συστηματικής φλεγμονώδους αντίδρασης (SIRS)²⁰[28] καθώς και της διαταραχής της πηκτικότητας αφού με τη

¹⁹ Εικόνα Γ.2: Πηγή: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.120.016521>

²⁰ Γενικά το SIRS είναι μία επικίνδυνη κατάσταση στην οποία εισέρχεται ο οργανισμός και τα αίτια που την προκαλούν είναι πολυπαραγοντικά. Εκφράζεται συνήθως με ταχυκαρδία, ταχύπνοια, αριθμό λευκοκυττάρων και θερμοκρασία σώματος εκτός φυσιολογικών ορίων. [Πηγή: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31613449/>]

χρήση της MECC έχει αποκλειστεί το ενδεχόμενο επαφής του αίματος με αέρα. Η ανάγκη χορήγησης ηπαρίνης έχει μειωθεί σημαντικά αφού τα στοιχεία του κυκλώματος (κάνουλες, οξυγονωτής, σωλήνες) είναι ήδη ηπαρινισμένα, γεγονός που συνεπάγεται μικρότερη δόση χορήγησης πρωταμίνης²¹ μετά την επέμβαση. Ως αποτέλεσμα, ο πηκτικός μηχανισμός του ασθενή έχει επίσης φυσιολογικότερη λειτουργία και δεν διαταράσσεται ιδιαίτερα. Ακόμα, η συχνότητα εμφάνισης ινωδόλυσης και καταστροφής των έμμορφων συστατικών του αίματος έχει ελαχιστοποιηθεί χάρη στη χρήση φυγόκεντρων αντλιών σε αντίθεση με τις περισταλτικές αντλίες που χρησιμοποιούνται στην συμβατική εξωσωματική κυκλοφορία. Αξίζει βέβαια να αναφερθεί πως με την εφαρμογή της ελάχιστα επεμβατικής εξωσωματικής κυκλοφορίας έχει επιτευχθεί καλύτερη αιμάτωση των οργάνων του ασθενή συνεπώς και καλύτερη άρδευση των ιστών. Έτσι η φυσιολογία της μικροκυκλοφορίας διατηρείται σε φυσιολογικότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια και μετά την επέμβαση σε σχέση με την CECC. [30] Επίσης, η μικρότερη ανάγκη για αιμοαραίωση, επιτρέπει την διατήρηση του αιματοκρίτη σε φυσιολογικά επίπεδα [28] και σε συνδυασμό με την σχετικά καλή λειτουργία του πηκτικού μηχανισμού που επιτυγχάνεται με τη χρήση της MECC, έχει μειωθεί η ανάγκη για μετεγχειρητικές μεταγγίσεις.[30] Οι μετεγχειρητικές αιμορραγικές επιπλοκές είναι ένας παράγοντας ο οποίος έχει σχεδόν εκλείψει χάρη στη χρήση της MECC αφού στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται[28] απροτινίνη, μία ουσία που μειώνει τις αιμορραγίες περιεγχειρητικά και μετεγχειρητικά σε χειρουργεία υψηλού ρίσκου όπως αυτά της ανοιχτής καρδιάς και ορθοπεδικών χειρουργείων επιτρέποντας στον ασθενή να αποχωρήσει νωρίτερα από το νοσοκομείο.[29]

²¹ Η χορήγηση της πρωταμίνης έχει ως στόχο την αναχαίτηση της δράσης της ηπαρίνης και την μεταξύ τους εξουδετέρωση ούτως ώστε να μειωθούν οι αιμορραγικές εκδηλώσεις. [Πηγή: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547753/>]

Δ. Η ΜΗΧΑΝΗ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Από το 1813, που ο Le Gallois διατύπωσε την ανάγκη της εξωσωματικής κυκλοφορίας, μέχρι και σήμερα έχουν κατασκευαστεί για το σκοπό αυτό αρκετά μοντέλα μηχανών εξωσωματικής κυκλοφορίας από διάφορους κατασκευαστές ιατρικών μηχανημάτων, τα οποία, αν και ποικίλουν σε ποιότητα και κόστος, έχουν ως βασικό σκοπό την ίδια ακριβώς λειτουργία, δηλαδή την καρδιοπνευμονική παράκαμψη κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης ανοιχτής καρδιάς.

Εικόνα Δ.1.:

(S5 Heart-Lung Machine.LivaNova)²²



Εικόνα Δ.2.:

(Quantum Heart Lung machine)²³



Μεταξύ των ιατρικών μηχανημάτων που κυκλοφορούν στην αγορά για το σκοπό αυτό, το καναδέζικο μοντέλο **Maquet HL 20** αποτελεί την κορωνίδα στο χώρο της καρδιοχειρουργικής για λόγους ποιότητας της κατασκευής του καθώς και της εύκολης χρήσης από τον εξωσωματιστή.

Όπως αναφέρει η κατασκευαστική εταιρεία, το μοντέλο αυτό προσδίδει ασφάλεια λόγω της ηλεκτρικής αυτονομίας του σε περίπτωση που γίνει διακοπή ρεύματος, αφού διαθέτει μία μικρή αυτόνομη γεννήτρια, που είναι ενσωματωμένη στο μηχάνημα επιτρέποντας στην καρδιοχειρουργική ομάδα να ολοκληρώσει την επέμβαση.

²² Εικόνα Δ.1. Πηγή: <https://www.livanova.com/en-us/home/cardiopulmonary/heart-lung-equipment/s5.aspx>

²³ Εικόνα Δ.2. Πηγή: <https://www.naghimedical.com/cardiac-surgery/untitled-1/>

Εικόνα Δ.3:
(Maquet HL 20 Heart-Lung Machine)²⁴



Δ.1. Τα μέρη της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας²⁵

Σε όλα τα σύγχρονα μοντέλα των μηχανών της εξωσωματικής κυκλοφορίας διακρίνουμε τα ακόλουθα βασικά μέρη της λειτουργίας τους, όπως:

Δ.1.1. Φλεβικοί καθετήρες ή κάνουλες: Αυτές μεσολαβούν ώστε να μεταφερθεί με ασφάλεια το φτωχό σε οξυγόνο αίμα του ασθενή προς τη μηχανή. Αναφέρονται τρεις τύποι αυτών των κανουλών και ανάλογα με τη φύση του χειρουργείου επιλέγεται και ένας εκ των ακόλουθων τριών τύπων κανουλών:.

α) Πρώτος τύπος κάνουλας: Είναι απλού επιπέδου χωρίς ευλυγισία χάρη στο μεταλλικό σπείραμα, με το οποίο έχουν επενδυθεί με κυρτό ή ευθύ άκρο. Οι φλέβες στις οποίες εισέρχονται αυτές οι κάνουλες είναι, εκτός από την άνω και κάτω κοίλη φλέβα, και η μηριαία. Οι επεμβάσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται

²⁴ Εικόνα Δ.3. Πηγή: <https://www.indiamart.com/proddetail/refurbished-heart-lung-machine-14395403855.html>

²⁵ Αναστασιάδης Κυριάκος, Αντωνίτσης Πολυχρόνης, Δελιόπουλος Απόστολος, «Η εξωσωματική κυκλοφορία στην καρδιοχειρουργική», Εκδότης «University Studio Press», Θεσσαλονίκη 2020, σ.σ. 60-82.

οι απλού επιπέδου κάνουλες είναι αυτές που σχετίζονται κυρίως με τη μιτροειδή βαλβίδα. Το εύρος του μεγέθους τους είναι από 12 έως 40 Fr.²⁶

β) Δεύτερος τύπος κάνουλας: Είναι διπλού επιπέδου και είναι ο πιο διαδομένος στα χειρουργεία καρδιάς. Ο συγκεκριμένος εισάγεται από το ωτίο του δεξιού κόλπου και χρησιμοποιείται ευρέως σε χειρουργεία που σχετίζονται με την αορτή, την αορτική βαλβίδα και χειρουργεία αορτοστεφανιαίας παράκαμψης. Το εύρος του μεγέθους τους είναι από 28/36 έως 36/51 Fr.

γ) Τρίτος τύπος κάνουλας: Είναι τριπλού επιπέδου. Αποτελείται από τρεις σειρές οπών και το μέγεθός τους είναι από 29/29/29 Fr έως 29/46/37 Fr. Η χρήση τους περιορίζεται σε περιπτώσεις υποβοηθούμενης φλεβικής επιστροφής και μόνο.

Δ.1.2. Αρτηριακές κάνουλες: Αυτές γεφυρώνουν τη μηχανή με τον ασθενή επιτρέποντας στο οξυγονωμένο αίμα να επιστρέψει σε αυτόν. Υπάρχουν διάφορα μεγέθη αρτηριακών κανουλών και η επιλογή τους εξαρτάται από τη διάμετρο της αρτηρίας του πάσχοντος. Η ανιούσα αορτή αποτελεί το κύριο σημείο στο οποίο θα εκβάλει ο καθετήρας το αρτηριακό αίμα. Για αυτό τον λόγο υπάρχουν κάνουλες όπου το άκρο τους μπορεί να είναι κυρτό ή ευθύ. Για περιφερικούς όμως καθετηριασμούς χρησιμοποιούνται μακριά ευθεία άκρα με φθίνουσα κατά μήκος διάμετρο κυρίως μέσω της μηριαίας ή υποκλειδίου αρτηρίας. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η κλίση πίεσης, που δημιουργείται ανάμεσα στο άκρο του καθετήρα με το σημείο εισόδου του, δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 100 mmHg²⁷ ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο αιμόλυσης. Το εύρος της διαμέτρου αυτών των κανουλών ποικίλει από 8 Fr έως 24 Fr.

²⁶ **Σύστημα μέτρησης καθετήρων:** Η μονάδα μέτρησης Fr ή άλλοτε Ch χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της εξωτερικής διαμέτρου των καθετήρων. Οι μονάδες Fr, Ch, έχουν προέλευση από τον Γαλλικής καταγωγής (French) Joseph-Frédéric-Benoît Charrière και ισοδυναμούν με το $1/3$ του χιλιοστού. Συγκεκριμένα, 1 Fr = 0.33 mm. Ενώ για τις βελόνες ισχύει ότι 23 G = $1/23$ της ίντσας. [Πηγή: Παιδοχειρουργός, Γιάννης Μαρινόπουλος, http://alldoctorsmess.blogspot.com/2010/01/blog-post_27.html].

²⁷ Το mmHg σημαίνει χιλιοστά στήλης υδραργύρου και είναι η διεθνής μονάδα μέτρησης της αρτηριακής πίεσης. [Πηγή: Α΄ Πανεπιστημιακή Καρδιολογική Κλινική, Ιπποκράτειο Γ.Ν.Α., Μονάδα Υπέρτασης. (http://www.ypertash.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=84:2010-04-26-07-14-19&catid=43:2010-04-26-07-13-31&Itemid=75)].

Α.1.3. Σωλήνες: Ο ρόλος τους είναι να δημιουργήσουν ένα κλειστό ενιαίο κύκλωμα γεφυρώνοντας μέρη του κυκλώματος. Το αίμα περνά μέσα από αυτούς και γι' αυτό θα πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο συμβατό με το υλικό των σωλήνων. Άλλα κριτήρια που κάνουν τους σωλήνες καταλληλότερους είναι οι ελαστικές ιδιότητες, ιδιότητες αντίστασης στην κάμψη και στη θερμοκρασία, η σκληρότητα. Θα πρέπει επίσης το υλικό τους εσωτερικά με το οποίο έρχεται το αίμα σε επαφή να είναι λείο. Για παράδειγμα ένας σωλήνας με 4,5 χιλιοστά διάμετρο όπως αυτός της καρδιοπληγίας παρέχει όγκο πλήρωσης 15ml ανά μέτρο και 4 λίτρα αίματος ανά λεπτό ενώ ένας με 12 χιλιοστά διάμετρο όπως είναι της φλεβικής γραμμής παρέχει όγκο πλήρωσης 115ml ανά μέτρο και 9,5 λίτρα αίματος ανά λεπτό. Σήμερα χρησιμοποιούνται σωλήνες από PVC ή σιλικόνη.

Α.1.4. Περισταλτική αντλία: Αυτή είναι υπεύθυνη για την κυκλοφορία του αίματος που υπάρχει μέσα στο σωλήνα του κυκλώματος. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με περισταλτικό τρόπο μέσω των 2 βραχιόνων της αντλίας που βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις πιέζοντας το σωλήνα με το περιεχόμενό του προς μία κατεύθυνση. Στη συσκευή αυτή υπάρχει ένας ρυθμιστής που κανονίζει την επέκταση ή σύμπτυξη των βραχιόνων με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ανάλογα και η πίεση που επιδέχεται ο σωλήνας. Δύναται βέβαια να αποκολληθούν σωματίδια από τα συστατικά του σωλήνα λόγω των έντονων πιέσεων που μπορεί να δέχεται από τους βραχίονες με επίπτωση πάντα στον ασθενή. Η χρησιμότητά της εντοπίζεται και σε άλλες περιπτώσεις όπως αναρρόφηση του αίματος αλλά και για τον εξαερισμό της καρδιάς για την αποσυμφόρησή της.

Α.1.5. Φυγόκεντρη αντλία: Η εφαρμογή της στην κλινική πράξη ξεκινά από το 1973 ενώ μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν οι περισταλτικές αντλίες από τα πρώτα βήματα της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Ο τρόπος λειτουργίας της βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται και παρέχουν κίνηση στα πτερύγια της συσκευής. Η διαφορά πίεσης που δημιουργείται μεταξύ της περιφέρειας και του κέντρου της αντλίας την καθιστά υπεύθυνη για την κυκλοφορία του αίματος δια μέσου της αντλίας. Στην περίπτωση που παρατηρούνται υψηλές αντιστάσεις στο κύκλωμα, η αντλία τείνει να μειώσει την παροχή της. Από τη άλλη, σε συνθήκες χαμηλών αντιστάσεων προκαλείται αυξημένη παροχή από την αντλία και αυτό

γίνεται με αυτόματο τρόπο. Η αποκόλληση σωματιδίων που μπορεί να συμβεί με τη χρήση της περισταλτικής αντλίας δεν παρατηρείται στη φυγόκεντρη και αυτό θεωρείται μεγάλο πλεονέκτημα. Επίσης, τυχούσες εμβολές αέρα που ξεπερνούν το 1 ml εντοπίζονται από αισθητήρες και έτσι διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας ώστε να μην παρασυρθούν στην κυκλοφορία περαιτέρω. Χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά στη «συμβατική εξωσωματική κυκλοφορία»²⁸ λόγω υψηλότερου κόστους σε σχέση με τις περισταλτικές αντλίες, κατά κανόνα όμως στην «ελάχιστα επεμβατική»²⁹ και στο «ECMO»³⁰.

Δ.1.6. Οξυγονωτής: Σε συνδυασμό με την δεξαμενή αίματος, τον εναλλάκτη θερμότητας και το μίκτη αερίων, ο οξυγονωτής αποτελεί ένα σύστημα στη σύγχρονη εξωσωματική κυκλοφορία. Είναι μία συσκευή από την οποία περνάει το αίμα φτωχό σε οξυγόνο για να οξυγονωθεί, δηλαδή για να γίνει πλούσιο σε οξυγόνο. Στην εξωσωματική κυκλοφορία χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τρεις τύποι οξυγονωτών:

α) Οξυγονωτής φυσαλίδων: Είναι παλαιότερου τύπου και χρησιμοποιείται ελάχιστα πλέον. Το φλεβικό αίμα έρχεται σε επαφή με τον οξυγονωτή και παίρνει τη μορφή αφρού μέσω ενός πλήρως εμπλουτισμένου με οξυγόνο πορώδη δίσκου που περιλαμβάνει. Στη συνέχεια, ο αφρός κατακρατείται μέσω ενός φίλτρου και το αίμα επιστρέφει απαλλαγμένο από διοξείδιο του άνθρακα και πλούσιο με οξυγόνο στον ασθενή μέσα από την αρτηριακή δεξαμενή.

β) Οξυγονωτής μεμβράνης: Είναι το πλέον σύγχρονο και εξελιγμένο μοντέλο οξυγονωτών. Το βασικό του στοιχείο είναι μία ημιδιαπερατή μεμβράνη εκατέρωθεν τις οποίας βρίσκεται το αίμα και το αέριο. Θα μπορούσε κανείς να πει πως ένας οξυγονωτής μεμβράνης μιμείται την κυψελιδοτριχοειδική μεμβράνη των πνευμόνων. Επομένως, η ανταλλαγή των αερίων στον οξυγονωτή γίνεται με τη μεταφορά του αερίου σε τμήμα με μικρότερες πιέσεις προερχόμενο από ένα τμήμα που επικρατούν μεγαλύτερες πιέσεις. Τα υλικά που συνθέτουν ένα τέτοιο οξυγονωτή είναι η σιλικόνη και το πολυπροπυλένιο. Το γεγονός αυτό αυξάνει το συντελεστή διάχυσης και μειώνει τη συχνότητα καταστροφής των έμμορφων στοιχείων. Μάλιστα, η σιλικόνη προσδίδει στο αίμα ένα πιο πρόσφορο και φιλικό περιβάλλον για εκείνο, πράγμα που σημαίνει

²⁸ Βλέπε υποκεφάλαιο Γ.2.1.

²⁹ Βλέπε υποκεφάλαιο Γ.2.2.

³⁰ Βλέπε υποκεφάλαιο Γ.2.3.

πως η λειτουργία του οξυγονωτή μπορεί να υφίσταται για περισσότερες από 6 ώρες όπως συμβαίνει στην εξωσωματική οξυγόνωση με μεμβράνη (ECMO).

γ) Οξυγονωτής κοίλης ίνας: Είναι το πιο διαδεδομένο είδος σύγχρονου οξυγονωτή μεμβράνης. Η ιδανική λειτουργία χρήσης του περιορίζεται σε λιγότερο από 6 ώρες και για αυτό χρησιμοποιείται στα περισσότερα χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς με εξωσωματική κυκλοφορία. Αποτελείται από μικροσκοπικές ίνες στον αυλό των οποίων ρέει το οξυγόνο. Στο περιβάλλον μεταξύ των ινών κυκλοφορεί το αίμα και έτσι επιτυγχάνεται η οξυγόνωσή του.

Δ.1.7. Δεξαμενή φλεβικού αίματος: Εκεί συγκεντρώνεται το φτωχό σε οξυγόνο αίμα που προέρχεται από τον οργανισμό, χορηγούνται διάφορα φάρμακα και υγρά και χρησιμοποιείται ως αποθηκευτής του αίματος όταν σταματήσει η κυκλοφορία του όπως στην περίπτωση βαθιάς υποθερμίας. Χρησιμοποιούνται δε οι ακόλουθοι δύο τύποι δεξαμενών:

α) Η «σκληρή δεξαμενή ή ανοικτού τύπου», που χαρακτηρίζεται από σκληρό και άκαμπτο υλικό με θύρες καθώς και πύλες για την εισαγωγή και εξαγωγή του φλεβικού αίματος και μπορεί να αποθηκεύσει έως 5 λίτρα. Διαθέτει επίσης φίλτρο για τη συλλογή του αίματος από το χειρουργικό πεδίο καθώς και απαερωτή. Για τον έλεγχο πλήρωσης της δεξαμενής χρησιμοποιούνται ανιχνευτές που ειδοποιούν τον εξωσωματιστή για το επίπεδο της στάθμης.

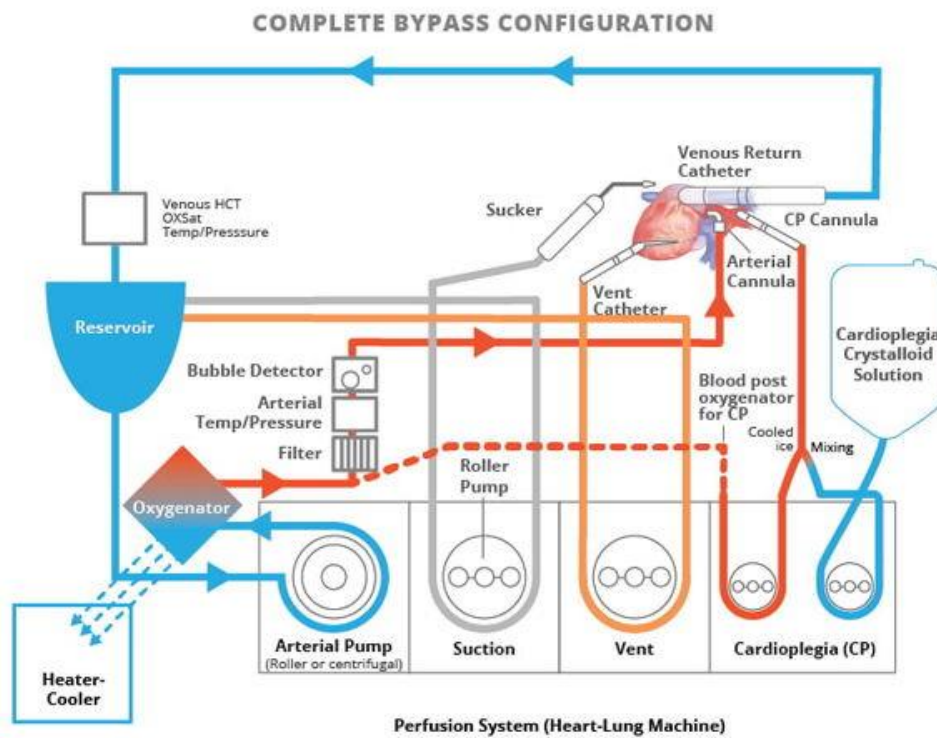
β) Η «Μαλακή δεξαμενή ή κλειστού τύπου», που είναι μικρότερης χωρητικότητας σε σχέση με τη σκληρή (2 έως 3 λίτρα). Είναι συνδεδεμένη με τη σκληρή δεξαμενή ενώ έχει δυνατότητα ευκαμψίας και μεταβλητότητας του όγκου της. Αυτή η δυνατότητα καθιστά την μαλακή δεξαμενή ασφαλέστερη αφού έτσι αποτρέπεται η εισαγωγή μαζικής εμβολής αέρα στην κυκλοφορία. Παράλληλα έχουν μειωθεί τα ποσοστά εμφάνισης συστηματικής φλεγμονώδους αντίδρασης αφού το αίμα δεν αναμειγνύεται με αέρα.

Δ.1.8. Φίλτρα: Χρησιμοποιούνται για την παρεμπόδιση εμβόλων που προκύπτουν από διάφορες αιτίες. Αποτελούνται από ίνες που φέρουν μικροσκοπικές οπές μεγέθους έως 40 μm και έτσι μάζες αέρα και σωματίδια μεγαλύτερα αυτής της διαμέτρου δεν μπορούν να εισέλθουν στην κυκλοφορία.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο κύκλωμα σημαντικό ρόλο έχουν και άλλες περιφερειακές συσκευές και είναι συνοπτικά οι παρακάτω:

- ✓ Αισθητήρες
- ✓ Ανιχνευτής φυσαλίδων
- ✓ Μανόμετρα του κυκλώματος
- ✓ Συσκευές παρακολούθησης αιμοδυναμικών και μεταβολικών παραμέτρων
- ✓ Συσκευή αυτομετάγγισης (Cell saver)
- ✓ Συσκευή ψύξης-επαναθέρμανσης [30]

Εικόνα Δ.4: Αναπαράσταση της εξωσωματικής κυκλοφορίας³¹



³¹ Εικόνα Δ.4 Error! Main Document Only.. Πηγή: <https://heart-ok.blogspot.com/2018/07/heart-lung-machine-components.html>

Α.2. Ο ρόλος του χειριστή της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας

Ο χειριστής της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας είναι ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας που εντάσσεται στην καρδιοχειρουργική ομάδα [27] που αποτελείται από τον χειρουργό, τον αναισθησιολόγο και τον ίδιο τον εξωσωματιστή.[24] Κεντρικός ρόλος του είναι να υποκαθιστά τη λειτουργία της καρδιάς και των πνευμόνων με ασφάλεια μέσω της μηχανής,[27] έως την περάτωση της επέμβασης τηρώντας τις νομοθεσίες και τα πρωτόκολλα αυτής της διαδικασίας. Παράλληλα, είναι σημαντικό να βρίσκεται σε διαρκή επικοινωνία με τους γιατρούς της ομάδας κατά τη διάρκεια του χειρουργείου με σκοπό την αποφυγή λαθών από ανεπαρκή συνεννόηση που μπορεί να έχουν αντίκτυπο στην πορεία της αποκατάστασης του ασθενή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η εκτέλεση σωστών χειρισμών από την πλευρά του εξωσωματιστή, πέρα από αυτή του χειρουργού και του αναισθησιολόγου, είναι ύψιστης σημασίας. Αρχικά, είναι αρμόδιος για τον έλεγχο της μηχανής αλλά και των λοιπών εξαρτημάτων της ώστε με αυτόν τον τρόπο να εξασφαλιστεί η εγκυρότητα, η αξιοπιστία και η ασφαλής εφαρμογή των λειτουργιών της την ώρα του χειρουργείου. Όσον αφορά στα εξαρτήματα της μηχανής που δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, δηλαδή είναι μίας χρήσης, είναι σημαντικός ο έλεγχος των ημερομηνιών λήξης αυτών καθώς και της εξωτερικής τους όψης όπως φθορές, ελαττώματα κ.α.

Επιπλέον, στα καθήκοντα του εξωσωματιστή συμπεριλαμβάνεται και ο έλεγχος της καρτέλας του ασθενή για τυχούσες αλλεργίες, υποκείμενα νοσήματα και σωματικά χαρακτηριστικά όπως το βάρος και το ύψος του ασθενή για τον σαφή προσδιορισμό της δοσολογίας διάφορων φαρμάκων όπως της ηπαρίνης. Είναι, επίσης, σημαντικό να έχει επιβεβαιωθεί με τη μέθοδο της διασταύρωσης η ομάδα αίματος του ασθενή σε περίπτωση που χρειαστεί αναπλήρωση από ασκούς αίματος. [24]

Στον ακόλουθο πίνακα περιγράφεται η «λίστα ελέγχου» πριν την καρδιοπνευμονική παράκαμψη. Όλες οι παράμετροι που αναφέρονται στη λίστα αυτή

πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από όλες τις νοσοκομειακές μονάδες που καλύπτουν τέτοιες επεμβάσεις.

PRE BYPASS CHECKLIST³²	
Ασθενής	Ταυτότητα
Ταυτότητα ορθή	Παρακολούθηση
Αναθεώρηση του γραφήματος	Αισθητήρας θερμοκρασίας τοποθετημένος
Στεριρότητα	Βαθμονομημένος μετατροπέας πίεσης
Εξαρτήματα: Ακεραιότητα & ημ. λήξης	In/On-line αισθητήρες βαθμονομημένοι
Μηχανή καρδιάς-πνεύμονα	Ασφάλεια και Συναγερμοί
Σύνδεση ρεύματος	Ενεργοποιημένος συναγερμός χαμηλής στάθμης
Εκκίνηση φυσιολογική	Ενεργοποιημένος ανιχνευτής αέρα
Εφεδρική ενέργεια	Ορισμένο όριο συναγερμού πίεσης
Ψύξη-Θέρμανση	Ορισμένο όριο συναγερμού θερμοκρασίας
Εκκίνηση φυσιολογική	Η δεξαμενή καρδιοτομίας αερίστηκε
Συνδέσεις νερού: Ροή επαληθευμένη	Οξυγονωτής
Θερμοκρασία νερού: _____ ° C/F	Συνδεδεμένη γραμμή αερίου
Παροχή αερίου	Επιθεωρήθηκε η ακεραιότητα του εναλλάκτη θερμότητας
Δίκτυο αερίου συνδεδεμένο	Συνδεδεμένος ρακοςυλλέκτης
Ροόμετρο/Αναδευτήρας σε λειτουργία	Αποφουσίωση
Ατμοποιητής απενεργοποιημένος	Σωλήνωση
Έκπλυση CO ₂	Οξυγονωτής
Αντλία	Καρδιοπληγία
Κεφαλές κυλίνδρων ανεμπόδιστες	Αρτηριακό φίλτρο/Παγιδευτής φουσαλίδων
Ροόμετρο: Βαθμονόμηση και κατεύθυνση	Αξεσουάρ
Στηρίγματα σωλήνων ασφαλισμένα	Σφικτήρες σωλήνων
Απόφραξη: _____ mmHg _____ cmH ₂ O/min	Μανιβέλες χειρός
	Εφεδρικά εξαρτήματα κυκλώματος
Σωλήνωση	Αντιπηκτικότητα
Η κατάσταση σωλήνωσης αντλίας επιθεωρήθηκε	Ηπαρίνη σε: _____ χρόνος
Αναρροφητήρας λειτουργικός και απομυζητικός.	Ο ασθενής έλαβε την κατάλληλη δόση
Μονόδρομες βαλβίδες: Κατεύθυνση ορθή	Έναρξη εξωσωματικής κυκλοφορίας
Παραδιακλάδωση κυκλώματος κλειστή	Υπογραφή:

Δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, πως ο εξωσωματιστής οφείλει να προσαρμόσει το μηχάνημα της εξωσωματικής κυκλοφορίας σύμφωνα με τις ανάγκες του ασθενή,

³² Πηγή: <https://www.ebcp.eu/login/files/b8192349de4ba7ced7dcb65c4f51ac29ae9d12c5.pdf>

αφού ο κάθε υποψήφιος για χειρουργείο καρδιάς μπορεί να ακολουθείται από υποκείμενα νοσήματα. Έτσι είναι σημαντικό να γνωρίζει ο εξωσωματιστής το ιστορικό του ασθενή. Στην περίπτωση, για παράδειγμα, χρόνιας νεφρικής ανεπάρκειας, είναι απαραίτητο να προστεθεί στον εξοπλισμό της μηχανής φίλτρο αιμοκάθαρσης.

Τέλος, τα πιο κρίσιμα σημεία που πρέπει να ελέγχονται από το χειριστή της μηχανής καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης της στο χειρουργείο είναι τα εξής:

- Το ΗΚΓ (Ηλεκτροκαρδιογράφημα)
- Η αρτηριακή πίεση
- Η ΚΦΠ (Κεντρική Φλεβική Πίεση)
- Η αρτηριακή παροχή και η παροχή των στεφανιαίων αναρροφήσεων από το μηχάνημα της εξωσωματικής κυκλοφορίας
- Η θερμοκρασία του σώματος, του κυκλοφορούμενου αίματος και του νερού της συσκευής ψύξης – επαναθέρμανσης
- Οι ηλεκτρολύτες
- Η οξυοβασική ισορροπία και ο αιματοκρίτης (Hct) του ασθενή
- Η αποβολή των ούρων
- Η θερμοκρασία του μυοκαρδίου
- Οι πνευμονικές αντιστάσεις
- Η ροή του αίματος μέσω της αντλίας
- Η στάθμη αίματος στη δεξαμενή του κυκλώματος
- Η παρακολούθηση των αερίων αίματος
- Ο ενεργοποιημένος χρόνος πήξης (ACT)
- Το φίλτρο αιμοσυμπύκνωσης [26]

E. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

E.1. Θετικές επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό

Η εξωσωματική κυκλοφορία εισήλθε επαναστατικά στο χώρο της καρδιοχειρουργικής με σκοπό τη μείωση της θνητότητας μέσω της εξασφάλισης ενός ιδανικού χειρουργικού πεδίου χωρίς αιματηρές επιπλοκές. Η μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας ήλθε για να αντικαταστήσει τη λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος κατά τη διάρκεια των χειρουργείων ανοιχτής καρδιάς.[22]

Η προστασία του μυοκαρδίου είναι το πλεονέκτημα που αποκτήθηκε με την εφαρμογή της καρδιοπνευμονικής παράκαμψης δίνοντας το έναυσμα στον χειρουργό να επέμβει σε λεπτομερέστερες προσεγγίσεις για την αναίμακτη επιδιόρθωση ενός καρδιακού προβλήματος.

Η χρήση της καρδιοπληγίας³³ και της υποθερμίας³⁴, εφαρμόζονται στα χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς με σκοπό την μείωση των μεταβολικών αναγκών του οργανισμού αλλά και την προστασία του από την επεμβατική διαδικασία του χειρουργείου. Κατά την υποθερμία, η ανάγκη για κατανάλωση οξυγόνου περιορίζεται στο 20% [20]. Η ίδια συμβάλλει επίσης και στην προστασία των οργάνων και του εγκεφάλου, αλλά και στην αποτροπή, σε ένα βαθμό, της πήξης του αίματος.[21] Αναφορικά με την καρδιοπληγία, επιτυγχάνεται η ακινητοποίηση και προστασία του καρδιακού μυός προσδίδοντας την ευχέρεια στο χειρουργό να προβεί σε ασφαλέστερους χειρισμούς.[20]

³³ Καρδιοπληγία: Πρόκειται για ένα διάλυμα πλούσιο σε χλωριούχο κάλιο (15-35 meq/L) [Πηγή: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554463/>].

³⁴ Σε βαθιά υποθερμία, η θερμοκρασία του οργανισμού μπορεί να φτάσει τους 18 °C. [Πηγή: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2016.00104/full>].

E.2. Αρνητικές επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό

Οι επιδράσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό εντοπίζονται στις ακόλουθες ενότητες:

E.2.1. Σύστημα πήξης (blood coagulation) και ινωδόλυσης (fibrinolysis)³⁵:

Κατά την έξοδο του αίματος από το ανθρώπινο σώμα και την παράλληλη είσοδό του στο μηχανικό σύστημα της εξωσωματικής κυκλοφορίας, επέρχεται στο αίμα μία αλλαγή. Συγκεκριμένα, το αίμα φεύγει από το φυσικό του περιβάλλον, που είναι οι φλέβες και οι αρτηρίες και εισέρχεται σε ένα ξένο περιβάλλον, που αποτελεί το σύστημα της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Αυτή η αλλαγή ενεργοποιεί την «ενδογενή οδό»³⁶ του συστήματος της πήξης του αίματος.[18] Για την αποτροπή της πήξης του αίματος, χορηγείται «ηπαρίνη»³⁷ στο κύκλωμα της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας, ώστε η ροή του αίματος να είναι φυσιολογικότερη.

Επίσης, μία διαταραχή στο ινωδολυτικό σύστημα, λέγεται πως μπορεί να προκαλέσει θρομβωτικά ή αιμορραγικά επεισόδια.[25]

³⁵ Σε αντίθεση με την «πήξη» του αίματος, κατά την οποία το αίμα δημιουργεί θρόμβους, η «ινωδόλυση» είναι μια διαδικασία διάλυσης του θρόμβου. [Πηγή: http://www.labtestsonline.gr/condition/Condition_BleedingDisorders.html].

³⁶ Με τον όρο «πήξη» εννοείται η διαδικασία συγκόλλησης των κυττάρων του αίματος προς το σχηματισμό θρόμβου. Η πήξη του αίματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο διαφορετικών οδών, ανάλογα με την έναρξη της διαδικασίας συγκόλλησης των κυττάρων, την εξωγενή και την ενδογενή οδό. Η «ενδογενής οδός» πυροδοτείται όταν το αίμα εκτίθεται σε ξένη επιφάνεια σε αντίθεση με την «εξωγενή οδό», κατά την οποία η πήξη του αίματος προκαλείται από εξωτερικό παράγοντα. [Πηγή: <https://www.iatronet.gr/iatriko-lexiko/pixi-toy-aimatos.html>].

³⁷ Η ηπαρίνη, είναι μία χημική ουσία που προέρχεται από τις γλυκοζαμινογλυκάνες και είναι δημοφιλής για την αντιπηκτική της δράση. Αξιοποιείται για την επικάλυψη του εσωτερικού των σωλήνων που έρχεται σε επαφή το αίμα για αυτό και χρησιμοποιούνται από διάφορες ιατρικές ειδικότητες σε επεμβατικές διαδικασίες όπως τα χειρουργεία ανοικτής καρδιάς αλλά και ως ενέσιμο αντιπηκτικό. [Πηγή: Μαρία Χουντή, Κωνσταντίνος Χατζηβέης, Παναγιώτης Χουντής, «Μηχανισμός δράσης και η σημασία της ηπαρίνης στη χειρουργική νοσηλευτική», ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, Ελληνικό Περιοδικό της Νοσηλευτικής Επιστήμης 2014, Τόμος 7 (1): σ.σ. 11-19 (http://journal-ene.gr/wp-content/uploads/2014/07/mixanismos_drasis_simasia_iparinis.pdf)].

E.2.2. Πεπτικό σύστημα:

Οι επιπτώσεις της εξωσωματικής κυκλοφορίας εντοπίζονται και στο πεπτικό σύστημα και κατά κύριο λόγο στο ανώτερο πεπτικό σε ποσοστό του 1% των ανθρώπων που υποβάλλονται σε καρδιοπνευμονική παράκαμψη. Αφορά ασθενείς μεγάλης ηλικίας, όπου περίπου στους 5 από τους 10 επέρχεται ο θάνατος. Η σημαντικότερη αιτία για την πρόκληση τέτοιων καταστάσεων είναι η παραμονή για μεγάλο χρονικό διάστημα στην εξωσωματική κυκλοφορία και η εσωτερική αιμορραγία που οδηγεί σε επανάληψη στερνοτομής για την αντιμετώπισή της. Δύναται επίσης να παρουσιαστεί αιμορραγία από έλκη που είτε προϋπήρχαν, είτε δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του χειρουργείου, εντοπιζόμενα κυρίως στο πρώτο τμήμα του λεπτού εντέρου (δωδεκαδάκτυλο). Επιπλέον επιπτώσεις στη φυσιολογική λειτουργία του ήπατος ή ακόμα και νέκρωση αυτού, εμφανίζονται έπειτα από εξωσωματική κυκλοφορία και μπορεί να οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως φάρμακα (αγγειοσυσπαστικά), μη επαρκή οξυγόνωση του ήπατος, τοξικές ουσίες ή λοιμογόνοι παράγοντες. Η χαμηλή παροχή αίματος από τη μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας ή της καρδιάς του ασθενή διαδραματίζει και εδώ σημαντικό ρόλο. Ο ίκτερος που μπορεί να εμφανιστεί και μάλιστα σε υψηλό ποσοστό (από 20% έως 50%) είναι ο κύριος παράγοντας εμφάνισης υπερχολερυθριναιμίας (hyperbilirubinemia)³⁸. [38]

E.2.3. Καρδιαγγειακό σύστημα:³⁹

Στις επεμβάσεις ανοιχτής καρδιάς με καρδιοπνευμονική παράκαμψη και λόγω της έντονης εμφάνισης αγγειοσύσπασης, της εφαρμογής της υποθερμίας, ακόμα και της ελαττωμένης καρδιακής παροχής που παρατηρείται, αυξάνεται ο κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων που επισυμβαίνουν όπως: [38]

³⁸ Με τον όρο «υπερχολερυθριναιμία» εννοείται η αυξημένη ποσότητα χολερυθρίνης στο αίμα. Η κατάσταση αυτή παρατηρείται σε οποιαδήποτε ασθένεια προκαλεί ίκτερο, συμπεριλαμβανομένων παθήσεων στις οποίες αποφράσσεται το χοληφόρο δέντρο και αυτών στις οποίες ο σχηματισμός αίματος είναι αναποτελεσματικός. [<https://www.iatronet.gr/iatriko-lexiko/yperxolerythrinaimia.html>].

³⁹ Βλέπε και υποκεφάλαιο Γ.1.

α). Σύνδρομο χαμηλής καρδιακής παροχής

Αυτό το σύνδρομο είναι μία σοβαρή κατάσταση που προσβάλλει τη φυσιολογία του καρδιαγγειακού συστήματος παρεμποδίζοντας την αλληλεπίδραση του ασβεστίου με την «ακτίνη και τη μυοσίνη»⁴⁰. Το σύνδρομο αυτό προκύπτει από διάφορα αίτια όπως, βλάβη ή έμφραγμα του μυοκαρδίου, ισχαιμία ή στην περίπτωση όπου η κυκλοφορία του αίματος υπερφορτώνεται. [38]

β). Αρρυθμίες:

Οι αρρυθμίες είναι πολύ συχνές και παρουσιάζονται στο 50% περίπου των επεμβάσεων ανοιχτής καρδιάς. Οι αιτίες που προκαλούν τις αρρυθμίες μπορούν να ποικίλουν όπως:

- ✓ το περιεγχειρητικό τραύμα,
- ✓ η μη επαρκής οξυγόνωση των ιστών,
- ✓ οι μεταβολές στη συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών καθώς και
- ✓ η διαταραχή της οξεοβασικής ισορροπίας. [38]

γ). Έμφραγμα επί του χειρουργείου:

Σε χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς, κυρίως σε αυτά που περιλαμβάνουν αορτοστεφανιαία παράκαμψη, παρατηρείται το φαινόμενο του «διεγχειρητικού εμφράγματος» με θανάσιμη έκβαση για τον ασθενή. Μερικές από τις αιτίες είναι:

- ✓ η έμφραξη του μοςχέματος,
- ✓ η σπαστικότητα των στεφανιαίων αγγείων όπως και
- ✓ η μη κατάλληλη οξυγόνωση του καρδιακού μυός σε σχέση με τις ανάγκες του.

Ορισμένοι προδιαθεσικοί παράγοντες είναι:

- ✓ ο αορτικός αποκλεισμός που ξεπερνά τα θεμιτά χρονικά όρια εφαρμογής του,
- ✓ στεφανιαίες νόσοι,
- ✓ ελλιπής προστασία του καρδιακού μυός και

⁴⁰ Πρόκειται για μυϊκές πρωτεΐνες. Η μυοσίνη συνδέεται με την πρωτεΐνη της ακτίνης και καταλαμβάνει το 60% περίπου των μυϊκών πρωτεϊνών. Η ακτίνη έχει ινώδη μορφή και περιέχει τροπομυοσίνη και τροπονίνη στο μόριό της. [Πηγή: <https://www.slideshare.net/akoutra/ss-90531602>].

- ✓ η μη ποιοτική διεγχειρητική επαναιμάτωση. [38]

E.2.4. Ενδοκρινικό σύστημα:

Αυξάνονται οι υποφυσιακές ορμόνες του φύλου:

- ✓ LH,
- ✓ FSH και
- ✓ προλακτίνη.

Κατά την έναρξη της εξωσωματικής κυκλοφορίας αυξάνεται η ορμόνη ACTH. Παρατηρείται επίσης και η αύξηση της αυξητικής ορμόνης.

Οι κατεχολαμίνες όπως αδρεναλίνη και νοραδρεναλίνη, η αντιδιουρητική ορμόνη, η αγγειοτενσίνη και ο κολπικός νατριουρητικός παράγοντας αυξάνονται σημαντικά λόγω του στρες που προκαλείται στον οργανισμό από τη διαδικασία της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Αξίζει να τονισθεί πως η νοραδρεναλίνη αυξάνεται αποκλειστικά σε ασθενείς που πάσχουν από υπέρταση.

Επίσης, το σύστημα «ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης»⁴¹ εμφανίζει αυξημένους ρυθμούς διέγερσης εξαιτίας της μειωμένης πίεσης στους νεφρούς κατά την υπονατριαιμία, με αποτέλεσμα τη διατάραξη των ηλεκτρολυτών και εκτεταμένη αντίσταση των αρτηριών, επιφέροντας αύξηση της αρτηριακής πίεσης και δυσλειτουργία στο έργο της καρδιάς μετεγχειρητικά. Επιπλέον, τα νατριουρητικά πεπτίδια σημειώνουν αύξηση κατά τη διάρκεια της εξωσωματικής κυκλοφορίας και ειδικότερα όταν αυτή τερματίζεται.

Από την άλλη, παρατηρείται εικόνα υποθυρεοειδισμού και αυτό διότι κατά την εξωσωματική κυκλοφορία σημειώνεται μειωμένη έκκριση της δεσμευμένης και ελεύθερης T3 ορμόνης, καθώς και της T4 ορμόνης. [18]

⁴¹ Το σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Το σύστημα αυτό, βάσει ερευνών, φαίνεται επίσης πως διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απάντηση του οργανισμού όταν αυτός προσβάλλεται από ιούς της οικογένειας των κορωνοϊών εκ των οποίων ο Sars-Cov-2 είναι υπεύθυνος για την πρόκληση της επικρατούσας πανδημίας COVID-19. [Πηγή: Παπαγαλάνης, Ν.Δ., Τ. Δ/ντής Νεφρολογικού Τμήματος, Νοσοκομείο Ελλ. Ερυθρού Σταυρού, Αθήνα, Σιαμόπουλος, Κ.Χ., Ομ. Καθηγητής Παθολογίας-Νεφρολογίας, Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Πρωτότυπη εργασία με θέμα «Σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης και Covid-19», 175 - 189 32 (3): Ελληνική Νεφρολογία 2020: https://www.ene.gr/eneojs_new/index.php/en/article/view/391/523].

E.2.5. Ανοσοποιητικό σύστημα:

Εδώ παρατηρείται μείωση της έκκρισης ανοσοσφαιρινών, εμφανής ενεργοποίηση του συμπληρώματος αφού το αίμα έρχεται πια σε επαφή με ξένες επιφάνειες και έντονη παραγωγή των κυτταροκινών. Η ενεργοποίηση του συμπληρώματος με τη σειρά της επάγει τη μετανάστευση κυτταρικών πληθυσμών, όπως αυτή των ουδετερόφιλων, σε όργανα όπως οι νεφροί και οι πνεύμονες. Η κατάσταση των δύο αυτών οργάνων μπορεί να χειροτερέψει από την έντονη έκκριση ελαστάσης, για την οποία είναι υπεύθυνα τα ουδετερόφιλα. Τέλος, τα κύτταρα της χυμικής και κυτταρικής ανοσίας, Β και Τ λεμφοκύτταρα, όσο ο ασθενής υποβάλλεται σε εξωσωματική κυκλοφορία, διατηρούν πτωτική πορεία.[18]

Η επίδραση της εξωσωματικής κυκλοφορίας δεν περιορίζεται μόνο σε συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού αλλά μπορεί να επιφέρει και επιπλέον νοσηρές καταστάσεις όπως είναι:

- Η αιμορραγία
- Η καταστροφή των έμμορφων συστατικών του αίματος
- Ο εμβολισμός των αγγείων
- Η υπεργλυκαιμία
- Το αναφυλακτικό σοκ
- Η υποξυγοναιμία
- Το οξειδωτικό στρες
- Η οξεοβασική ισορροπία
- Η διατάραξη ηλεκτρολυτών
- Οι επιδράσεις στους νεφρούς
- Οι νευρολογικές επιπλοκές
- Η συγκέντρωση βιταμινών στον ορό
- Το σύνδρομο ισχαιμίας επαναιμάτωσης
- Αυτές που προέρχονται από τη διασωλήνωση του ασθενή

E.2.6. Αιμορραγία:

Αρχικά, η εκδήλωση αιμορραγικών επεισοδίων κατά την εξωσωματική κυκλοφορία μπορεί να προκληθεί από προϋπάρχουσα διαταραχή της πήξεως, την αντιπηκτική δράση της ηπαρίνης ή και από ινωδόλυση. Είναι δυνατόν, μετά τη χορήγηση της πρωταμίνης, η εξουδετέρωση με την ηπαρίνη να μην είναι ολοκληρωτική. Έτσι, τα υπολείμματα της ηπαρίνης μπορεί να επιτείνουν την αιμορραγία έως και 3 ώρες από την περάτωση του χειρουργείου.

E.2.7. Καταστροφή των έμμορφων συστατικών του αίματος:

Η καταστροφή των ερυθροκυττάρων (RBCs) [αιμόλυση – haemolysis] κατά τη διάρκεια της εξωσωματικής κυκλοφορίας προκαλείται από δύο κυρίως παράγοντες:

α) από την επαφή του αίματος με τις συνθετικές επιφάνειες της μηχανής όπως:

- ✓ ο οξυγονωτής μεμβράνης,
- ✓ οι σωλήνες που συνδέουν μηχανή με ασθενή καθώς και

β) από τις επιδράσεις των πιέσεων της αντλίας της μηχανής. [18]

Επιπλέον οι διαταραχές που παρατηρούνται στο αίμα αφορούν:

i. Στα Αιμοπετάλια:

Η τυρβώδης ροή του αίματος, το μηχανικό τραύμα και άλλα αίτια όπως η κυκλοφορία του αίματος σε συνθετικά υλικά έχουν επίπτωση στην επιφάνεια αλλά και στους μεμβρανικούς υποδοχείς των αιμοπεταλίων. Κατ' επέκταση, παρατηρείται μειωμένος αριθμός αιμοπεταλίων και μεταβολές στο ρόλο και τη φυσιολογική τους λειτουργία. [38]

ii. Στα Ερυθρά αιμοσφαίρια:

Με την επίδραση της αιμοαραίωσης, που είναι αναπόσπαστο κομμάτι στην εξωσωματική κυκλοφορία, παρατηρείται χαμηλός αιματοκρίτης. Λύση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, που προέρχεται από τις στεφανιαίες αναρροφήσεις και των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω, οδηγεί σε ελάττωση του αριθμού τους. [38]

iii. Στα Λευκά αιμοσφαίρια:

Παρατηρούνται συσσωματώματα ενεργοποιημένων λευκών αιμοσφαιρίων στα τριχοειδή αγγεία των πνευμόνων. Οι ελεύθερες ρίζες, προερχόμενες από τις λευκοκυτταρικές συναθροίσεις στο σημείο εκείνο, μπορούν να προσβάλουν το ενδοθήλιο. Οι αλλαγές που υφίστανται τα λευκά αιμοσφαίρια οδηγούν σε έλλειψη των φαγοκυτταρικών τους ιδιοτήτων. [38]

E.2.8. Εμβολισμός των αγγείων:

Μία εμβολή μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες, όπως:

- α) τα ξένα για το αίμα υλικά και τα εξαρτήματα της συσκευής,
- β) τα βιολογικά προϊόντα του οργανισμού και
- γ) η είσοδος αέρα.

Η επίδραση της εξωσωματικής κυκλοφορίας είναι σε θέση να προκαλέσει εμβολή σε ζωτικά όργανα όπως είναι η καρδιά, οι πνεύμονες, οι νεφροί, το ήπαρ, ακόμα και ο σπλήνας.

✚ Ξένα υλικά:

Τα συνηθέστερα υλικά που προέρχονται από τον εξοπλισμό της μηχανής είναι:

- ✓ θραύσματα πλαστικού ή μετάλλου,
- ✓ ίνες βάμβακος και
- ✓ αποκόμματα του φίλτρου ή των σωλήνων.

Από το χειρουργικό πεδίο μπορεί να προκύψουν:

- ✓ οστέινα και μυϊκά συντρίμμια,
- ✓ τάλκης,

- ✓ ίνες κολλαγόνου,
- ✓ αιμοστατικό κερύ οστών,
- ✓ ακόμα και τμήματα χειρουργικού νήματος. [18]

Βιολογικά προϊόντα:

Τα βιολογικά προϊόντα είναι ικανά να φράξουν τα αγγεία και μπορεί να προέλθουν:

- ✓ από συσσωματώματα των έμμορφων στοιχείων του αίματος,
- ✓ από λιπίδια,
- ✓ από πρωτεΐνες,
- ✓ από ινωδογόνο και
- ✓ από αποσπάσματα μυών και οστών.

Εισαγωγή αέρα:

Λανθασμένες πρακτικές μπορεί να οδηγήσουν σε άδειασμα της δεξαμενής που περιέχει το φλεβικό αίμα, με αποτέλεσμα την εισαγωγή αέρα προς τον ασθενή.

Από τους σωλήνες που συνδέονται με τον ασθενή για την πρόκληση της καρδιοπληγίας, μπορεί επίσης να προκληθεί εμβολή.

Επιπλέον, δύο ακόμα αιτίες εμβολής αποτελούν η μη ολοκληρωμένη εξαέρωση των κοιλοτήτων της καρδιάς, ενώ πραγματοποιείται συστολή των κοιλοτήτων της και η αντιστροφή, από ατύχημα, της ροής του συστήματος εξαέρωσης με αποτέλεσμα την εισαγωγή αέρα. [18]

E.2.9. Υπεργλυκαιμία:

Στην πρόκληση της υπεργλυκαιμίας, σημαντικό ρόλο παίζει η ασθενής έκκριση της ινσουλίνης, η οποία μπορεί να προέρχεται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί που προέρχονται από την επίδραση της εξωσωματικής κυκλοφορίας είναι η ελλιπής αιμάτωση του παγκρέατος και η αυξημένη παραγωγή ορμονών που σχετίζονται με τον ανταγωνισμό της ινσουλίνης.

Ταυτόχρονα ο οργανισμός εμφανίζει περαιτέρω επιπλοκές αναφορικά με την αφομοίωση της γλυκόζης κατά τη διάρκεια της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, η περιφερική φλεβική αντίσταση είναι εντονότερη, με αποτέλεσμα η

κατανάλωση της γλυκόζης από τα κύτταρα να είναι μειωμένη. Επιπλέον, η υποθερμία, ως μέρος της διαδικασίας της εξωσωματικής κυκλοφορίας, έχει και αυτή με τη σειρά της τη δική της συνεισφορά στην πρόκληση της υπεργλυκαιμίας. Αρχικά, τα κύτταρα του παγκρέατος, δηλαδή τα β κύτταρα, παρουσιάζουν ανεπαρκή δράση και τέλος, η ανασταλτική επίδραση της υποθερμίας στη δράση των γλυκολυτικών ενζύμων, είναι δύο λόγοι που επιδεινώνουν την υπεργλυκαιμία στον καρδιοχειρουργικό ασθενή.

Αξίζει να σημειωθεί, πως ο αποκλεισμός της αορτής αλλά και η καρδιοπνευμονική παράκαμψη, ειδικά προς το τέλος της, είναι δύο ακόμη λόγοι που αυξάνουν την υπεργλυκαιμία.

E.2.10. Επίδρασεις στον ανθρώπινο οργανισμό προερχόμενες από τη διασωλήνωση του ασθενή με την μηχανή της εξωσωματικής κυκλοφορίας

Η τοποθέτηση σωληνίσκων, όπως αυτού στη θέση της ανιούσας αορτής, μπορεί μέσω των χειρουργικών πρακτικών να προκαλέσει διαχωρισμό της αορτής έως και εμβολή, ειδικά όταν προϋπάρχει αθηρωματική πλάκα σε αυτή, με επίπτωση στο κεντρικό νευρικό σύστημα.

E.2.11. Αναφυλακτικό σοκ:

Η αναφυλακτική αντίδραση προκαλείται κυρίως από την ενεργοποίηση μίας ομάδας πρωτεϊνών που καλείται συμπλήρωμα. Αυτό μπορεί να συμβεί όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εξωσωματικής κυκλοφορίας αλλά και αμέσως μετά από αυτήν, με κύρια αιτία την εξαγωγή του αίματος από το ενδοθήλιο των αγγείων και την επαφή του με ξένες επιφάνειες, αλλά και ως αποτέλεσμα από την αντίδραση ισχαιμίας-επαναιμάτωσης. Μέσω αυτής της ενεργοποίησης, κυρίως της εναλλακτικής οδού, τα μόρια του συμπληρώματος διεγείρουν την έκκριση κοκκίων από τα βασεόφιλα και τα μαστικά κύτταρα με αποτέλεσμα την απελευθέρωση φλεγμονωδών παραγόντων όπως είναι η ισταμίνη. Επίσης, η **χημειοταξία** σε συνδυασμό με την ενεργοποίηση των ουδετερόφιλων και όχι μόνο, που προκαλεί το κλάσμα C5a του συμπληρώματος, ευθύνονται για την απελευθέρωση διαμεσολαβητών της φλεγμονής, όπως είναι οι

ROS (Reactive Oxygen Species), και λυσοσωμάτων συμβάλλοντας έτσι στην έκταση των φλεγμονωδών αντιδράσεων. [18]

E.2.12. Υποξυγοναιμία:

Η λειτουργία των πνευμόνων, όταν ο ασθενής υποβάλλεται σε χειρουργείο ανοιχτής καρδιάς, διακόπτεται και η πνευμονική κυκλοφορία υποκαθίσταται από την εξωσωματική κυκλοφορία. Η φυσιολογία των πνευμόνων μεταβάλλεται, αφού τα τοιχώματα τους συμπύσσονται και οι εκκρίσεις συσσωρεύονται και κατακρατούνται. Αυτή η κατάσταση είναι επικίνδυνη διότι μπορεί να προκαλέσει:

- ✓ Ατελεκτασία,
- ✓ Ισχαιμία,
- ✓ Φλεγμονώδεις αντιδράσεις,[23]
- ✓ Τραχειοβρογχίτιδα,
- ✓ Πνευμονία, ακόμα και
- ✓ Αναπνευστική ανεπάρκεια.[24].

Έτσι είναι αναμφίβολο, πως η επίπτωση της εξωσωματικής κυκλοφορίας στους πνεύμονες είναι η υποξυγοναιμία που εμφανίζεται λίγες μέρες μετά το χειρουργείο,[23] και μάλιστα θεωρείται η συχνότερη μετεγχειρητική επιπλοκή.[24]

Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι η πιθανότητα πρόκλησης υποξυγοναιμίας μετεγχειρητικά σχετίζεται με το χρονικό της χρήσης της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα, όταν η χρήση της στον ασθενή περιορίζεται σε λιγότερο από δύο ώρες (120 λεπτά), τότε οι πιθανότητες υποξυγοναιμίας ελαχιστοποιούνται, σε αντίθεση με την περίπτωση ασθενών που υποβάλλονται σε εξωσωματική κυκλοφορία για περισσότερο από δύο ώρες. Οι τελευταίοι κινδυνεύουν σε μεγαλύτερο ποσοστό να εμφανίσουν σοβαρή υποξυγοναιμία μετά το χειρουργείο,[23] και αυτό εξηγείται από την αυξημένη παρεμπόδιση της εισόδου του οξυγόνου στα κύτταρα, που προκαλείται από μεταβολές στη διαπερατότητα της μεμβράνης του κυττάρου και αυτής των τριχοειδών αγγείων.

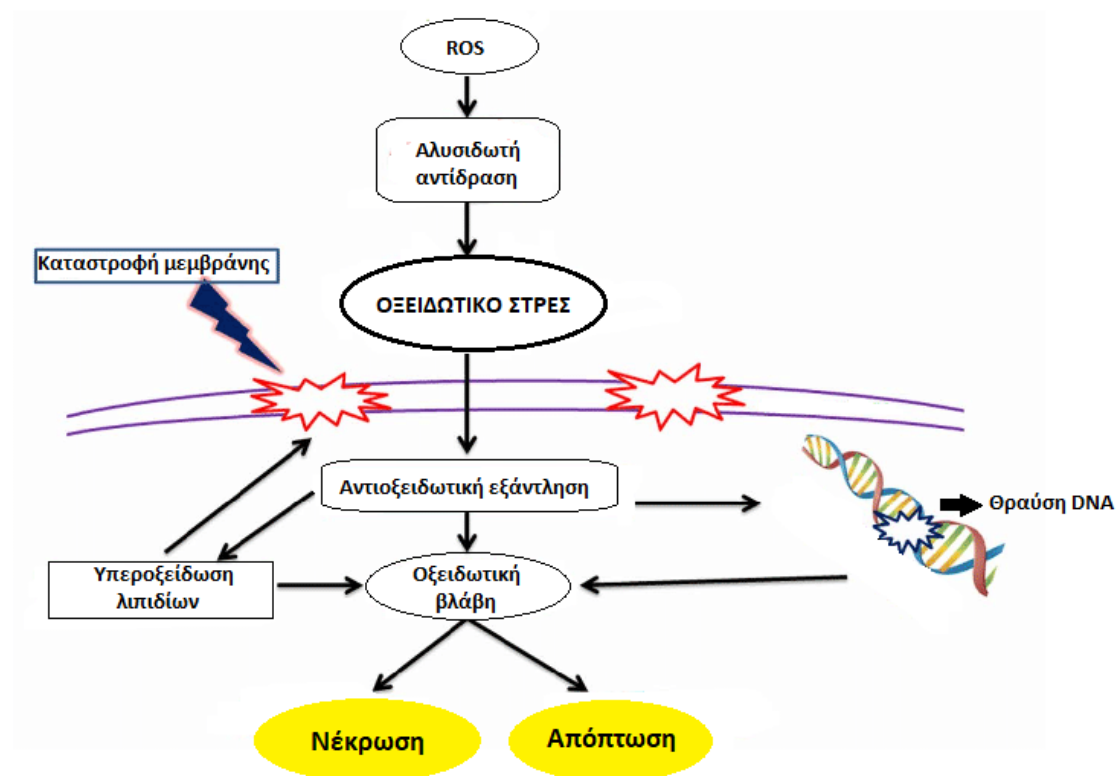
Επιπλέον, δυσκολία στη διάχυση του οξυγόνου στα κύτταρα παρατηρείται από μη φυσιολογική συγκέντρωση πρωτεϊνών καθώς και συντρίμια κυττάρων στο

διάμεσο χώρο. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται σε καταστάσεις παρατεταμένης χρήσης της εξωσωματικής κυκλοφορίας. [38]

E.2.13. Οξειδωτικό στρες:

Μία από τις πιο συνηθισμένες **αρνητικές επιδράσεις** που εμφανίζεται σε ασθενείς που υποβάλλονται σε εξωσωματική κυκλοφορία είναι το **οξειδωτικό στρες**. Οι ακραίες μεταβολές στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις των κυττάρων έχουν ως αποτέλεσμα τον εκφυλισμό τους, την αναστολή της διαφοροποίησής τους αλλά και την παράκαμψη του προγραμματισμένου τους θανάτου με αποτέλεσμα τη νέκρωση.

Εικόνα E.1.: Οξειδωτικό στρες⁴²



Οι δραστικές μορφές οξυγόνου (ROS) που παράγονται είναι ικανές να προσβάλουν το κύτταρο καθολικά. Ο κύριος αντίκτυπος που έχουν, περιορίζεται:

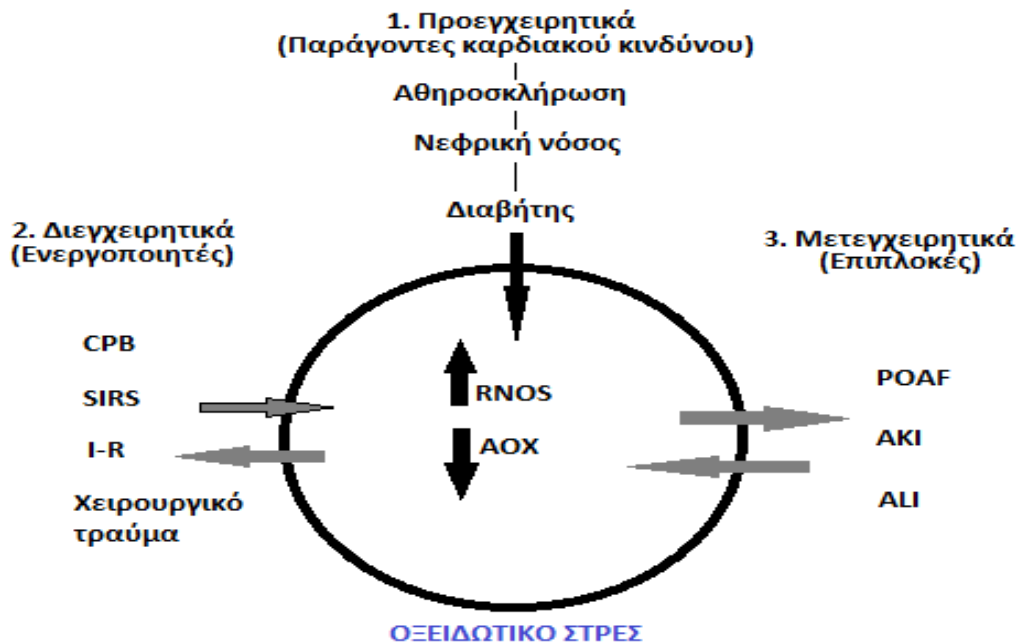
⁴² Εικόνα E.1. Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Cellular-damage-induced-by-oxidative-stress_fig1_313141746

- **Στην υπεροξειδωση των λιπιδίων:** γίνεται αναφορά σε συνέπειες όπως:
 - ✓ Η πρόωρη γήρανση
 - ✓ Η εμφάνιση σακχαρώδη διαβήτη
 - ✓ Parkinson
 - ✓ Alzheimer
 - ✓ καταρράκτης
 - ✓ ρευματοειδής αρθρίτιδα και
 - ✓ αθηροσκλήρωση.
- **Στη μετουσίωση των πρωτεϊνών:** οι ROS είναι ικανές να καταστρέψουν πολλά είδη αμινοξέων αλλά και πρωτεΐνες της μεμβράνης
- **Στη βλάβη του DNA:** αλλοίωση της αλυσίδας του DNA, διαταραχή μεταξύ των βάσεων και κατακρήμνισή του. Επιπλέον, η αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου, νευροεκφυλιστικών ασθενειών, καρδιοαναπνευστικών προβλημάτων και πρόωρης γήρανσης είναι αναπόσπαστες επιπλοκές αυτής της διαδικασίας.

Επιπροσθέτως, ασθενείς με υποκείμενα νοσήματα όπως αθηροσκλήρωση, χρόνια νεφρική νόσο και διαβήτη βρίσκονται σε κατάσταση προϋπάρχοντος οξειδωτικού στρες και φλεγμονώδους αντίδρασης σε σχέση με τον υγιή πληθυσμό.

Εικόνα Ε.2.: Επιπτώσεις οξειδωτικού στρες.⁴³

⁴³ Εικόνα Ε.2.: Πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/Oxidative-stress-during-extracorporeal-circulation.-McDonald-Fraser/f67ad0ffcd59ba7450b392da5bc4f8cf3c827055/figure/2>



Η περαιτέρω επιδείνωση του οξειδωτικού στρες κατά την εισαγωγή του ασθενή στην εξωσωματική κυκλοφορία, αλλά και μετεγχειρητικά, μπορεί να προέλθει από τις ROS, όταν αυτές αυξάνονται από τους συνεχείς τραυματισμούς κατά την επέμβαση, την διακοπή της κυκλοφορίας του ασθενή και την επαναιμάτωσή του [ischemia–reperfusion injury (IRI)] αλλά και τις φλεγμονώδεις αντιδράσεις που επισυμβαίνουν. Αυτή η κατάσταση επιφέρει επιπλέον μετεγχειρητικές επιπλοκές στον ανθρώπινο οργανισμό όπως είναι η κοιλιακή μαρμαρυγή (POAF), οξεία βλάβη στους νεφρούς και στους πνεύμονες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί και η μετάγγιση αίματος, για την οποία δεν είναι λίγες οι φορές που έχει απαιτηθεί σε χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς. Η υπεροξείδωση των λιπιδίων και το οξειδωτικό στρες έχει αναφερθεί ότι αυξάνονται από την μετάγγιση πακεταρισμένων ερυθρών αιμοσφαιρίων (PRBC) που περιέχονται στους ασκούς αίματος. Ειδικότερα, σε ασθενείς με αυξημένη ανάγκη για χορήγηση ερυθρών αιμοσφαιρίων, όπως σε περιπτώσεις επεμβάσεων του αορτικού τόξου ή σε αντίστοιχα χειρουργεία, που έχουν επαναληφθεί στο παρελθόν, δυσχεραίνει η κατάστασή τους με ταυτόχρονη ενίσχυση του οξειδωτικού στρες. [12]

E.2.14. Οξεοβασική ισορροπία:

Η οξεοβασική ισορροπία αναφέρεται στην ισορροπία μεταξύ πρόσληψης, παραγωγής και εξάλειψης ιόντων υδρογόνου.⁴⁴

Η διατάραξη της οξεοβασικής ισορροπίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη ροή αιμάτωσης και την απόδοση του οξυγονωτή της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας. Δύναται επίσης να συμβεί μεταβολική οξέωση εφόσον το γαλακτικό και πυροσταφυλικό οξύ αυξηθούν, ειδικότερα όταν η ροή αιμάτωσης είναι ανεπαρκής. [18] Είναι σημαντικό, το γαλακτικό οξύ να μην ξεπερνά τα 5 mmol/L. [38]

E.2.15. Διατάραξη των ηλεκτρολυτών⁴⁵:

Το πιο συχνό φαινόμενο είναι η πτώση της συγκέντρωσης καλίου προκαλώντας υποκαλιαιμία, μία κατάσταση κατά την οποία οι κοιλότητες της καρδιάς, καθώς και τα ηλεκτρικά σήματα που τις διαπερνούν, διαταράσσονται. [18] Από την άλλη, η συγκέντρωση νατρίου εκδηλώνει αύξηση. [38]

E.2.16. Νεφροί:

Δεν είναι χαμηλό το ποσοστό εμφάνισης προσβολής των νεφρών μετά από χειρουργείο καρδιάς με εξωσωματική κυκλοφορία, αφού στο 1,5% - 2,5% των περιπτώσεων οι νεφροί μπορεί να παρουσιάσουν oligουρία έως και ανουρία. Εκτός

⁴⁴ O. Siggaard-Andersen, ACID-BASE BALANCE, Chapter "Normal Acid-Base Balance", in *Encyclopedia of Respiratory Medicine*, 2006 [Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/acid-base-balance>]. Περισσότερα για την «Οξεοβασική ισορροπία» βλέπε και στα: **1.** Θεόδωρος Βασιλακόπουλος, Καθηγητής Πνευμονολογίας-Εντατικής Θεραπείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Adjunct Professor, McGill University, Montreal, Quebec, Canada, Διευθυντής Γ' Κλινικής Εντατικής Θεραπείας, Ευγενίδειο Θεραπευτήριο, «Οξεοβασική ισορροπία, Οξύ Βάση, pH» [Πηγή: <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MED1382/%CE%9F%CE%BE%CE%B5%CE%BF%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf>]. **2.** Θεόδωρος Κασιμάτης, Νεφρολόγος, Επιμελητής Β' Νοσ. Ασκληπείο Βούλας «ΟΞΕΟΒΑΣΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ», [Πηγή: https://www.asklepicio.gr/UserFiles/File/B_Path/lessons/acid_base.pdf]. **3.** Ανδρέας Φάσσαρης, Γ., Υποπλοίαρχος (ΥΙ) Π.Ν.-Αναισθησιολόγος, Ναυτικό Νοσοκομείο Αθηνών, «ΟΞΕΟΒΑΣΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ», Ελληνική Αναισθησιολογική Εταιρεία, Μετεκπαιδευτικά Μαθήματα Ελληνικής Αναισθησιολογικής Εταιρείας 2012-2013, [Πηγή: https://anaesthesiology.gr/media/File/ppt/oxeovasiki_isorropia_Fassaris-10-12-2012.pdf].

⁴⁵ Οι **ηλεκτρολύτες** είναι ένα από τα στοιχεία που βρίσκονται στο ανθρώπινο σώμα και διαδραματίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο για την ισορροπία του οργανισμού. Η σημασία των ηλεκτρολυτών έγκειται στη συμμετοχή τους σε ποικίλες βιολογικές διεργασίες. Ως ηλεκτρολύτης μπορεί να χαρακτηριστεί οποιαδήποτε ουσία με ελεύθερα ιόντα και συμπεριφέρεται σαν μέσο αγωγής ηλεκτρισμού. Στον ανθρώπινο οργανισμό οι πιο σημαντικοί ηλεκτρολύτες είναι το νάτριο, το κάλιο, το ασβέστιο, το χλώριο, το μαγνήσιο, το διττανθρακικό και το φωσφορικό άλας. [Πηγή: <https://medlineplus.gov/fluidandelectrolytebalance.html>].

των άλλων, τα αίτια που οδηγούν σε τέτοιες εκδηλώσεις είναι η πολύωρη χρήση της εξωσωματικής κυκλοφορίας καθώς και η μειωμένη καρδιακή παροχή. [38]

E.2.17. Νευρολογικές επιπλοκές:

Η μη επαρκής αιμάτωση και οι εμβολισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την εξωσωματική κυκλοφορία είναι σε θέση να προξενήσουν νευρολογικές βλάβες. Οι επιπτώσεις που ακολουθούν εστιάζονται σε βλάβη του εγκεφάλου και μπορεί να εκδηλωθούν:

- ✓ με μειωμένη αντίληψη του χώρου,
- ✓ με αμνησία,
- ✓ με έλλειψη αντανακλαστικών, ακόμα και
- ✓ με ψυχωτικές καταστάσεις. [38]

E.2.18. Συγκέντρωση βιταμινών στον ορό:

Έρευνα που διεξήχθη από το πανεπιστήμιο Hohenheim στη Στουτγάρδη της Γερμανίας το 2013, έδειξε, ότι η καρδιοαναπνευστική παράκαμψη μέσω της εξωσωματικής κυκλοφορίας επηρεάζει και τη συγκέντρωση των βιταμινών. Πιο συγκεκριμένα, οι βιταμίνες C και E φάνηκε να έχουν καθοδική πορεία.

- **Βιταμίνη C**: Η πτώση της συγκέντρωσής της στο πλάσμα του αίματος φάνηκε να ξεκινά αμέσως πριν την εξωσωματική κυκλοφορία και να κορυφώνεται κατά τη διάρκεια αυτής. Ενώ οι φυσιολογικές τιμές των ασθενών κυμαίνονταν από 61.5 μM +/- 18.6 μM , πριν και κατά τη διάρκεια του χειρουργείου η συγκέντρωσή της μειώθηκε κατά 16.34% και 41.51% αντίστοιχα.
- **Βιταμίνη E**: Οι φυσιολογικές τιμές των ασθενών κυμαίνονταν από 31.04 μM +/- 8.92 μM . Η συγκέντρωσή της κατά τη διάρκεια αλλά και αμέσως μετά το χειρουργείο ήταν κατά 39.85% χαμηλότερη (18.67 μM +/- 6.01 μM) σε σχέση με την αρχική.[19]

E.2.19. Σύνδρομο «Ισχαιμίας-Επαναιμάτωσης»:

Είναι γνωστό ότι η έλλειψη οξυγόνωσης των ιστών εγκυμονεί πολλούς κινδύνους για τον ασθενή αλλά και ότι η αργοπορημένη επαναιμάτωσή τους, τους πολλαπλασιάζει. Αξίζει, λοιπόν, να αναφερθεί η βλάβη που προκαλείται από την επαναιμάτωση των ιστών ενός οργάνου, όταν βρίσκεται σε κατάσταση ισχαιμίας για αρκετό χρόνο, όπως παρατηρείται κατά την καρδιοπνευμονική παράκαμψη στα χειρουργεία ανοιχτής καρδιάς [13]. Οι βλάβες που προκαλούνται από την αργοπορημένη επαναιμάτωση των ιστών αποτελούν το **σύνδρομο ισχαιμίας-επαναιμάτωσης (ΣΙΑ)** ή αλλιώς ischemia-reperfusion injury (IRI) και αφορούν κυρίως τα μικρά αγγεία όπως τα τριχοειδή.

E.2.20. Συσχέτιση συνδρόμου «Ισχαιμίας-Επαναιμάτωσης» με το «οξειδωτικό στρες»:

Η συσχέτιση του συνδρόμου με το οξειδωτικό στρες διαφαίνεται μέσα από την αντίδραση που προκαλείται στο ενδοθήλιο των αγγείων[14], όπως των αγγείων της καρδιάς σε ισχαιμία[12], η οποία επάγει την αυξημένη παραγωγή των ROS με αποτέλεσμα την πρόκληση φλεγμονώδους αντίδρασης[14], στην οποία και οφείλονται οι ιστικές καταστροφές που προκαλεί το εν λόγω σύνδρομο.[15]

Κάτι ακόμα που μπορεί να επιφέρει το ΣΙΑ σαν επιπλοκή είναι η μειωμένη ανταπόκριση των αντιοξειδωτικών του μυοκαρδίου, γεγονός που επιτρέπει την επιδείνωση του οξειδωτικού στρες σε αυτό. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση κολπικής συστολής, η δυσλειτουργία των ινών του μυοκαρδίου και η πρόκληση κολπικής μαρμαρυγής μετεγχειρητικά (POAF). Στον συσχετισμό αυτό εντάσσεται και η υπεροξεία (PO₂ > 200 mmHg) που επισυμβαίνει, κατά την οποία διεγείρονται τα ουδετερόφιλα, αλλά και τα μιτοχόνδρια προς παραγωγή των ROS, με συνέπεια την αύξηση του οξειδωτικού στρες. [12] Το σύνδρομο επαναιμάτωσης είναι επίσης γνωστό για την πρόκληση υπερκαλιαμίας [16], η οποία μπορεί με τη σειρά της να προκαλέσει αρρυθμίες, ακόμα και καρδιακή ανακοπή, όταν τα επίπεδα καλίου στο αίμα ξεπερνούν τα >6.5 meq/L.[17].

E.2.21. Σύνδρομο μετά από εξωσωματική κυκλοφορία (post perfusion syndrome):

Αν μία κατάσταση μπορεί να περιγράψει πολλά από τα αίτια που επιφέρουν επιπλοκές στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι το σύνδρομο που προκαλείται μετά από την εξωσωματική κυκλοφορία.

Πρόκειται για μία γενικευμένη νοσηρή κατάσταση του ασθενή που περιλαμβάνει:

- ✓ τους πνεύμονες,
- ✓ τους νεφρούς,
- ✓ αιμορραγικές εκδηλώσεις,
- ✓ οίδημα του διάμεσου χώρου,
- ✓ αυξημένη σύσπαση των αγγείων και
- ✓ λύση των ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Οι αιτίες που προκαλούν τις παραπάνω επιπλοκές είναι κοινές με τις αιτίες των αρνητικών επιδράσεων που αναπτύξαμε σε αυτό το κεφάλαιο με κυριότερη την εξαγγείωση του αίματος και την είσοδό του σε ένα νέο «ξένο» κύκλωμα. [38].

ΣΤ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα πτυχιακή εργασία εξάγονται αβίαστα ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία πέραν του γεγονότος ότι αναδεικνύουν την επιστήμη της ιατρικής και της τεχνολογίας των ιατρικών μηχανημάτων ως επιστήμες με αμφίδρομη σχέση, που μέσα από την αλληλεπίδρασή τους έχουν ως σκοπό την παράταση και την ποιότητα της ζωής του ανθρώπου, υπάρχουν αστάθμητοι παράγοντες, που δεν επιφέρουν πάντα τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, ενώ η εξωσωματική κυκλοφορία του αίματος, επινοήθηκε και εφαρμόζεται στις χειρουργικές επεμβάσεις ανοιχτής καρδιάς με σκοπό τη βελτίωση του ανθρώπου, που πάσχει από καρδιακά νοσήματα, ως διαδικασία επιφέρει στον ανθρώπινο οργανισμό άλλα προβλήματα υγείας, τα οποία άλλοτε θεραπεύονται και άλλοτε όχι, όπως βλάβες στο πεπτικό σύστημα, τους νεφρούς, το ενδοκρινικό σύστημα, το ανοσοποιητικό σύστημα κ.ά.

Είναι βέβαια αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι ακόμη κι αν η εξωσωματική κυκλοφορία εγκυμονεί κινδύνους για την ακεραιότητα της υγείας του ασθενή, δεν παύει να είναι μία σωτήρια διαδικασία που θα του προσδώσει περισσότερα χρόνια ζωής και μάλιστα με καλύτερη ποιότητα ζωής από αυτήν που μπορεί να είχε πριν από την καρδιοχειρουργική επέμβαση.

Και τέλος, μέσα από την ιστορική αναδρομή των κηδεμόνων της εξωσωματικής κυκλοφορίας, διαπιστώνει κανείς ότι η αγάπη, η αγωνία και το ενδιαφέρον για την υγεία του ανθρώπου, δεν θα σταματήσει ποτέ να αναδεικνύει στην ιστορία της ιατρικής επιστήμης πρόσωπα που αφιέρωσαν τη ζωή τους στο σκοπό αυτό.

Z. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαδικασία, η μηχανή και ο χειριστής της εξωσωματικής κυκλοφορίας του αίματος, κατά τη διάρκεια μίας καρδιοχειρουργικής επέμβασης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της χειρουργικής ομάδας μαζί με τον καρδιοχειρουργό, τον αναισθησιολόγο και το λοιπό νοσηλευτικό προσωπικό.

Οι επιδράσεις που επέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό καθώς και η αντιμετώπισή τους, απαιτούν από τον χειριστή της μηχανής της εξωσωματικής κυκλοφορίας να διαθέτει άριστη γνώση του χειρισμού της μηχανής, άριστη συνεργασία με τα υπόλοιπα μέλη της χειρουργικής ομάδας καθώς και τις απαιτούμενες γνώσεις για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων ανεπιθύμητων παρενεργειών.

Σε επίπεδο μηχανικής υποστήριξης μιας καρδιοχειρουργικής επέμβασης είναι πλέον δεδομένο ότι τα σύγχρονα μηχανήματα προσφέρουν στην χειρουργική ομάδα τις καλύτερες προϋποθέσεις για τα καλύτερα αποτελέσματα της επέμβασης, ενώ η εξέλιξη και η πρόοδος των μηχανημάτων της εξωσωματικής κυκλοφορίας υπόσχεται την μείωση των ανεπιθύμητων επιδράσεων.

ABSTRACT

The procedure, the machine and the operator of the extracorporeal blood circulation, during a heart surgery are an integral part of the surgical team together with the heart surgeon, the anesthesiologist and the other nursing staff.

The effects on the human body, as well as their treatment, require the operator of the heart-lung machine to have excellent knowledge of the operation of the machine, excellent cooperation with the other members of the surgical team as well as the necessary knowledge to deal with possible side effects.

At the level of mechanical support of a heart surgery, it is now a given that modern machines offer the surgical team the best conditions for the best results of the operation, while the evolution and progress of heart-lung machines promises the reduction of side effects.

Η. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Ελληνική βιβλιογραφία:

A/A

- [1] Moore, Keith L., Dalley, Arthur F., Agur, Anne M.R., «Κλινική Ανατομία», Μετάφραση: Λεωνίδα Αρβανίτης, Εκδότης «Π.Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ», 2^η Ελληνική Έκδοση, Nicosia, Cyprus 2013 σ. 74
- [2] Θαλασσινός, Νικόλαος Δ., Αναστασίου Νικόλαος, «Ιατρικές Ειδικότητες- Σύγχρονη Τεχνολογία». Εκδότης «Π.Χ ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ», Nicosia, Cyprus, 2017, σσ 251-252
- [3] Καρασάββα, Ελένη, «Μέθοδος εξοικονόμησης Αίματος σε ασθενείς που υποβάλλονται σε αορτοστεφανιαία παράκαμψη με τη χρήση ή όχι εξωσωματικής κυκλοφορίας» Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2017, σ. 36
- [13] Καραμάνος Δημήτριος Γ., «ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΟΞΕΙΑΣ ΙΣΧΑΙΜΙΑΣ-ΕΠΑΝΑΙΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΘΡΟΜΒΙΝΗΣ ΙΙΙ ΣΤΟ ΗΠΙΑΡ», Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2008 σ. 27
- [22] Θεοδωρακοπούλου, Στέλλα, Καρανάσου, Ελένη, «Περιγραφή και μελέτη της μηχανής εξωσωματικής κυκλοφορίας του αίματος», *Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι Πειραιά., Αθήνα 2013, σ. 9*
- [23] Σερχάν, Πασχαλίτσα, «Στρατηγικές αντιμετώπισης της υποξυγοναιμίας σε καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις με εξωσωματική κυκλοφορία», Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2019, σσ 27-29.
- [24] Παπακωστάκη, Αναστασία, «Ο ρόλος του νοσηλευτή ως τεχνικός εξωσωματικής κυκλοφορίας» , Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αθήνα 2020 σσ 25, 45-47
- [25] Bain, Barbara J., Bates, Imelda, Laffan, Mike A., & Lewis, Mitchell S., «Πρακτική αιματολογία», Εκδότης «Λαγός Δημήτριος», Μετάφραση:

- Βαβουράκης Ευστάθιος, Κριεμπάρδης Αναστάσιος Γ., Ποζιόπουλος Χρήστος, Αθήνα 2015 σ., 477
- [26] Αποστολάκης, Στρατής, «Καρδιοχειρουργική: Η εξωσωματική κυκλοφορία». Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα 2020 σσ 16-17
- [30] Αναστασιάδης Κυριάκος, Αντωνίτσης Πολυχρόνης, Δελιόπουλος Απόστολος, «Η εξωσωματική κυκλοφορία στην καρδιοχειρουργική», Εκδότης «University Studio Press», Θεσσαλονίκη 2020
- [35] ΤΣΕΒΡΕΝΗΣ, ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ, ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ-ΓΡΙΒΑ ΕΙΡΗΝΗ, «ΑΙΜΟΔΟΣΙΑ», Εκδότης «Λίτσα», Αθήνα 2013 σσ 18-19
- [38] Νενεκίδης, Ιωάννης, Π., «ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΤΟΥ ΟΠΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΩΣΩΜΑΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ», Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα 2011, σσ 31-38.

B. Αγγλική βιβλιογραφία:

A/A

- [5] Hurst, J. Willis, W. Bruce Fye, and Heinz-Gerd Zimmer. "The heart-lung machine was invented twice—the first time by Max von Frey." *Clinical cardiology* 26.9 (2003): 443.
- [6] Castillo, Javier G., and George Silway. "John H. Gibbon Jr, and the 60th anniversary of the first successful heart-lung machine." *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia* 27.2 (2013): 203-207.
- [7] Cohn, Lawrence H. "Fifty years of open-heart surgery." *Circulation* 107.17 (2003): 2168-2170.
- [8] Zhinong, W. A. N. G. "The blossom of “the rose of surgery”—The birth of heart-lung machine." *Journal of Medical Colleges of PLA* 28.1 (2013): 11-19.
- [9] Moller, James H., Sara J. Shumway, and Vincent L. Gott. "The first open-heart repairs using extracorporeal circulation by cross-circulation: a 53-year follow-up." *The Annals of thoracic surgery* 88.3 (2009): 1044-1046.
- [10] Konstantinov, Igor E., and Vladimir V. Alexi-Meskishvili. "Sergei S. Brukhonenko: the development of the first heart-lung machine for total body

- perfusion." *The Annals of thoracic surgery* 69.3 (2000): 962-966.
- [11] Glyantsev, Sergey P., Pavel M. Bogopolsky, and Vakhtang Tchantchaleishvili. "Bryukhonenko's Autojector: The First Apparatus for Cardiopulmonary Bypass and Extracorporeal Life Support." *Asaio Journal* 64.1 (2018): 129-133.
- [12] McDonald, Charles Ian, et al. "Oxidative stress during extracorporeal circulation." *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 46.6 (2014): 937-943.
- [14] Carden, Donna L., and D. Neil Granger. "Pathophysiology of ischaemia-reperfusion injury." *The Journal of pathology* 190.3 (2000): 255-266.
- [15] Clark, Wayne M. (January 5, 2005). "Reperfusion Injury in Stroke". eMedicine. WebMD. Retrieved 2006-08-09.
- [16] John L. Atlee (2007). "Complications in anesthesia". Elsevier Health Sciences. pp. 55-. ISBN 978-1-4160-2215-2. Retrieved 25 July 2010.
- [17] Montford, John R., and Stuart Linas. "How dangerous is hyperkalemia?." *Journal of the American Society of Nephrology* 28.11 (2017): 3155-3165.
- [18] Kawahito, S., Soga, T., Yagi, S., Mita, N., Takaishi, K., Kinoshita, H., ... & Kitahata, H. "Pathophysiology and Complications during Extracorporeal Circulation." *The Journal of Medical Investigation*, 67(3.4), 229-235. (2020).
- [19] Rodemeister, S., Duquesne, M., Adolph, M., Nohr, D., Biesalski, H. K., & Unertl, K. "Massive and long-lasting decrease in vitamin C plasma levels as a consequence of extracorporeal circulation." *Nutrition*, 30(6), 673-678. (2014).
- [20] Guyton, R. A., Mora, C. T., Finlayson, D. C., & Rigatti, R. L. (Eds.). "Cardiopulmonary bypass: principles and techniques of extracorporeal circulation." Springer Science & Business Media. (2012).
- [21] Sarkar, Manjula, and Vishal Prabhu. "Basics of cardiopulmonary bypass." *Indian journal of anaesthesia* 61.9 (2017): 760.
- [27] Tara, S. W., Cheong, R. H. E., & Boonkiangwong, N. "Role of a perfusionist in patient blood management." *ISBT Science Series*, 11(S2), 86-90. (2016).
- [28] Baikoussis, Nikolaos G., Nikolaos A. Papakonstantinou, and Efstratios Apostolakis. "The "benefits" of the mini-extracorporeal circulation in the minimal invasive cardiac surgery era." *Journal of cardiology* 63.6 (2014): 391-396.

- [29] Mahdy, A. M., and Nigel Robert Webster. "Perioperative systemic haemostatic agents." *British journal of anaesthesia* 93.6 (2004): 842-858.
- [31] Gamble, Vanessa Northington. "The provident hospital project: An experiment in race relations and medical education." *Bulletin of the History of Medicine* 65.4 (1991): 457-475.
- [32] Olivier, Albert F. "In Proper Perspective: Daniel Hale Williams, M.D.", 37(1), 96–97. doi:10.1016/S0003-4975(10)60721-7. (1984).
- [33] Cobb, W. Montague. "Daniel Hale Williams—Pioneer and Innovator." *Journal of the National Medical Association* 36.5 (1944): 158.
- [34] Fleming, Alexander.. "The discovery of penicillin." *British Medical Bulletin*, 2(1), 4-5. (1944).
- [36] Nichani, Sanjiv. "An overview of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)." *Paediatrics and Child Health* 21.4 (2011): 170-176.
- [37] Ñamendys-Silva, Silvio A. "ECMO for ARDS due to COVID-19." *Heart & Lung: The Journal of Cardiopulmonary and Acute Care* 49.4 (2020): 348-349.

