

W. Böttcher  
H. Woysch

## Die erste erfolgreiche herzchirurgische Operation mit Hilfe der Herz-Lungen-Maschine

Eingegangen: 23. November 2006  
Akzeptiert: 1. Dezember 2006

### The first operation in cardiac surgery with the aid of a heart lung machine

► **Zusammenfassung** John Heysham Gibbon kam 1930 während der Überwachung einer Patientin mit einer Lungenembolie auf die Idee, eine Maschine zur Umgehung des Lungenkreislaufes zu konstruieren, um eine operative Lungenembolektomie zu erleichtern. Mit einem ersten Modell einer Herz-Lungen-Maschine begann er 1934 mit der Assistenz seiner späteren Ehefrau Mary Hopkinson mit ersten Perfusionsexperimenten bei Katzen. Schon ein Jahr später gelang es einen totalen kardiopulmonalen Bypass über einen Zeitraum von 35 min mit dem anschließenden Überleben des Versuchstieres zu verbinden. Nach Weiterentwicklung und Verbesserung der Perfusionsapparatur infolge der Unterstützung durch das Unternehmen International Business Machines (IBM) konnte schließlich am 6. Mai 1953 erstmals erfolgreich ein Vorhofseptumdefekt mit Hilfe des kardiopulmonalen Bypass unter Sicht verschlossen werden.

► **Schlüsselwörter** Herz-Lungen-Maschine – Gibbon – IBM – Vorhofseptumdefekt – Geschichte

► **Abstract** In 1930 while taking care of a female patient with a pulmonary embolism the idea occurred to John Heysham Gibbon Jr. to develop a machine to bypass the pulmonary circulation and make a surgical pulmonary embolectomy feasible. In 1934 he started with initial perfusion experiments in cats using his first heart-lung machine with the assistance of Mary Hopkinson, his future wife. Only one year later they were able to perform a cardiopulmonary bypass procedure lasting 35 min with the survival of the experimental animal. After improvements and further development of the perfusion apparatus with the engineering support of the company International Business Machines (IBM), an atrial septal defect was successfully closed under surgical vision with the help of cardiopulmonary bypass on May 6, 1953.

► **Key words** Heart-lung machine – Gibbon – IBM – atrial septal defect – history

Wolfgang Böttcher, ECCP (✉)  
Harald Woysch, ECCP  
Kardiotechnik  
Deutsches Herzzentrum Berlin  
13353 Berlin, Germany  
E-Mail: boettcher@dhzb.de

## Einführung

Im 19. Jahrhundert beschäftigten sich nach der initialen Idee von Legallois 1812 mehrere Forscher mit der künstlichen Oxygenation des Blutes und mit Pumpenmechanismen zum Transport des Blutes. Die drei wesentlichen extrakorporalen Oxygenationsprinzipien des Blutes waren bereits erfunden worden: die Bubbleoxygenation (1882), die Filmoxygenation (1890) und der Gasaustausch mit einem biologischen Oxygenator (1895). Auch die Rollerpumpe wurde im 19. Jahrhundert schon zum Transport des Blutes benutzt.

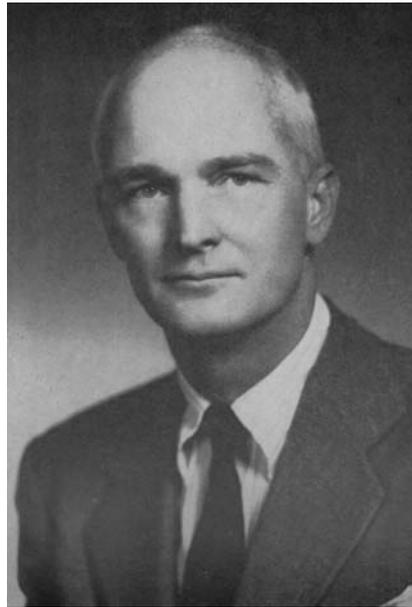
Nachdem zur Jahrhundertwende die Herznaht gelang und kurze Zeit später die Lungenembolie als durchführbar erachtet worden war, dachte man erstmals 1908 daran, die Herz- und Gefäßchirurgie mit einer Form der extrakorporalen Zirkulation zu verbinden. In den zwanziger und dreißiger Jahren begann in der Sowjetunion eine Forschergruppe eine Herz-Lungen-Maschine zu konstruieren, um herzchirurgische Eingriffe zu ermöglichen.

Als „Vater der Herz-Lungen-Maschine“ gilt jedoch ein amerikanischer Chirurg und Forscher, dessen kontinuierliche unbeirrte und zielgerichtete Forschungsarbeit die heutige Herzchirurgie erst ermöglichte.

### Gibbons Idee

Zu der Zeit, als John Heysham Gibbon, Jr. (1903–1973) sein Jahr als „Research Fellow“ in Harvard verbrachte und unter der Leitung des Chirurgen Edward Dandridge Churchill (1895–1972) arbeitete, begann die Geschichte der Entwicklung der Herz-Lungen-Maschine.

Gibbon selbst beschrieb, dass ihm die Idee im Februar 1931 gekommen sei [28–30].



**Abb. 1** John Heysham Gibbon Jr. Der Vater der Herz-Lungen-Maschine, wie ihn Shumacker später bezeichnete [54]. Aus Meade [42]

Doch seine spätere Ehefrau Mary Hopkinson (1903–1986) konnte später den 3. Oktober 1930 als den Tag benennen, „*der die Geschichte der Chirurgie verändern und die zuvor verschlossene Tür zur offenen Herzchirurgie öffnen sollte*“ [31].

An jenem Tage wurden Churchill und dessen Kollege James White um 14.45 Uhr zu einer blassen Patientin gerufen, die nur noch unter Schwierigkeiten atmen konnte [14]. Nur wenige Minuten zuvor sei es der Patientin noch gut gegangen, während sie sich von einem zwei Wochen zurückliegenden Eingriff an der Gallenblase erholte [14]. Die Diagnose einer akuten Lungenembolie wurde rasch gestellt und die Patientin wurde in den vorbereiteten Operationsaal gebracht [29]. Churchill wollte eine Operation auf den Moment verschieben, bis die Patienten dem Tode tatsächlich so nahe sein würde, dass es keine andere Möglichkeit zur Rettung mehr geben würde. Bis zum Jahre 1930 war die Lungenembolekto-

mie zwar mehrfach erfolgreich durchgeführt worden, bis zu diesem Zeitpunkt konnte sie in Amerika jedoch noch nie gelingen [29]. Gibbons Aufgabe bestand darin, die Vitalwerte der Patientin in kurzen Abständen zu erfassen, um festzustellen, wann der Zeitpunkt zu diesem verzweifelten chirurgischen Eingriff gekommen war.

Am Samstag, den 4. Oktober, war um 8.00 Uhr dann kein Blutdruck mehr messbar und die Patientin hörte auf zu atmen [31]. Das bereits vorbereitete Operationsteam begann mit dem Eingriff. Obwohl Churchill innerhalb von sechseinhalb Minuten einen Embolus entfernen konnte und die Öffnung in der Pulmonalarterie wieder verschlossen hatte, überlebte die Patientin die Operation nicht [2, 29, 37].

Während der langen Nacht, die Gibbon bei dieser Patientin verbracht hatte, kam ihm die Idee zur Konstruktion eines künstlichen Umgehungskreislaufes, in den auch eine Apparatur zur Übernahme der Funktion der Lungen integriert sein sollte [29]. Er war sich sicher, dass es mit Hilfe einer solchen extrakorporalen Zirkulation problemlos möglich sein würde, eine Lungenembolektomie durchzuführen.

### Erforschung der Lungenembolie

Zu jener Zeit erforschte Gibbon am Bostoner Massachusetts General Hospital die Auswirkungen einer partiellen Okklusion der Pulmonalarterie auf das Herzzeitvolumen [17].

In einer späteren Publikation seiner Arbeitsgruppe wurde der Beginn der Tierexperimente als der 15. Oktober 1930 angegeben [19]. Mittels einer fein justierbaren Klemme wurde bei Katzen in 14 Experimenten der Grad der Veränderung des Gefäßdurchmes-

sers ermittelt, bei dem der systemische Blutdruck merklich sank [19]. Man fand heraus, dass der Blutdruck keine Veränderung erfuhr, solange nicht mindestens 61–86% des Lumens der Pulmonalarterie verschlossen waren [17, 19]. Bei weiterer Verengung der Pulmonalarterie um 84–96% waren die Auswirkungen dann fatal [17].

Im Januar 1931 teilten Gibbon und seine technische Assistentin Mary Hopkinson dann Churchill ihre Ideen hinsichtlich der Experimente der extrakorporalen Zirkulation mit [31]. Zu etwa der gleichen Zeit wurde aus Gibbon und Hopkinson ein Paar und die beiden heirateten im März 1931 [31]. Beide zogen im Frühjahr 1931 zurück nach Philadelphia und in den folgenden drei Jahren sprach Gibbon mehrere Personen auf seine Idee an, einen pulmonalen Umgehungskreislauf zu entwickeln und das Blut dabei künstlich zu oxygenieren [31]. Allgemein wurde dieses Vorhaben jedoch als immense Zeitverschwendung angesehen und ein Gelingen für unmöglich gehalten [31].

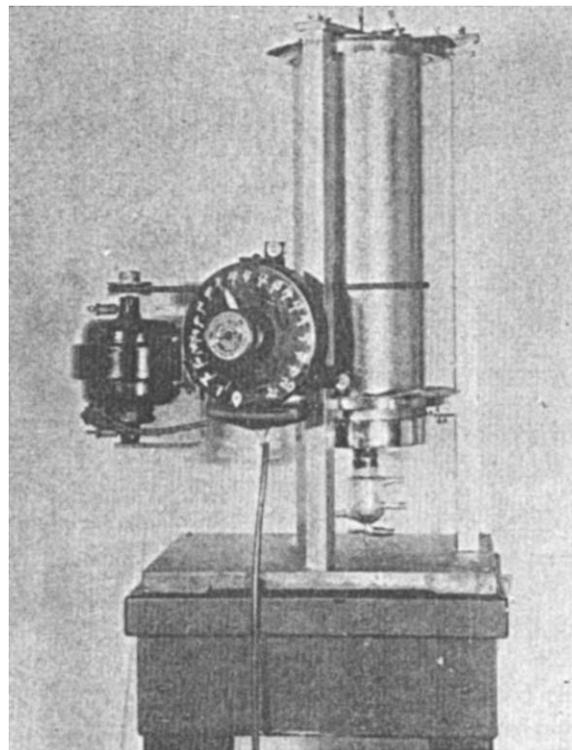
In der Zwischenzeit arbeitete Gibbon mit Eugene M. Landis, einem späteren Harvard-Professor für Physiologie, an anderen Experimenten [18, 39, 40]. Landis bestärkte Gibbon in seinem Vorhaben, eine Perfusionsapparatur zu konstruieren und war davon überzeugt, dass er damit Erfolg haben könnte.

Im Herbst 1934 kehrte Gibbon für ein weiteres Jahr an das Bostoner Massachusetts General Hospital zurück und konnte Churchill dahingehend überzeugen, dass er ihm wiederum ein Labor zur Verfügung stellte. Darüber hinaus bezahlte Churchill Gibbons Ehefrau als technische Angestellte, obwohl er sich hinsichtlich der Konstruktion eines kardiopulmonalen Bypasses nicht allzu enthusiastisch zeigte [31, 37].

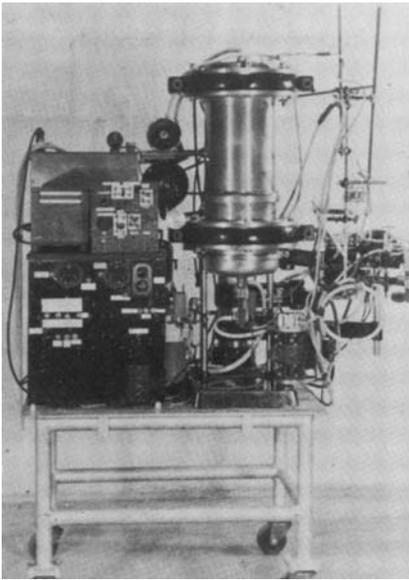
## Gibbons erste Perfusionsapparatur

Bei der Konstruktion einer Herz-Lungen-Maschine sah Gibbon den Teil, der den extrakorporalen Gasaustausch übernehmen sollte, als die größte Herausforderung an. Er suchte zunächst in der bereits vorhandenen Literatur nach Lösungen seines Problems [30]. Zu jener Zeit konnte er von früheren Methoden der künstlichen Oxygenation lesen. Das Blut wurde zu diesem Zweck an textilen Stoffen, auf ebenen Oberflächen oder rotierenden Zylindern in einer Sauerstoffatmosphäre ausgebreitet oder aber Sauerstoff wurde direkt ins Blut geblasen [29]. Seine erste selbst entwickelte Apparatur beschrieb Gibbon in Publikationen der Jahre 1937 und

1939 [20, 21]. In seiner Konstruktion erfolgte der Gasaustausch innerhalb eines sich drehenden vertikalen Metallzylinders. Dieser wurde dann als „Oxygenator mit großem Oberflächen zu Volumen-Verhältnis“ bezeichnet [21]. Der Blutstrom wurde von oben tangential auf die innere Oberfläche des Zylinders geleitet und infolge der Rotation des Zylinders verteilte sich das zu oxygenierende Blut in Form eines dünnen Filmes über die gesamte innere Oberfläche [20]. Dieser Film bewegte sich durch die Schwerkraft abwärts. Innerhalb eines größeren, sich nicht bewegenden Metallzylinders endete eine Metallröhre, durch die eine Gasmischung, die aus 95% Sauerstoff und 5% Kohlendioxyd bestand, eingeleitet wurde [20]. Dieses Gas strömte



**Abb. 2** Gibbons erster Oxygenator in der Herz-Lungen-Maschine, wie er sie bei erfolgreichen Tierexperimenten in den dreißiger Jahren eingesetzt hatte. Ein kardiopulmonaler Bypass von 39 Minuten Dauer konnte mit dieser Apparatur am 10. Mai 1935 während der Okklusion der Pulmonalarterie von einer Katze überlebt werden [20]. In der Bildmitte ist der vertikale zylindrische Oxygenator zu sehen. Davor befindet sich die Regeleinheit für die Umdrehungsanzahl des Oxygenators. Mit freundlicher Genehmigung Excerpta Medica Inc. [30]



**Abb. 3** Das zweite Oxygenationssystem in Form eines vertikalen zylindrischen Oxygenators mit höherer Kapazität. Mit freundlicher Genehmigung Excerpta Medica Inc. [30]

zwischen dem fixen und dem sich drehenden Zylinder und entwich schließlich durch eine obere Öffnung. Das Verhältnis zwischen der Menge Sauerstoff, die in einer bestimmten Zeit vom Blut aufgenommen wurde und der Blutmenge, die sich im Oxygenator befand, konnte in der Folgezeit noch verbessert werden [20]. Durch die Maschine konnte ein Blutfluss von 500 ml/min realisiert werden, ohne dass sich gefährlicher Schaum entwickelte, der zu Embolisationen geführt hätte [20]. Dieser Blutfluss war aber nur für kleine Versuchstiere ausreichend.

Das Blut wurde mit einer Pumpe aus der venösen Kanüle zum Oxygenator gepumpt und mit einer zweiten Pumpe konnte das oxygenierte Blut durch die arterielle Kanüle zurück in das arterielle Gefäßsystem transportiert werden. Dabei kam zunächst eine pulsatil arbeitende de Burgh Daly-Modifikation nach Dale und Schuster zum Einsatz [4, 5]. Um mit diesem pneumatischen Membranpumpensystem einen gerichtete-

ten Blutfluss zu erzielen, waren Ventile notwendig.

### Die ersten Tierversuche

Ab dem Jahr 1934 wurden Katzen mit Gibbons Perfu-sionsapparat durchströmt, um zu demonstrieren, dass ein Versuchstier am Leben gehalten werden konnte, selbst wenn kein Blut mehr durch dessen eigene Lunge floss [31].

Eine der Komplikationen während der Perfusion war darin begründet, dass durch den pulsatischen Sog an der venösen Kanüle häufig die Wand der Jugularvene kollabierte und dadurch die Perfusion zum Stillstand kam [20, 31]. Häufiger resultierten Probleme aber auch aus einer Schaumbildung des arterialisierten Blutes [31]. Eine Methode zur suffizienten Entschäumung des Blutes wurde erst 1950 entdeckt.

Zuweilen erwachten Versuchstiere infolge einer zu flachen Narkose und dislozierten durch Körperbewegung eine Kanüle oder aber zerstörten Teile der Perfu-sionsapparat [31].

Nach einem weiteren Jahr in Boston kehrte Gibbon mit seiner Frau nach Philadelphia zurück, wo sie die Experimente an den Harrison Research Laboratories fortsetzten. Gibbon erfuhr dort Unterstützung von I. S. Radvin hinsichtlich seines Projektes der extrakorporalen Zirkulation [37]. Die Experimente wurden unter sterilen Kautelen weitergeführt [29].

Am 10. Mai 1935 gelang es schließlich, die Pulmonalarterie über einen Zeitraum von bis zu 39 min verschlossen zu halten, währenddessen mit dem pulmonalen Umgehungskreislauf die Herzfunktion und auch der Gasaustausch vollständig übernommen wurde [20]. Ein Versuchstier überlebte nicht nur die Okklusion der Pulmonalarterie, sondern brachte

später noch neun Junge zur Welt [31]. Damit war die prinzipielle Machbarkeit eines künstlichen Kreislaufverfahrens nachgewiesen.

Bis zum Januar 1941 führte Gibbon seine Forschungsarbeit fort, bis sie infolge des zweiten Weltkrieges mit einem Einsatz im Südpazifik unterbrochen wurde [55]. Erst 1944 kehrte Gibbon nach Philadelphia zurück [55].

### International Business Machines (IBM)

Nach dem Krieg verlangte das Problem der mangelhaften Oxygenationskapazität der damaligen Herz-Lungen-Maschine eine Unterstützung durch Ingenieure. Der Dekan der Universität vermittelte Gibbon den Kontakt zu einem jungen Mitarbeiter, der eine Maschine erfunden hatte, mit der es möglich war, die auf einem Tasteninstrument gespielten Töne direkt in Noten auf dem Papier zu verwandeln. Jenes Gerät war mit Hilfe von IBM zur Patentreife entwickelt worden. Man war der Überzeugung, dass es nicht unwahrscheinlich war, IBM auch für Gibbons Idee zu gewinnen, so dass man ihm die benötigte Hilfe zukommen lassen könnte. Während der Weihnachtsferien des Jahres 1946 traf sich Gibbon dann mit dem Direktor der Forschungsabteilung von IBM um den Bedarf einer Herz-Lungen-Maschine darzulegen und die Möglichkeiten einer solchen Konstruktion zu erörtern. Nachdem dieser Gibbons Publikationen zu diesem Thema gelesen hatte, bemerkte er, dass Thomas J. Watson Sr., der Vorstandsvorsitzende von IBM, interessiert sein könnte. In einem kurze Zeit später stattfindenden Treffen zwischen Gibbon und Watson konnte er ihn von seinem Plan überzeugen. Daraufhin wurde Gibbon Unterstützung in vielerlei Hin-

sicht durch IBM versprochen. Ein weiterer Termin mit fünf IBM-Ingenieuren wurde im Januar 1947 vereinbart [30, 57]. Von diesem Zeitpunkt an unterstützte IBM im Rahmen einer fruchtbaren Zusammenarbeit die Entwicklung der Herz-Lungen-Maschine über einen Zeitraum von sieben Jahren [29]. Für Gibbon war jetzt jederzeit Hilfe durch kompetente Ingenieure vorhanden und IBM übernahm die gesamten Kosten der Konstruktion der folgenden drei jeweils weiterentwickelten Herz-Lungen-Maschinen [29].

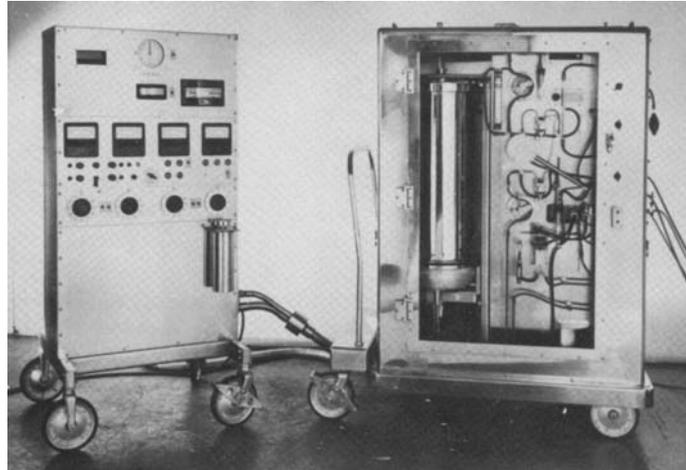
## Modell I

Gibbon wurden unter der Leitung von Al Malmrose die Ingenieure Donald Rex, Leo Farr und John Engstrom als für dieses Projekt zuständige Personen zur Seite gestellt [47].

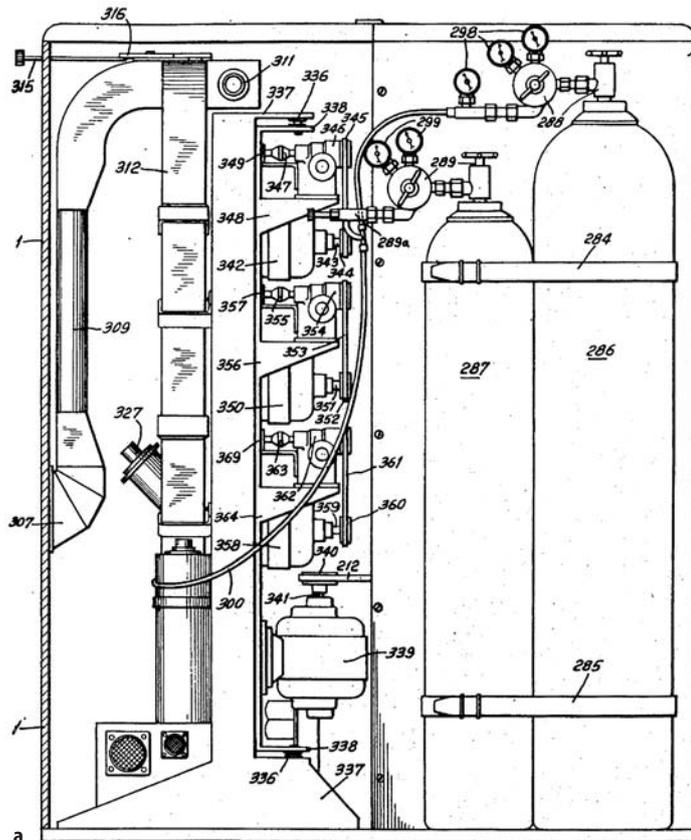
IBM konstruierte eine Maschine und lieferte sie 1949 an das Jefferson College. Dieses erste von IBM gebaute Modell glich in etwa dem von Gibbon zuvor eingesetzten (Patentschrift 2659368). Der Oxygenator sollte nunmehr eine höhere Kapazität aufweisen, um auch größere Versuchstiere perfundieren zu können [47, 48]. Das Reservoir am Boden des zylindrischen Oxygenators war jetzt mit Gold beschichtet, um Interaktionen zwischen dem Blut und dem rostfreien Stahl zu minimieren [47, 48]. Die gesamte Apparatur wurde in zwei großen fahrbaren Schränken untergebracht. Einer enthielt die Elemente der Stromzufuhr und die Steuerung und der zweite enthielt den Oxygenator und die Pumpen [47]. Auf drei der vier großen Anzeigergeräte an der Außenfläche konnte die Förderrate der Pumpen abgelesen werden und die vierte zeigte die Anzahl der Umdrehungen des zylindrischen Oxygenators an [47].

Das bisher pulsatil arbeitende Pumpsystem war jetzt durch Doppelrollerpumpen ersetzt worden

[7, 43]. Michael DeBakey (geb. 1908) hatte diesen Pumpentyp, der prinzipiell schon im 19. Jahr-



**Abb. 4** Das Modell I von IBM. Die gesamte Apparatur wurde in zwei durch Kabel und Schläuche miteinander verbundenen Schränken untergebracht. Mit freundlicher Genehmigung Excerpta Medica Inc. [30]



**Abb. 5a und 5b** Innenansicht der beiden Schränke des Modell I von IBM. Die dritte und letzte Generation von vertikalen zylindrischen Oxygenatoren, eingebaut in einen Schrank neben den nunmehr eingesetzten klappenlosen Rollenpumpen. Im zweiten Schrank befand sich die Gasversorgung. Aus der US-Patentschrift 2659368 (28. Mai 1949) [24]

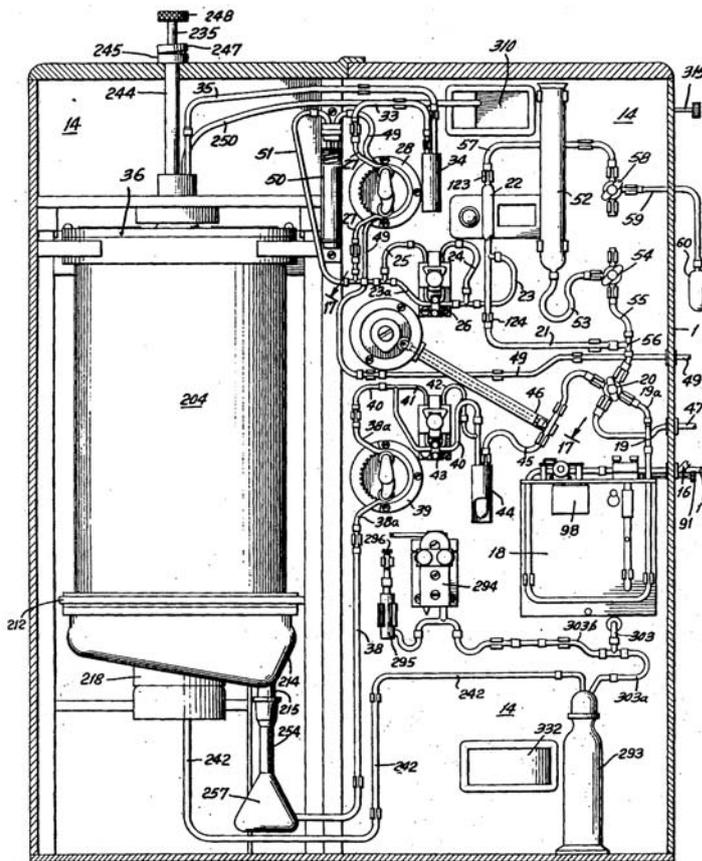


Abb. 5b

hundert entwickelt worden war, in den frühen dreißiger Jahren weiterentwickelt [6]. DeBakey hatte Gibbon den Einsatz seiner Pumpe in dessen Perfusionsapparatur empfohlen und ihm dann ein Modell geschickt, das Gibbon auch in seine Konstruktion integrierte. Die arterielle Pumpe wurde photoelektrisch kontrolliert [48] (Patentschrift 2 659 368) [24].

Doch die Erfahrungen mit der neuen Maschine waren enttäuschend [48]. Nur wenige Versuchstiere überlebten auch nur den partiellen Bypass [48]. Offensichtlich war die Kapazität des Oxygenators nicht einmal für kleine Hunde ausreichend [29, 48]. Außerdem verursachte die extrakorporale Zirkulation eine exzessive Hämolyse. Die photoelektrische Kontrolleinheit, die eigentlich eine Luftembolie verhindern sollte, versagte mehrfach. Dadurch kam es wie-

derholt zu Luftembolien der systemischen Arterien [48].

Hinsichtlich der Lösung des Problems einer mangelhaften Oxygenationskapazität erinnerte man sich dann daran, dass Richards und Drinker schon 1915 mit einem turbulenten Flussmuster in deren Oxygenator die Kapazität des Gasaustausches merklich erhöhen konnten [51]. Gibbons Mitarbeiter Stokes und Flick veränderten das Design des zylindrischen Oxygenators dahingehend, dass jetzt ein turbulentes Flussmuster entstand [56].

Trotzdem wurden weitere Tierexperimente zunächst unterlassen und es sollte eine grundsätzlich neue Maschine entwickelt werden, die endlich den Erfordernissen entsprach. Insbesondere musste eine wesentlich höhere Kapazität des Gasaustausches erreicht werden [48].

## Modell II

Im daraufhin entwickelten Modell II wurde das Problem des Gasaustausches mit einem neuen Oxygenator gelöst. Der bisherige zylindrische Oxygenator wurde durch einen mit Drahtgittern in einer Sauerstoffatmosphäre ersetzt [29]. Dabei kam es maßgeblich auf die Größe dieser Maschen an. Zu kleine Maschen erzeugten keine ausreichende Turbulenz und zu große Maschen gestalteten die Erhaltung eines konstanten Blutfilmes als schwierig [29, 41].

Bei dem neuen Oxygenator lief der Blutfilm von oben über mehrere nebeneinander eingehängte Stahlgitter innerhalb eines Kunststoffgehäuses. Die Anzahl und Größe der Gitter konnte variiert werden und die Oxygenationskapazität wurde auf diese Weise den Bedürfnissen des zu perfundierenden Individuums angepasst.

Eine Rezirkulationspumpe entnahm einen Teil des Blutes, das gerade durch den Oxygenator gelaufen war, um es dem Oxygenator wiederholt zuzuführen. Damit sollte einerseits ein konstanter, nicht abreißender Blutfilm erhalten und andererseits eine weitere Steigerung der Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes bewirkt werden. Dieser Oxygenator funktionierte suffizient und mehrere Versuchstiere konnten einen totalen kardiopulmonalen Bypass überleben [43].

Beim Einsatz der Rollerpumpen als venöse Pumpe bestand jedoch das Problem des Ansaugens infolge des Kollabierens der Cavavenen über der venösen Kanüle auch weiterhin. Zunächst wurde ein kollabierbares Schlauchinterponat zur Überwachung eingesetzt. Später wurde eine elektrische Überwachung der Veränderung des Schlauchdurchmessers eingesetzt [48]. Die venöse Pumpe wurde dann automatisch gestoppt und ein lautes akustisches Signal ertönte. Daraufhin sollte

May 14, 1957

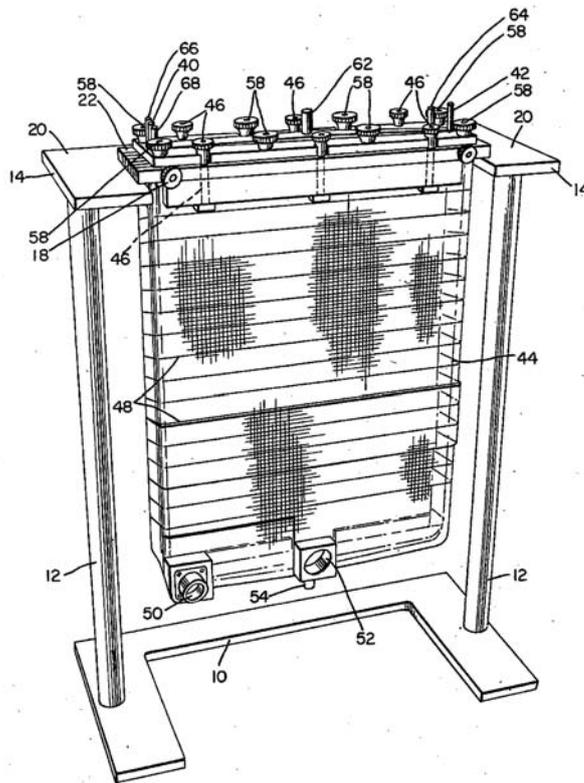
G. V. A. MALMROS ET AL

2,792,002

OXYGENATING UNIT FOR EXTRACORPOREAL CIRCULATION DEVICES

Filed April 9, 1952

5 Sheets-Sheet 1



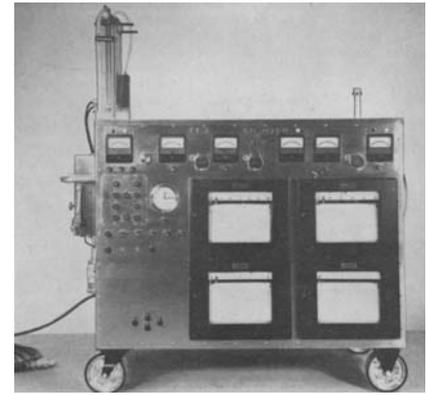
**Abb. 6** Der Gitteroxygenator des Modell II. Dieser Oxygenator bestand aus einem Kunststoffgehäuse, in dem bedarfsabhängig bis zu acht Schirme aus Stahldrahtmaschen eingehängt wurden. Über diese 30 cm breiten und 60 cm hohen Drahtgitter wurde das venöse Blut in Form eines dünnen kontinuierlichen Blutfilmes von oben geleitet. Mit einem Perfusionsfluss von 4,5 l/min konnten in einer Atmosphäre aus Sauerstoff 250 ml/min aufgenommen werden [44]. US-Patentschrift 2792.002 [41]

die Umdrehungszahl durch den Bediener reduziert werden.

Der pH-Wert des arteriellen Blutes wurde in der Maschine ununterbrochen gemessen. Ein ansteigender pH-Wert bewirkte automatisch eine Steigerung der Kohlendioxydfraktion im Ventilationsgas [48]. Außerdem wurde kontinuierlich die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes gemessen. Der arterielle Blutfluss und die Bluttemperatur wurden kontinuierlich ermittelt. Die Temperatur wurde zunächst automatisch geregelt. Durch den extremen Temperaturgradienten an der

kleinen Oberfläche des Wärmetauschers war die Hämolyse jedoch sehr ausgeprägt, so dass man auf dieses Feature verzichten musste [48]. Die Maschine war für den Ausfall der Stromversorgung batteriegepuffert [48].

Seit dem Frühjahr 1951 wurde diese Maschine am Jefferson College im Labor eingesetzt [44]. Im April 1951 konnte ein Hund, der etwa 10 kg wog, eine Bypasszeit von 96 min überleben [29]. Bei den dann folgenden Experimenten wurden bei Versuchstieren künstliche Septumdefekte auf Vorhof- und auch auf Ventrikel-



**Abb. 7** Das Modell II von IBM [25]. Diese Herz-Lungen-Maschine wurde während der legendären erfolgreichen Operation eingesetzt. Die Frontansicht zeigt oben die Anzeigen der Geschwindigkeit der beiden venösen Pumpen, der arteriellen Pumpe und der Rezirkulationspumpe. Die beiden anderen zeigen den Druck in den venösen Linien. Die vier großen Aufzeichnungsgeräte darunter registrieren die Temperatur und den pH-Wert des arterialisierten Blutes, sowie den Blutfluss durch die Maschine und schließlich die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes [47]. Mit Genehmigung des Copyright Clearance Centers (CCC)

ebene geschaffen und diese anschließend mit Hilfe des totalen kardiopulmonalen Bypasses wieder verschlossen [27, 46].

Die Mortalität konnte bei den Versuchstieren von 79% bei den Experimenten vor 1949 auf nur noch 12% in den Monaten von März bis September 1952 gesenkt werden [44].

## Der Vent wird erfunden

Die Ergebnisse der Experimente mit Hunden waren häufiger infolge von Embolisationen durch Luftblasen in die zerebrale, besonders aber in die Koronarzirkulation der Tiere zunichte gemacht worden, wie jeweils in der Autopsie nachgewiesen werden konnte. Diese Luftblasen hatten ihren Ursprung in den zuvor geöffneten Herzhöhlen. Auf unterschiedlichste Weise versuchte Gibbon das Problem zu lösen, indem er beispielsweise das Operationsfeld mit Kohlendioxyd flutete oder aber

Reprinted from MINNESOTA MEDICINE, Volume 37, Pages 171-177, March, 1954

## APPLICATION OF A MECHANICAL HEART AND LUNG APPARATUS TO CARDIAC SURGERY

JOHN H. GIBBON, Jr., M.D.  
Philadelphia, Pennsylvania

IT IS A PLEASURE to be here and to talk about a subject in which I have been interested for many years. The ultimate objective of my work in this field has been to be able to operate inside the heart under direct vision. From the beginning, I have not only been interested in the substitution of a mechanical device for the heart, but also for the lung. We have always considered congenital abnormalities of the heart the most suitable lesions for operative repair. Many of these abnormalities are septal defects. In the presence of a septal defect, shunting the flow of blood around one side of the heart with a pump, will not provide a bloodless field for operative closure of the defect. An apparatus which embodies a mechanical lung, as well as pumps, enables you to shunt blood around both the heart and lungs, thus allowing operations to be performed under direct vision in a bloodless field within the opened heart. Furthermore, an apparatus which embodies a mechanical lung enables you to provide partial support to either a failing heart or failing lung where a major operative procedure is not contemplated. Such an apparatus can also be used as an adjunct during the course of a major operative procedure. This partial support of the cardiorespiratory functions consists in removing venous blood from some peripheral vein continuously, oxygenating the blood and getting rid of the carbon dioxide in it and then injecting the blood continuously in a central direction in a peripheral artery. Of course, such partial circulation, or cardiorespiratory support, requires the use of a mechanical lung in the circuit.

I shall not describe in detail the entire apparatus. I shall merely discuss six aspects of the problem which I consider of fundamental importance. Four of these concern the apparatus itself, and two concern problems which arise on opening the heart and operating within it under direct vision.

The first feature of a mechanical heart-lung

Presented in the Symposium on Recent Advances in Cardiovascular Physiology and Surgery, University of Minnesota, Minneapolis, September 16, 1953.

Dr. Gibbon is Professor of Surgery and Director of Surgical Research, The Jefferson Medical College, Philadelphia, Pennsylvania.

MARCH, 1954

171

apparatus is a suitable pumping mechanism to move the venous blood from the subject, through the apparatus, and back into an artery of the subject. There is no real problem about a pumping apparatus. There are many ways of moving blood through tubing without producing significant amounts of hemolysis. We have used for many years a roller type of pump which does not contain any internal valves. Such pumps are extremely simple. Because of the absence of valves, the blood circuit is easy to clean and there are no stagnate regions where fibrin might be apt to form. There are many other advantages in this type of pump such as the simple and rapid control of the rate of blood flow. The pumps cause no significant hemolysis. In human patients in which we have used the apparatus, hemolysis has always been well below 100 mg. of free hemoglobin per 100 ml. of plasma. In animal experiments, hemolysis is similarly minimal.

The second main feature of a mechanical heart-lung apparatus is the mechanical lung itself. This presents far more difficulties than pumping blood. I am sure that the most efficient apparatus for performing the functions of the lung has not yet been devised. Our present mechanical lung, however, provides a reasonably satisfactory working solution to this problem. The mechanical lung performs the gas exchange required for respiratory function by filtering blood on both sides of screens which have a somewhat larger mesh than ordinary fly screens. These screens are made of stainless steel wire and are suspended vertically and parallel in a plastic chamber. As the blood flows over these screens, it takes up oxygen and gives off carbon dioxide. It should be remembered that it is equally important to remove carbon dioxide from the blood as it is to add oxygen. It is easy to observe that sufficient oxygen is being picked up in the apparatus, as the blue blood entering the oxygenator becomes red as it leaves. This can be determined more accurately, of course, by intermittent sampling or by continuous reading with a Wood cuvette and oximeter. On the other hand, there is no way of estimating the carbon dioxide tension by observing the color of

Von 17 Versuchstieren, die vor der Anwendung eines solchen Vent-Katheters operiert worden waren, erlitten fünf eine Luftembolie. Die folgenden 27 unter Zuhilfenahme des Vents operierten Tiere zeigten dann keine Symptome einer Luftembolie mehr.

### Die ersten klinischen Einsätze

Von dem Einsatz eines Rechtsherz-bypasses berichteten Shumacker und später Hedlund: Bei einem 41-jährigen, schwerstkranken Patienten, der aufgrund von kardialer Dekompensation mit Dyspnoe, ödematösem Abdomen und Beinen innerhalb der letzten Monate wiederholt im Krankenhaus behandelt worden war, hatte man eine Mitralklappenerkrankung angenommen. Dann hatte man den Verdacht, dass sich ein großes Gerinnsel oder ein Myxom im rechten Vorhof befand. Gibbon wurde konsultiert und erklärte, dass mit Hilfe einer Maschine im rechten Vorhof des Patienten operiert werden könne. Frank Albritten führte die Operation am 7. März 1952 durch [54]\*. Miller überwachte währenddessen den extrakorporalen Kreislauf. Unter den Bedingungen des Rechtsherzbypasses wurde der rechte Vorhof eröffnet. Es konnte jedoch keine raumfordernde Struktur entdeckt werden. Da man keine chirurgische Therapieoption mehr sah, beendete man die Bypassphase. Daraufhin wurden die Kontraktionen des Myokards immer schwächer bis das Herz aufhörte zu schlagen. Mittels Herzmassage und Injektionen von Calcium und Adrenalin konnte vorübergehend eine mäßige Kreislaufsituation wieder hergestellt werden. Es wurde dekanüliert

**Abb. 8** Titelseite von Gibbons Bericht der ersten erfolgreichen Operation am offenen Herzen mit Hilfe des totalen kardiopulmonalen Bypass. Der Bericht erschien in der Märzangabe von Minnesota Medicine [25]. Der Inhalt der Publikation war auf dem Symposium „Recent Advances in Cardiovascular Physiology and Surgery“ am 16. September 1953 in Minneapolis vorgestellt worden [23]. Mit Genehmigung des Copyright Clearance Centers (CCC)

die Herzhöhlen mit Elektrolytlösungen zu entlüften versuchte. Schließlich hatte wohl Bernard J. Miller 1952 die Idee, die Luft mit einem Kunststoffschlauch, der zuvor in die Herzhöhle eingelegt worden war, zu evakuieren [45].

Während Albritten zunächst den Weg über den linken Vorhof präferierte, blieb man bei dem Vorschlag von Miller, einen Vent über den linksventrikulären Apex einzulegen und mit einer Unterdruckquelle zu verbinden [32, 33].

\* Hedlund KD, Tucker SL (2006) Right heart bypass in 1952: An early attempt by Gibbon's team to treat a suspected right atrial tumor. The Academy Newsletter (AACN) Fall: 5-9

**Tab. 1** Gibbons klinische Einsätze der HLM

Februar 1952	15 Monate alter Säugling mit offenem Ductus anstatt eines ASD	[52]
7. März 1952	Rechtsatriale Inspektion im Rechtsherzbypass	[54]
April 1952 (Bericht)	Partieller Bypass bei älterer Patientin	[22]
6. Mai 1953	Erfolgreicher Septumverschluss bei 18-jähriger Patientin	[25]
Juli 1953	5 1/2-jähriges Mädchen mit ASD	[52]
Juli 1953	5 1/2-jähriges Mädchen mit ASD, VSD und offenem Ductus	[52]
Mai 1954 (Bericht)	VSD-Verschluss bei 38-jährigem Patienten	[26]

**Tab. 2** Einsätze der HLM anderer amerikanischer Arbeitsgruppen vor Gibbons Erfolg

6. April 1951	Clarence Dennis	Septumverschluss	Verstorben [8]
31. Mai 1951	Clarence Dennis	Septumverschluss	Verstorben [8, 49]
17. Januar 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
24. Januar 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
15. März 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
3. April 1952	James A. Helmsworth	Venovenöser Bypass	Verstorben [35]
12. Mai 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
20. Mai 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
26. Juni 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
18. November 1952	William Mustard	TGA-Korrekturversuch	Verstorben [50]
1953 (Bericht)	James A. Helmsworth	Septumverschluss	Verstorben [36]
27. April 1953	George Clowes	Korrekturversuch	Verstorben [3]
1953 (Bericht 1955)	Maxwell Chamberlain	Septumverschluss	Überlebt [1]



**Abb. 9** Eine Fotografie während der ersten erfolgreichen Operation am offenen Herzen mit Hilfe der Herz-Lungen-Maschine am 6. Mai 1953. Gibbon (Mitte rechts) wird von seinem ersten Assistenten Frank F. Albritten (links daneben) unterstützt. Die weiteren Assistenten waren Bernhard J. Miller und Thomas F. Nealon Jr. Mit freundlicher Genehmigung des Verlages Elsevier [29]

und der Thorax verschlossen. Kurz darauf entwickelte sich ein ausgeprägtes Lungenödem und der Patient starb [54]. Eine Autopsie

ergab ein dilatiertes, hypertrophiertes Herz mit den mikroskopischen Anzeichen einer interstitiellen Myokarditis.

Im Rahmen eines Diskussionsbeitrages berichtete Gibbon von einem klinischen Einsatz seiner Herz-Lungen-Maschine am 17. April 1952. Gibbon benutzte seine Maschine für einen partiellen Bypass. Bei einer älteren anurischen Patientin mit Zyanose und Ödemen hielt er über einen Zeitraum von einer Dreiviertelstunde einen Perfusionsfluss von 300 ml/min aufrecht. Er benutzte als Gefäßzugänge die rechte Radialarterie und die dilatierte rechte externe Jugularvene. Das Gesicht der Patientin wurde mit Beginn der extrakorporalen Zirkulation rosig. Nach Beendigung der Perfusion wurde die Patientin wieder in ihr Zimmer gebracht, wo sie drei Stunden später starb [22].

Die erste Patientin, bei der unter Zuhilfenahme der Herz-Lungen-Maschine ein Herzfehler korrigiert werden sollte, war ein 15 Monate alter weiblicher Säugling. Die diagnostizierenden Kardiologen waren sich zuvor einig, dass das Herzversagen auf einen großen Vorhofseptumdefekt (ASD) zurückzuführen sei [25]. Eine Katheterisierung konnte aufgrund der ödematösen Extremitäten nicht durchgeführt werden [25]. Die Operation fand im Februar 1952 statt [52]. Doch nachdem die Herz-Lungen-Maschine konnektiert und der rechte Vorhof eröffnet worden war, konnte kein entsprechender Defekt gefunden werden; das atriale Septum war intakt [29]. Man fand zunächst auch kein anderes, während dieses Eingriffes korrigierbares Vitium. Die kleine Patientin verstarb noch auf dem Operationstisch. In einer späteren Autopsie konnte dann ein großer offener Ductus arteriosus gefunden werden [25].

Einer perfekten präoperativen Diagnostik wurde danach ein größerer Stellenwert beigemessen: Um sich die Technik der Herzkatheterisierung anzueignen, schickte Gibbon seinen Residenten Robert

G. Johnson zu Richard Bing nach Alabama [52].

### Der erste erfolgreiche totale kardiopulmonale Bypass

Am 6. Mai 1953 wurde Gibbons Traum Wirklichkeit. Die 18 Jahre alte Cecelia Bavolek hatte bereits ein halbes Jahr vor dem operativen Eingriff Symptome eines beginnenden Rechtsherzversagens gezeigt. Am 27. März schrieb Donald Burns Lewis in einer Überweisung zu Gibbon als Diagnose „kompenzierte Mitralstenose“ [16].

Eine Herzkatheterisierung am 6. April 1953 und eine weitere am 13. April zeigten einen großen Septumdefekt [52]. Obwohl man zunächst von einem Ventrikelseptumdefekt ausging und im rechten Ventrikel auch eine hohe Sauerstoffsättigung messen konnte, schloss man aufgrund der im Katheterbefund niedrigen rechtsventrikulären und pulmonalarteriellen Druckwerte doch auf einen ASD. Man plante, am 6. Mai 1953 aufgrund der nicht klaren Diagnose zunächst eine explorative Operation vorzunehmen, wobei Gibbons Herz-Lungen-Maschine bereitstehen sollte.

Die Herz-Lungen-Maschine, schon am Vortage vorbereitet, wurde nun mit heparinisiertem blutgruppengleichen Spenderblut gefüllt. Man benötigte dazu etwa 25 Spender, meist Medizinstudenten, die sich am Morgen der Operation einfanden [15].

Die Operation wurde von Gibbon selbst durchgeführt, es assistierten ihm Frank F. Albritten, Bernard J. Miller und Thomas F. Nealon. Im Anschluss an eine bilateral im 4. Interkostalraum querverlaufende Thoraxeröffnung wurde eine ausgeprägte rechtsventrikuläre Hypertrophie mit einer großen Pulmonalarterie festgestellt, so dass man jetzt von einem Septumdefekt ausgehen konnte. Nach der Eröffnung des

Perikards wurde auch ein dilatierter rechter Vorhof sichtbar. Durch Invagination mit seinem Finger palpizierte Gibbon einen großen ASD, wobei er mit dem Finger leicht die Trikuspidalklappe passieren konnte. Da er einen Ventrikelseptumdefekt (VSD) nicht ertasten konnte, entschied er sich, den ASD während eines totalen kardiopulmonalen Bypasses unter Sicht zu verschließen.

Mit gewissen Schwierigkeiten wurde die linke Arteria subclavia mit einer arteriellen Kanüle aus Kunststoff kanüliert. Anschließend kanülierte man die Vena cava inferior mit einem großen Plastikrohr und danach die obere Hohlvene mit einem ähnlichen Material. Mit Beginn der extrakorporalen Zirkulation wurde plötzlich eine Fibrininformation auf dem oberen Teil der Gitter des Oxygenators bemerkt, die dazu führte, dass der wichtige gleichmäßige Blutfluss auf einigen Gittern verloren ging. Man stellte fest, dass die Heparinmenge der Spenderblutfüllung der Herz-Lungen-Maschine wohl nicht ausreichend war. Trotzdem wurde die Operation fortgesetzt, indem ein Vent über eine Inzision im Apex in den linken Ventrikel eingeführt wurde. Der Blutfluss aus beiden Hohlvenen wurde anschließend komplett in die Herz-Lungen-Maschine geleitet und damit wurde in einen totalen kardiopulmonalen Bypass übergegangen. Der rechte Vorhof wurde eröffnet und unter Einsatz der Kardiotomie-saugung konnte tatsächlich ein ASD dargestellt werden. Wie schon zuvor erfolgreich bei Versuchstieren durchgeführt, war geplant den Defekt mit einem Perikardpatch zu verschließen. Doch nach einem Einwand von Albritten, dass der Defekt wohl schneller und einfacher direkt mit einer fortlaufenden Naht verschlossen werden könnte, folgte Gibbon diesem Vorschlag. Mit einer Naht wurde eine weitere kleine, ver-

bliebene Öffnung ebenfalls verschlossen. Dann folgte der Verschluss des Vorhofes und nach 26 min im totalen kardiopulmonalen Bypass wurden die Ligaturen der Hohlvenenkanülen gelöst. Im partiellen kardiopulmonalen Bypass wurde nun auch der Vent wieder aus dem linken Ventrikel entfernt. Nach einer Perfusionszeit von 45 min wurde die extrakorporale Zirkulation beendet. Die venösen Kanülen und anschließend auch die arterielle Kanüle wurden entfernt und der Thorax verschlossen. Bei der Hautnaht bewegte sich die Patientin bereits ein wenig. Eine Stunde später auf der Station war sie vollständig erwacht, erkannte ihre Mitmenschen und sprach mit ihnen.

Am Abend nach der Operation telefonierte Gibbon mit zwei Berufskollegen und informierte sie über den günstigen Verlauf seiner Operation: Alfred Blalock in Baltimore und Clarence Crafoord in Stockholm [52].

### Gibbons weitere Operationen

Im Juli 1953 operierte Gibbon zwei weitere Patienten. Beide Mädchen waren mit fünfeneinhalb Jahren gleich alt [25]. Bei der ersten Patientin war durch Katheterisierung ein ASD diagnostiziert worden. Zu Beginn der Operation, noch bevor für den kardiopulmonalen Bypass kanüliert worden war, trat plötzlich ein Herzstillstand auf. Versuche, das Herz zu reanimieren, blieben erfolglos. Erst mit Beginn der extrakorporalen Zirkulation begann das Herz wieder regelmäßig zu schlagen. Anschließend wurden während dieser Operation fünf einzelne Septumdefekte verschlossen. Nachdem der Vorhof verschlossen und die Bündelung der Hohlvenen gelöst worden war, konnte das Herz der Patientin die

Pumpfunktion nicht mehr übernehmen. Mit jedem Entwöhnungsversuch von der extrakorporalen Zirkulation dilatierte das Herz. Die Patientin konnte auch nach drei bis vier Stunden Perfusionenzeit nicht erfolgreich von der Herz-Lungen-Maschine getrennt werden und verstarb.

Ein weiteres Mädchen, bei dem ein ASD diagnostiziert worden war, konnte durch die Katheteruntersuchung keine sichere Diagnose hinsichtlich eines zusätzlich vermuteten VSD gelingen. Intraoperativ zeigte dann sich nicht nur ein ASD, sondern außerdem auch ein VSD sowie ein offener Ductus arteriosus. Aufgrund einer exzessiven Sichtbehinderung durch herausströmendes Blut wurde der Vorhof wieder verschlossen und dekanüliert. Das Kind starb, wie es das Team befürchtet hatte, da der Herzfehler nicht behoben worden war [25].

Im Mai 1954 berichtete Gibbon schließlich im Rahmen eines Diskussionsbeitrages von einem weiteren Einsatz seiner Herz-Lungen-Maschine. Bei einem 38 Jahre alten Patienten wurde ein VSD mit vier Nähten verschlossen. Die 26 Minuten dauernde Perfusionenzeit wurde zwar überstanden, der Patient starb jedoch fünf Stunden nach der Operation [26].

Gibbon zeigte sich nach diesen erfolglosen Operationen maximal enttäuscht. Er verkündete ein Moratorium für ein Jahr, in dem man keine weiteren herzchirurgischen Eingriffe mehr durchführen wollte [52]. Er selbst teilte mit, dass er sich nunmehr den Erkrankungen der Leber zuwenden werde [13].

Die Herz-Lungen-Maschine wurde in ihre Einzelteile zerlegt und mit Hilfe der noch weiterhin benötigten Teile wurde von IBM eine neue Maschine – das Modell III konstruiert [57]. Es war die letzte Herz-Lungen-Maschine, die von IBM ausgeliefert wurde. Sie erreichte das Jefferson Medical Col-

lege im Juli 1954. Die Baupläne dieser Version wurden von etwa einem Dutzend Institutionen weltweit angefordert und von IBM geliefert.

Ein modifizierter Nachbau des Modell II fand als „Mayo-Gibbon Pump-Oxygenator“ in Rochester seit dem 22. März 1955 Anwendung. Die Arbeitsgruppe um John Webster Kirklin (1917–2004) konnte die erste ‚erfolgreiche‘ Serie von acht Operationen mit Hilfe dieser Herz-Lungen-Maschine präsentieren [38].

### Die Versuche anderer Arbeitsgruppen

Clarence Dennis (1909–2005) hatte 1947 in Minneapolis mit der Entwicklung einer Herz-Lungen-Maschine begonnen, wobei auch hier nach einem Besuch in Philadelphia die Vorarbeit von Gibbon als Vorbild diente [11]. Zwar hatte Claude Beck ihnen noch 1949 vorgeschlagen, die Oxygenation mit einer Hundelunge durchzuführen, aber man entschied sich später doch für die Entwicklung eines mechanischen statt der Verwendung eines biologischen Oxygenators [9].

Dennis führte dann auch am 5. April 1951 die weltweit erste extrakorporale Zirkulation mit totalem Bypass der 6-jährigen Patricia Lee Anderson durch [8, 12]. Er benutzte dazu seine Maschine mit 11 Filmscheiben, jede 38 cm im Durchmesser. Diese Scheiben aus rostfreiem Stahldrahtgeflecht rotierten um eine zentrale Achse und Blut wurde mittels schmaler Düsen auf die Scheiben geleitet. Durch die bei der Rotation entstehende Zentrifugalkraft wurde das Blut filmartig auf den Scheiben ausgebreitet, wodurch bis zu 6 l/min mit Sauerstoff gesättigt werden konnten [53]. Die Pumpfunktion übernahmen hierbei modifizierte Dale-Schuster-Pumpen. Statt eines präoperativ diag-

nostizierten isolierten Septumdefektes zeigte sich ein AV-Kanal, den zu jener Zeit noch niemand korrigieren konnte. Außerdem ließen die übermäßigen Blutmengen keine ausreichende chirurgische Sicht zu. Die schwache Herzfunktion zum Ende der extrakorporalen Zirkulation wurde durch die Transfusion von großen Mengen Zitratblutes erklärt. Nach 40 min Bypasszeit überlebte die Patientin diesen Eingriff nicht.

Einige Wochen später, am 31. Mai 1951, wurde mit Hilfe dieser Herz-Lungen-Maschine bei der zwei Jahre alten Sheryl L. Judge ein Vorhofseptumdefekt verschlossen [49]. Dies hätte die erste weltweit erfolgreiche Operation dieser Art werden können, wenn nicht durch ein sich leerendes Reservoir eine massive Luftembolie verursacht worden wäre. Eine entsprechende Sicherheitsschaltung war versehentlich nicht aktiviert worden [11, 36]. Die Patientin starb nach acht Stunden [10, 11].

Am 17. Januar 1952 versuchte William Thornton Mustard (1914–1987) in Toronto erstmals mittels extrakorporaler Zirkulation einer acht Monate alten Patientin mit einer Transposition der großen Gefäße (TGA) chirurgisch zu helfen [50]. Mit dieser Patientin begann eine Serie von sieben Patienten, die im Zeitraum bis zum 18. November 1952 mit Hilfe der extrakorporalen Zirkulation mit einer biologischen Lunge, die jeweils von Affen stammten, perfundiert worden waren [50]. Keiner dieser Patienten überlebte den Eingriff, alle waren zuvor schon als hoffnungslose Fälle angesehen.

George H.A. Clowes Jr. (1915–1988) versuchte in Cleveland am 27. April 1953 einem Frühgeborenen das Leben zu retten. Unmittelbar nach der Geburt zeigte sich eine schwere Zyanose, die sich stetig verschlechterte. In einer verzweifelten Aktion hoffte man unter extrakorporaler Zirku-

lation einen korrigierbaren Herzfehler zu finden. Nachdem der Patient im Operationssaal eintraf sistierte die Atmung und bald folgte ein Herzstillstand. Mit Bypassbeginn verschwand die Zyanose, die Atmung setzte wieder ein und das Herz begann wieder zu schlagen. Ein Defekt wurde jedoch nicht gefunden. Nach 84 min wurde die Perfusion aufgrund mechanischer Probleme gestoppt. Die Zyanose trat sofort wieder auf und der Patient starb 20 min später [3]. Bis zum Februar 1954 brachte Clowes die Herz-Lungen-Maschine noch bei zwei weiteren erwachsenen Patienten

zur Anwendung. Beide Patienten starben jedoch.

James Alexander Helmsworth (\*1915) berichtete 1953 aus Cincinnati von einem VSD-Verschluss bei einem 4-jährigen Jungen unter extrakorporaler Zirkulation, der jedoch schon 16 Stunden nach der Operation verstarb [36]. Helmsworth hatte schon am 3. April 1952 einen 75 min dauernden partiellen venovenösen Bypass bei einem 45-jährigen Patienten mit einer ausgedehnten Lungenfibrose mit Cor pulmonale durchgeführt. Auch wenn dieser Patient anschließend wieder aus dem Krankenhaus entlassen wer-

den konnte, starb er dennoch einige Wochen später [34, 35].

Von einem erfolgreichen Verschluss eines ASD während einer halbstündigen Bypasszeit berichtete J. Maxwell Chamberlain (1908–1968) aus New York im Rahmen eines Diskussionsbeitrages erst im April 1955 [1]. Zu jenem Zeitpunkt habe seine 18-jährige Patientin die Operation schon zwei Jahre überlebt. Vermutlich handelt es sich dabei um die zweite erfolgreiche Operation am offenen Herzen mit Hilfe der Herz-Lungen-Maschine überhaupt.

## Literatur

- Chamberlain JM (1955) Diskussion zu: Lillehei CW, Cohen M, Warden HE, Read RC, Aust JB, DeWall RA, Varco RL (1955) Direct vision intracardiac surgical correction of the tetralogy of Fallot, pentalogy of Fallot, and pulmonary atresia defects. Report of first ten cases. *Ann Surg* 142:444
- Churchill ED (1934) The mechanism of death in massive pulmonary embolism. *Surg Gynecol Obstet* 59:513–517
- Clowes GHA Jr, Neville WE, Hopkins A, Anzola J, Simeone FA (1954) Factors contributing to the success or failure in the use of a pump oxygenator for complete bypass of the heart and lung, experimental and clinical. *Surgery* 36:557–579
- Dale HH, Schuster EHJ (1928) A double perfusion-pump. *J Physiol (Lond)* 64:356–364
- de Burgh Daly I (1933) A seven horse-power Austin engine adapted as a blood pump. *J Physiol (Lond)* 77(Suppl):36–37
- DeBakey ME (1934) A simple continuous-flow blood transfusion instrument. *New Orleans Med Surg J* 87:386–389
- DeBakey ME (2003) John Gibbon and the heart-lung machine: a personal encounter and his import for cardiovascular surgery. *Ann Thorac Surg* 76:S2188–2194
- Dennis C, Spring DS Jr, Nelson GE, Karlson KE, Nelson RM, Thomas JV, Eder WP, Varco RL (1951) Development of a pump-oxygenator to replace the heart and lungs; an apparatus applicable to human patients and application in one case. *Ann Surg* 134:709–721
- Dennis C (1952) Diskussion zu: Fischer HW, Albert H, Riker WL, Potts WJ (1952) Successful experimental maintenance of life by homologous lungs and mechanical heart. *Ann Surg* 136:482
- Dennis C, Spreng DS Jr, Young L, Nelson GE, Karlson KE, Pereyma C (1952) Acute metabolic changes associated with employment of a pump-oxygenator to supplant the heart and lungs. *Surg Forum* 2:165–171
- Dennis C (1954) Diskussion zu: Gibbon JH Jr (1954) Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. *Minn Med* 37:179–180
- Dennis C (1985) Perspective in review. One group's struggle with development of a pump-oxygenator. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 31:1–11
- Dobell AR (1982) John H Gibbon Jr. Part II. Personal reminiscences. *Ann Thorac Surg* 34:342–344
- Fou AA (1997) John H Gibbon. The first 20 years of the heart-lung machine. *Tex Heart Inst J* 24:1–8
- Fraser JG (2003) Retrospective on Dr Gibbon and his heart-lung machine. *Ann Thorac Surg* 76: S2197–2198
- Galletti PM, Mora CT (1995) Cardiopulmonary bypass: the historical foundation, the future promise. In: Mora CT (ed) *Cardiopulmonary bypass. Principles and techniques of extracorporeal circulation*. Springer, New York, pp 3–18
- Gibbon JH Jr, Hopkinson M, Churchill ED (1932) Changes in circulation produced by gradual occlusion of the pulmonary artery. *J Clin Invest* 11:543–553
- Gibbon JH Jr, Landis EM (1932) Vasodilatation in the lower extremities in response to immersing the forearms in warm water. *J Clin Invest* 11:1019–1036
- Gibbon JH Jr, Churchill ED (1936) The physiology of massive pulmonary embolism: an experimental study of the changes produced by obstruction to the flow of blood through the pulmonary artery and its lobar branches. *Ann Surg* 104:811–822
- Gibbon JH Jr (1937) Artificial maintenance of circulation during experimental occlusion of pulmonary artery. *Arch Surg* 34:1105–1131
- Gibbon JH Jr (1939) An oxygenator with a large surface-volume ratio. *J Lab Clin Med* 24:1192–1198
- Gibbon JH Jr (1952) Diskussion zu: Fischer HW, Albert H, Riker WL, Potts WJ (1952) Successful experimental maintenance of life by homologous lungs and mechanical heart. *Ann Surg* 136:183–184

23. Gibbon JH Jr (1953) Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. In: *Recent Advances in Cardiovascular Physiology and Surgery*. A Symposium Presented by the Minnesota Heart Association and the University of Minnesota, Minneapolis, University of Minnesota, pp 107–113
24. Gibbon JH Jr, Malmros GVA, Engstrom JR, Barber EA Jr (1953) Extracorporeal circulation device. United States Patent Office: Patent No. 2659368, Application May 28, 1949. Patented Nov 17, 1953
25. Gibbon JH Jr (1954) Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. *Minn Med* 37:171–187
26. Gibbon JH Jr (1954) Diskussion zu: Warden HE, Cohen M, Read RC, Lillehei CW (1954) Controlled cross circulation for open intracardiac surgery: physiologic studies and results of creation and closure of ventricular septal defects. *J Thorac Surg* 28:343
27. Gibbon JH Jr, Miller BJ, Dobell AR, Engell HC, Voigt GB (1954) The closure of interventricular septal defects in dogs during open cardiomy with the maintenance of the cardiorespiratory functions by a pump-oxygenator. *J Thorac Surg* 28:235–240
28. Gibbon JH Jr (1968) Development of the artificial heart and lung extracorporeal blood circuit. *JAMA* 206:1983–1986
29. Gibbon JH Jr (1970) The development of the heart-lung apparatus. *Rev Surg* 27:231–244
30. Gibbon JH Jr (1978) The development of the heart-lung apparatus. *Am J Surg* 135:608–619
31. Gibbon M (1978) Personal recollections of the earliest years of the development of the heart-lung machine. *J Extra Corpor Technol* 10:77–88
32. Hedlund KD (2001) A tribute to Frank F Albritten Jr. Origin of the left ventricular vent during the early years of open-heart surgery with the Gibbon heart-lung machine. *Tex Heart Inst J* 28:292–296
33. Hedlund KD (2004) Erratum letter: origin of the left ventricular vent. *Tex Heart Inst J* 31:107–108
34. Helmsworth JA (1952) Diskussion zu: Dodrill FD, Hill E, Gerisch R (1952) Some physiologic aspects of the artificial heart problem. *J Thorac Surg* 24:152
35. Helmsworth JA, Clark LC Jr, Kaplan S, Sherman RT, Largen T (1952) Clinical use of extracorporeal circulation with oxygenator pump. *JAMA* 150:451–453
36. Helmsworth JA, Clark LC Jr, Kaplan S, Sherman RT (1953) An Oxygenator-pump for use in total by-pass of heart and lungs; laboratory evaluation and clinical use. *J Thorac Surg* 26:617–631; discussion 631–632
37. Hill JD (1982) John H Gibbon Jr. Part I. The development of the first successful heart-lung machine. *Ann Thorac Surg* 34:337–341
38. Kirklin JW, DuShane JW, Patrick RT, Donald DE, Hetzel PS, Harshbarger HG, Wood EH (1955) Intracardiac surgery with the aid of a mechanical pump-oxygenator system (Gibbon type): report of eight cases. *Mayo Clin Proc* 30:201–206
39. Landis EM, Gibbon JH Jr (1933) The effects of temperature and tissue pressure on the movement of fluid through the human capillary wall. *J Clin Invest* 12:105–138
40. Landis EM, Gibbon JH Jr (1933) The effects of alternate suction and pressure on circulation in the lower extremities. *J Clin Invest* 12:925–961
41. Malmros GVA, Rex DK (1957) Oxygenating unit for extracorporeal circulation devices United States Patent Office: Patent No. 2792002. Jefferson Medical College of Philadelphia, Application April 9, 1952. Patented May 17, 1957
42. Meade RH (1961) A history of thoracic surgery. Charles C Thomas, Springfield, Illinois
43. Miller BJ, Gibbon JH Jr, Gibbon MH (1951) Recent advances in the development of a mechanical heart and lung apparatus. *Ann Surg* 134:694–708
44. Miller BJ, Gibbon JH Jr, Feinberg C (1953) An improved mechanical heart and lung apparatus. Its use during open cardiomy in experimental animals. *Med Clin North Am* 37:1603–1624
45. Miller BJ, Gibbon JH Jr, Greco VF, Cohn CH, Albritten FF Jr (1953) The use of a vent for the left ventricle as a means of avoiding air embolism to the systemic circulation during open cardiomy with the maintenance of the cardio-respiratory function of animals by a pump-oxygenator. *Surg Forum* 4:29–33
46. Miller BJ, Gibbon JH Jr, Greco VF, Smith BA, Cohn CH, Albritten FF Jr (1953) The production and repair of interatrial septal defects under direct vision with the assistance of an extracorporeal pump-oxygenator circuit. *J Thorac Surg* 26:598–616; discussion 631–632
47. Miller BJ (1982) The development of heart lung machines. *Surg Gynecol Obstet* 154:403–414
48. Miller BJ (2003) Laboratory work preceding the first clinical application of cardiopulmonary bypass. *Perfusion* 18:145–154
49. Miller GW (2000) King of hearts. The true story of the maverick who pioneered open heart surgery. Times Books, Randomhouse, Inc, New York
50. Mustard WT, Chute AL, Keith JD, Sirsek A, Rowe RD, Vlad P (1954) A surgical approach to transposition of the great vessels with extracorporeal circuit. *Surgery* 36:39–51
51. Richards AN, Drinker CK (1915) An apparatus for the perfusion of isolated organs. *J Pharmacol Exp Ther* 7:467–483
52. Romaine-Davis A (1991) John Gibbon and his heart-lung machine. University of Pennsylvania Press, Philadelphia
53. Schmutzter KJ, Marable SA, Raschke E, Maloney JV Jr, Longmire WP (1958) Zur Problematik des extrakorporalen Kreislaufes. *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir* 290:64–85
54. Shumacker HB Jr (1999) A dream of the heart. The life of John H Gibbon Jr – Father of the heart-lung machine. Fithian Press, Santa Barbara
55. Shumacker HB Jr (2003) Reminiscences of John H. Gibbon, Jr, MD. *Ann Thorac Surg* 76:S2195–2196
56. Stokes TL, Flick JB Jr (1950) An improved vertical cylinder oxygenator. *Proc Soc Exp Biol Med* 73:528–529
57. Taylor R (1957) A mechanical heart-lung apparatus. *IBM J Res Develop* 1:330–340