

Digitales Supplement zu

Vergleich der aktuell verfügbaren Hämoadsorptionsverfahren während der extrakorporalen Zirkulation

Comparison of available hemoadsorption methods during extracorporeal circulation

Thümler C., Maier S., Münch F.

Im digitalen Supplement ist eine detaillierte technische Beschreibung der im Review-Artikel bedachten Adsorber hinterlegt. Des Weiteren wurden alle gefundenen relevanten Studien in einer Einzelbetrachtungsanalyse aufgeführt.

Adsorberbeschreibungen

CytoSorb

CytoSorbents Europe GmbH, mit Sitz in Berlin, ist eine Tochtergesellschaft der CytoSorbents Corporation mit Sitz in New Jersey, USA. Das Unternehmen ist spezialisiert auf Hämoadsorptions-Lösungen für Mensch und Tier. In ihrer eigens zusammengestellten Literaturdatenbank werden Artikel und Studien in Bezug auf die Verwendung ihrer Produkte gesammelt und öffentlich zur Verfügung gestellt [1].

CytoSorbents stellt den Mittelmolekül-Adsorber „CytoSorb 300“ her. Dieser ist für Menschen zugelassen, CE-zertifiziert (Conformité Européenne) und entspricht somit den europäischen Standards für ein Medizinprodukt. In den USA hat das Produkt über die FDA (U.S. Food and Drug Administration) bisher lediglich eine Notfallzulassung (FDA Emergency Use Authorization) bei sehr kritischen COVID-19-Erkrankungen erhalten. Außerdem hat CytoSorb durch die FDA eine Breakthrough-Devices-Designation-Zulassung erhalten, diese wirkt bei notfallmäßigen Operationen an Herz und Thorax und sorgt für eine Reduktion von Ticagrelor während der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) [2,3].

Die Technologie kann extrakorporal als Stand-Alone-System, in der EKZ oder ECMO (Extrakorporale Membranoxygenierung), aber auch in vielen Dialysesystemen eingesetzt werden. Der CytoSorb300 ist initial als Zytokinadsorber zugelassen worden. Weitere Einsatzgebiete bieten die Antithrombotikaentfernung von Ticagrelor und Rivaroxaban während der EKZ. Bei Leberfunktionsstörungen kann Bilirubin sowie Myoglobin bei der Rhabdomyolyse entfernt werden. In Studien wurde festgestellt, dass außerdem der CK-Wert (Creatinkinase) mittels der CytoSorb-Anwendung gesenkt werden konnte [4,5]. Diese Informationen führen zu den möglichen Einsatzszenarien der CytoSorb-Therapie in verschiedenen Anwendungsmodi: die Eindämmung der akuten Hyperinflammation, eine hämodynamische Stabilisation im vasoplegischen Schock, Verbesserung der Lungenfunktion während eines ARDS (Acute Respiratory Distress Syndrome, akutes Lungenversagen), Eindämmung bzw. Reduzierung von Blutungen bei Patienten mit Antithrombotika während Herz-Thorax-Operationen, Verbesserung der Mikrozirkulation, Schutz der Nieren während einer Rhabdomyolyse sowie der Leber während einer Leberfunktionsstörung [6].

Der Hämoadsorber entfernt eine Vielzahl an Entzündungsmediatoren aus dem Blut, diese haben eine hydrophobe Anziehung zur Oberfläche der Adsorber-Kügelchen. Die entfernten Substanzen

haben ein Molekulargewicht von ca. 0,5 bis 60 kDa und befinden sich damit im niedrig- bis mittelmolekularen Bereich. Das Adsorptionsspektrum des Adsorbers ist sehr spezifisch: „Bei hohen Konzentrationen können sehr schnell große Mengen entfernt werden; mit sinkender Konzentration nimmt die Entfernrungsrate ab. Diese auf physikochemischen Mechanismen basierende Autoregulation soll einer kompletten Elimination physiologischer Mediatoren entgegenwirken“ [7] [6].

Die Kügelchen in der Kartusche des CytoSorb300 bestehen aus porösen Polymer-Kugeln „mit einer biokompatiblen Polyvinylpyrrolidon-Beschichtung“ [3], welche eng aneinander gepackt werden. Das speziell vernetzte Divinylbenzopolpolymer ist patentiert und wird exklusiv von der CytoSorbents Corporation in den USA produziert. Die Oberfläche des Adsorbers beträgt 45.000 m² [8].

Es wird eine gezielte Adsorption der Stoffe sichergestellt, bei gleichzeitiger Erhaltung der Biokompatibilität, um eine Koagulation oder Komplementsystemaktivierung zu vermeiden. Der Hersteller verspricht, dass „die physiologische Immunantwort erhalten bleibt“ [7], außerdem findet eine verminderte „Neuproduktion von Entzündungsmediatoren“ [7] statt. In Studien wurde dies bereits nachgewiesen, sowie dass es durch die Anwendung nur zu einer minimalen Albumin-Entfernung kommt und die Entfernung der entsprechenden Stoffe an die Konzentration des zur Verfügung stehenden Volumens angepasst wurde [9 – 12].

Die Vorbereitungszeit beträgt lediglich ca. fünf Minuten. Das Device ist bereits mit physiologischer, isotonischer Kochsalzlösung (pH = 6,8) befüllt, wenn man es aus der Packung entnimmt. Die Kartusche muss luftblasenfrei mit zwei Liter NaCl 0,9% durchspült werden. Das Device selbst muss nicht separat heparinisiert werden. Nachdem der Spüldurchgang durchlaufen wurde, kann die Kartusche direkt in den CPB eingebaut werden. Hierbei muss beachtet werden, dass das Device nicht direkt in die arterielle Linie eingebaut werden darf, sondern über Luer-Lock-Konnektoren ein neuer, kleiner Kreislauf geschaffen werden muss. Aus der arteriellen Linie, hinter der arteriellen Pumpe, wird das Blut dafür entnommen. Das Device muss so an der HLM befestigt werden, dass es vertikal nach oben von Blut durchströmt werden kann. Im Reservoir wird das adsorbierte Blut wieder gesammelt [6,8].

Die Antikoagulation des Patienten erfolgt nach bekanntem, haus-eigenem Schema mit Heparin oder Citrat, wobei eine Activated Clotting Time (ACT) „von 160 – 210 Sek. [...] für CytoSorb ausreichend“ [7] ist. Bei der CytoSorb-Therapie erfolgt eine umfassende Reinigung des Blutes ohne Plasmapherese. Während der EKZ wird ein Blutflussvolumen von 100 – 700 ml/min empfohlen, wobei 100 ml/min die minimalste unterste Grenze darstellen. Das adsorbierte Volumen beträgt 300 ml pro Kartusche. Die Kartusche enthält 150 ml des Blutvolumens aus dem Kreislauf. CytoSorb300 ist ein Einmalprodukt. Wie bei jedem parallel geschalteten Device in die EKZ findet auch bei CytoSorb eine Abnahme des arteriellen Blutdrucks (Δp) statt. Dieser wird bei einem Flussvolumen von ≤ 700 ml/min mit ca. 140 mmHg angegeben, bei ≤ 500 ml/min mit 90 mmHg und bei ≤ 200 ml/min mit 30 mmHg. Die Konzentration des Hämatokrit kann sich um $\pm 3\%$ verändern, genauso wie sich die Temperatur um $\pm 1^\circ\text{C}$ verändern kann. Die maximale Druckhöchstgrenze für die Kartusche gibt der Hersteller mit 760 mmHg

an. Eine CytoSorb-Kartusche muss nach maximal 24 Stunden Verwendungsdauer gewechselt werden. Im Falle einer hämodynamischen Instabilität sollte das Device in den ersten 24 Stunden der Benutzung alle 12 Stunden gewechselt werden. Die Anzahl der nacheinander verwendbaren Kartuschen ist unbegrenzt. Das Produkt ist frei von Latex und Phtalaten [6,8].

Jafron HA-Serie

Jafron Biomedical Co., Ltd. ist ein Unternehmen mit Sitz in China. Seit 1989 bestehend, stellen sie Produkte im Bereich der Hämo-adsorption her.

Eines ihrer Produkte ist die HA-Serie, ein Mittelmolekül-Adsorber in verschiedenen Größen (HA60, HA130, HA230, HA280, HA330, HA330-II, HA380), bezogen auf das adsorbierte Volumen der Kartusche. Sie haben dabei unterschiedliche Anwendungsfelder. HA60 ist für Anwendungen bei Kindern bestimmt, HA130 wird bei Patienten mit Niereninsuffizienz verwendet und soll urämische Substanzen adsorbieren. HA230 wirkt gegen Drogen und Gift, HA280 wird bei Autoimmunerkrankungen verwendet und soll dabei beispielweise Entzündungsmediatoren eliminieren. HA380 soll „Entzündungsmediatoren, entzündungsfördernde und entzündungshemmende Zytokine, Bilirubin, Myoglobin, Stoffwechselgifte, proteingebundene Toxine, übermäßige Triglyceride und Cholesterin“ [13] aus dem Blut entfernen. Die Einweg-Hämo-perfusionskartusche HA380 hat dabei eine Zulassung für die Verwendung in extrakorporalen Kreisläufen [3,13,14].

Die HA-Serie von Jafron ist CE-zertifiziert, sowie nach ISO 9001 und EN ISO 13485 zertifiziert. Außerdem kann das Unternehmen eine China Good Manufacturing Practice (GMP) National Certification vorweisen [15].

Die Indikation zur Verwendung eines Jafron HA-Adsorbers liegt in der Entfernung verschiedener Moleküle (s.o.) aus dem Blut. Die entsprechenden Moleküle haben ein Molekulargewicht von 10 bis 60 kDa. Die Ursache der unbeabsichtigt vorherrschenden Moleküle liegt beispielsweise in Infektionen, Traumata (auch chirurgisch), Verbrennungen, Sepsis, ARDS, einem Zytokinsturm, Organschäden, Rhabdomyolyse, akuter Pankreatitis oder Covid-19. Entfernt werden beispielsweise Zytokine und freies Hämoglobin. Die Kartusche ist mit vielen Kügelchen aus neutralem makroporösem Harz gefüllt. Ausführlich nennt sich das Material der rund 0,8 mm großen Kugeln „doppelt kreuzverknüpfte Styrol-Divinylbenzol-Copolymere“ [13]. Insgesamt entsteht so eine Oberfläche von ca. 60.000 m². Durch die äußerst glatte und große Oberfläche des Harzes wird eine höhere Biokompatibilität und somit eine erhöhte Sicherheit gewährleistet. Die Kartusche verträgt einen Blutvolumenstrom von 100 – 700 ml/min. Das Adsorptionsvolumen beträgt 380 ml. Der maximale Blutdruck, der während der Behandlung herrschen darf, beträgt 1000 mmHg. Ein Adsorber darf für bis zu 12 Stunden pro Behandlung verwendet werden. Es können ein bis zwei Behandlungen am Tag durchgeführt werden, dies darf für drei bis fünf Tage wiederholt werden. Die Behandlungsdauer ist somit insgesamt auf diesen bestimmten Zeitraum begrenzt. Li et al. beschreiben hingegen, dass die Einsatzzeit des Jafron Adsorbers auf zwei bis maximal 2,5 Stunden begrenzt ist [13,16,17].

Die Hämo-perfusionspatrone kann in verschiedenen Varianten in den CPB eingebaut werden. Die Kartusche wird grundsätzlich über Luer-Lock/Dreiweghahnverbindungen in das System konnek-

tiert. In Variante 1 wird desoxygeniertes Blut zwischen arterieller Pumpe und Oxygenator entnommen. Das Blut durchläuft die Kartusche vertikal von unten nach oben und wird vor der Blutpumpe wieder in die Linie des CPB entlassen. In Variante 2 wird das Vollblut direkt aus dem Oxygenator entnommen, fließt ebenfalls wieder vertikal von unten nach oben durch die Kartusche und wird, wie bei Variante 1, vor der arteriellen Pumpe wieder in den CPB entlassen. In Variante 3 wird das Blut ebenfalls aus dem Oxygenator entnommen, fließt durch die Kartusche und wird nun aber hinter der arteriellen Blutpumpe in den CPB entlassen. Diese Variante ist physikalisch nicht möglich, da hierbei eine Pumpe fehlt. Der Druck nach dem Oxygenator ist zu gering, um den Hämo-adsorber mit Blut durchspülen zu können [3]. Der Vertreiber des Adsorbers, die MEDOVIS Healthcare GmbH, gibt dennoch diese Möglichkeit an [13].

Die Vorbereitung des Jafron Adsorbers wird mit ca. 50 min angegeben. In dieser Zeit muss die Kartusche mit 500 ml Glukose 5 %, 2,5 Liter NaCl 0,9 % versetzt mit 6250 IE Heparin, 500 ml NaCl 0,9 % versetzt mit 12.500 IE Heparin sowie 500 ml NaCl 0,9 % durchspült werden [3].

Der Jafron Hämo-adsorber entfernt eine Vielzahl an Arzneimitteln. Dabei ist zu beachten, dass auch unerwünschte Nebenwirkungen auftreten und beispielsweise Antibiotika oder Thrombozytenaggregationshemmer mit entfernt werden können [13].

Baxter Oxiris

Baxter Healthcare Corporation ist ein Unternehmen mit Sitz in den Vereinigten Staaten. Bekannt ist das Unternehmen für Produkte der Medizintechnik, aber auch als Pharmaunternehmen. In Deutschland wird das Unternehmen durch die Baxter Deutschland GmbH vertreten, mit Sitz in Unterschleißheim [18,19].

Ein Produkt, welches von Baxter hergestellt wird, ist das Oxiris Set. Dieses wird mittlerweile von dem eigenständigen, aber zu Baxter gehörenden Unternehmen Vantive vertrieben [20].

Oxiris ist ein Hämo-filter mit AN69-Membran. AN69 ist eine hoch permeable Polyacrylonitril-Membran, welche zusätzlich eine positiv geladene Polyethylenimin-Oberfläche besitzt. Die synthetische Membran ist hydrophob und adsorbiert die Proteine (v.a. Proteine mit geringem Molekulargewicht bzw. mittelgroße Proteine), Zellen und Entzündungsmediatoren an ihrer Oberfläche. Durch diese Eigenschaften kann der Hämo-filter nicht nur zur veno-venösen Hämo-filtration (RRT = renal replacement therapy), sondern auch zur veno-venösen Hämodiafiltration verwendet werden und adsorbiert dabei negativ geladene Endotoxine und Zytokine. Die Membran zeichnet sich durch eine hohe Permeabilität für Flüssigkeiten, sowie ihre ausgezeichnete Biokompatibilität aus. Dabei hat der Filter die höchste Adsorptionsfähigkeit für diese Stoffe. [21,22].

Das Unternehmen selbst beschreibt die Wirkweise des Oxiris-Filters wie folgt: Das Produkt besteht aus einer dreischichtigen Membranstruktur. Die erste Schicht, ein Heparin-Graft, reduziert die Thrombenbildung an der Membran. Die zweite Schicht, eine Oberfläche aus Polyethylenimin (PEI), erlaubt die Adsorption von Endotoxinen. Die dritte Schicht, die AN69-Membran, ermöglicht die Adsorption von Zytokinen und Toxinen, während die Nieren durch Diffusion und Konvektion unterstützt werden [20].

Der Oxiris-Filter besitzt eine Notfallzulassung der FDA für die Vereinigten Staaten von Amerika. Der Filter darf lediglich bei Patien-

ten mit einer COVID-19-Infektion angewendet werden. Das Oxiris-Set ist dabei die einzig zugelassene Therapieoption in den USA, die Nierenersatztherapie und die Entfernung von Zytokinen bzw. Entzündungsmediatoren vereint. Der Oxiris-Filter darf lediglich in Kombination mit der Prismaflex oder der PrisMax-Steuereinheit verwendet werden. Patienten müssen mindestens 18 Jahre alt sein [20,23].

Des Weiteren hat das Unternehmen Baxter International Inc. eine CE-Kennzeichnung und kann somit seine Produkte auf dem europäischen Markt vertreiben [24].

Der Hämofilter ist darauf ausgelegt, Patienten mit COVID-19-Infektion in Kombination mit mindestens einer der folgenden Probleme zu behandeln:

- Einer lebensbedrohlichen Krankheit (z. B. Atemversagen, septischer Schock, multiples Organversagen)
- Schwere Krankheiten (z. B. Dyspnoe, Tachypnoe, Hypoxämie, pulmonale Infiltration)
- Acute Lung Injury (ALI), ARDS

Der Hersteller selbst gibt in einem Datenblatt die Adsorption von Zytokinen wie IL-10, IL-6, HMGB-1 sowie TNF- α und bei den Endotoxinen die Adsorption von LPS (Lipopolysaccharide) an.

Das Blutvolumen innerhalb des Filters beträgt ca. 193 ml. Der maximale Transmembrandruck beträgt 450 mmHg, der maximale Blutdruck beträgt 500 mmHg. Die empfohlene Blutflussgeschwindigkeit wird mit 100–450 ml/min angegeben. Der Filter hat eine Wirkoberfläche/effektive Oberfläche von 1,5 m². Ist der Filter nass, so beträgt der Innendurchmesser einer Faser 240 μ m. Die Faserwandstärke beträgt 50 μ m. Die Oberfläche der ersten Schicht der Membran ist bereits heparinbeschichtet mit ca. 4500 IE/m², dennoch benötigt die AN69-Membran eine heparinisierte Priminglösung, um ihre antithrombotischen Eigenschaften zu entfalten. Dazu wird ein Beutel/Flasche Priminglösung (nicht näher definiert) mit 5000 IE unfractioniertem Heparin pro Liter versetzt und das Device über die rot/gelbe Y-Linie mit dem Beutel verbunden [20,23,25,26].

Der Oxiris-Filter ist darauf ausgelegt, in Kombination mit veno-venösen Therapien, wie der SCUF (slow continuous ultrafiltration), CVVH (continuous veno-venous hemofiltration), CVVHD (continuous veno-venous haemodialysis) sowie der CVVHDF (continuous veno-venous hemodiafiltration) auf der Prismaflex oder der PrisMax-Steuereinheit verwendet zu werden. Die Verwendung pro Filter ist auf maximal 24 Stunden begrenzt, die gesamte Einheit muss nach spätestens 72 Stunden gewechselt werden, ansonsten kann es zu Pumpenrupturen kommen [25].

BIOSKY

Das Unternehmen Foshan Biosun Medical Technology Co., gegründet 2009 mit Sitz in Foshan, China, ist spezialisiert auf die Entwicklung von Hämoabsorber bzw. Blutreinigungsprodukten. Es werden im Wesentlichen zwei Produkte vertrieben, eine Hämo-perfusions-Kartusche (MG-Serie), sowie eine Bilirubinabsorber-Kartusche (DX-Serie). Beide Produkte sind in drei verschiedenen Größen erhältlich (MG150, MG250, MG350, jeweils nach adsorbierendem Volumen in ml). Der Hersteller gibt an, dass die MG-Serie mittel- und großmolekulare Toxine sowie proteingebundene/urämische Toxine bei Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz adsorbieren soll. In Kombination mit Dialyseverfahren soll

das Produkt Symptome von Komplikationen reduzieren, sowie die Lebensqualität der Patienten verbessern (27–29).

Die BIOSKY MG-Serie ist nach ISO13485 sowie CE zertifiziert. Biosun Medical ist die erste Firma in China, die medizinische Adsorber-Technologien herstellt und CE-zertifiziert ist. Der Hersteller gibt an, dass die Kartusche konzipiert wurde, um Toxine aus dem Blut zu entfernen, die bei einer einfachen Hämodialyse nicht entfernt werden, wie z. B. Nebenschilddrüsenhormone, IL-1, IL-6, Leptin, β 2-Mikroglobulin, oxidative Proteinprodukte, Homocystein oder fortgeschrittene Verzuckerungs-Endprodukte. Der Verwendungszweck liegt in der Behandlung von (chronischem) Nierenversagen, Urämie, Komplikationen der Langzeit-Hämodialyse, außerdem in der kombinierten Verwendung von Hämo-perfusion und Hämodialyse. Die Sorbents bestehen aus medizinischem porösem adsorptivem Harz, welche laut Hersteller durch eine einzigartige Technologie hergestellt werden. Die höchste Blutflussrate beträgt 250 ml/min. Es gibt keine absoluten Kontraindikationen für die Anwendung des Produktes. Die Oberfläche der adsorbierenden Kügelchen beträgt mehr als 35.700 m². Die verwendeten Polymerkügelchen sind blutkompatibel/biokompatibel. Die BIOSKY MG Kartusche wurde entwickelt, um eine Kombination aus Hämo-perfusion und Hämodialyse als Therapiekonzept anzubieten. Beim Konzept der „kombinierten künstlichen Niere“ werden alle Vorteile beider bereits bestehender Verfahren verwendet. Es können sowohl die metabolischen Stoffe und urämischen Toxine aus dem Blut entfernt, als auch eine Balance des Wassers und der Elektrolyte hergestellt werden. Empfohlen wird eine Hämo-perfusionszeit von 120–150 min, immer in Kombination mit der Hämodialyse. Innerhalb von 24 Stunden sollte nicht mehr als dreimal behandelt werden [29,30]. Die Kartusche wird vor Gebrauch folgendermaßen vorbereitet: Zuerst wird die Spüllösung vorbereitet, diese besteht aus 500 ml Glukose 5 % (optional), 3000 ml heparinisierten Kochsalzlösung und 500 ml normaler Kochsalzlösung. Die Glukose 5 % wird direkt als Spüllösung verwendet. Heparin wird in die ersten 2500 ml der Kochsalzlösung gegeben (geringere Konzentration: 1875–2500 IE pro 500 ml NaCl), die restlichen 500 ml Kochsalzlösung werden mit 12.000 IE Heparin versetzt (höhere Konzentration). Im zweiten Schritt wird der Adsorber mit der Glukose und der niedrigkonzentrierten heparinisierten Kochsalzlösung durchspült. Hierfür müssen beide Kappen an den Enden der Kartusche abgeschraubt werden, die enthaltene Flüssigkeit entleert und die arterielle Linie mit der heparinisierten Kochsalzlösung gefüllt werden. Die arterielle Linie wird mit dem arteriovenösen Ende der Kartusche verbunden. Nachdem die Kartusche vollständig mit Kochsalzlösung gefüllt wurde, wird das venöse Ende der Kartusche mit der venösen Linie des Blutkreislaufs verbunden. Zuletzt werden die Kartusche und die Linien bei einem Pumpenfluss von 100 ml/min mit beiden Flüssigkeiten durchspült. Währenddessen soll der Anwender leicht den Adsorber abklopfen, um verbleibende Luftblasen zu entfernen. Im dritten Schritt wird das gesamte System mit der hochkonzentrierten heparinisierten Kochsalzlösung bei einem Pumpenfluss von nicht mehr als 50 ml/min durchspült, um die restliche Luft zu entfernen sowie eine ausreichende Heparinisierung des Adsorbers zu gewährleisten, um anschließend die Kartusche vor dem Dialysator zu konnektieren. Das soll eine Koagulation verhindern. Das Flüssigkeitslevel im Reservoir soll so weit angepasst werden, dass weiterhin genügend Platz besteht,

um Luft zu eliminieren. Die Kartusche soll so befestigt werden, dass sie vertikal mit dem arteriellen Ende nach unten und dem venösen Ende nach oben steht. Im vierten Schritt wird das gesamte System mit nicht-heparinisierter Kochsalzlösung durchspült, um die hochkonzentrierte heparinisierte Kochsalzlösung entweichen zu lassen. Die Vorbereitung ist nun beendet [29].

Die Heparindosis, die für die Behandlung benötigt wird, bezieht sich in den Unterlagen des Herstellers lediglich auf die Anwendung als Dialyseeinheit, nicht auf die Zeit während der EKZ. Hierbei wird jedoch empfohlen, dass eine Testung beispielsweise mittels ACT stattfinden soll und der Wert während der Behandlung ca. 180 % des Ausgangswertes sein sollte. Nach der Behandlung sollte der Wert immer noch 140 % des Ausgangswertes betragen. Bei Patienten mit Blutungsneigung sollte der Wert 140 % des Ausgangswertes während und nach der Behandlung betragen. Die ACT sollte kontinuierlich ca. alle 15 – 30 Minuten kontrolliert werden [29].

Literaturverzeichnis

1. CytoSorbents Europe GmbH. CytoSorbents. 2025. Our Solutions. Verfügbar unter: <https://cytosorbents.com/our-solutions/>
2. CytoSorbents Corporation. PR Newswire. 2020. CytoSorb® erhält EU-Zulassung für den Abbau von Rivaroxaban, ein führender Faktor-Xa-Inhibitor und neuartiger oraler Gerinnungshemmer, bei Herz-Thorax-Operationen mit Herz-Lungen-Maschine. Verfügbar unter: <https://www.prnewswire.com/news-releases/cytosorb-r-erhalt-eu-zulassung-fur-den-abbau-von-rivaroxaban-ein-fuhrender-faktor-xa-inhibitor-und-neuartiger-oraler-gerinnungshemmer-bei-herz-thorax-operationen-mit-herz-lungen-maschine-842928662.html>
3. Münch F, Purbojo A, Cesnjevar R, Teske A. Update Hämofiltration und Hämo-perfusion. Kardiotechnik. 2019; 28: 26 – 36.
4. Dilken O, Ince C, van der Hoven B, Thijssen S, Ormskerk P, de Geus HRH. Successful Reduction of Creatine Kinase and Myoglobin Levels in Severe Rhabdomyolysis Using Extracorporeal Blood Purification (CytoSorb®). Blood Purif. 2020; 49(6): 743 – 7.
5. Moresco E, Rugg C, Ströhle M, Thoma M. Rapid reduction of substantially increased myoglobin and creatine kinase levels using a hemoadsorption device (CytoSorb®) — A case report. Clin Case Rep [Internet]. Januar 2022 [zitiert 24. Juli 2025]; 10(1). Verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ccr3.5272>
6. CytoSorbents Europe GmbH. CytoSorbents. 2024 [zitiert 15. April 2025]. CytoSorb® – Expanding the dimension of blood purification. Verfügbar unter: https://downloads.cytosorbents.com/240717_ProductBrochure-English-B1187R05ENG2024_8-Seiter_WEB%202.pdf
7. CytoSorbents Europe GmbH. CytoSorbents. 2019. CytoSorb-Therapie. Indikationen und Kurzanleitungen.
8. CytoSorbents Europe GmbH. CytoSorbents. 2024 [zitiert 15. April 2025]. CytoSorb Guide. Practice Manual. Verfügbar unter: https://downloads.cytosorbents.com/241217_CytoSorbGuide-ENG_B1031R13ENG2024_WEB.pdf
9. Bernardi MH, Rinoesl H, Dragosits K, Risti R, Hoffelner F, Opfermann P, u. a. Effect of hemo-adsorption during cardiopulmonary bypass surgery – a blinded, randomized, controlled pilot study using a novel adsorbent. Crit Care. Dezember 2016; 20(1): 96.
10. Gleason TG, Argenziano M, Bavaria JE, Kane LC, Coselli JS, Engelman RM, u. a. Hemoadsorption to Reduce Plasma-Free Hemoglobin During Cardiac Surgery: Results of REFRESH I Pilot Study. Semin Thorac Cardiovasc Surg. 2019; 31(4): 783 – 93.
11. Poli EC, Alberio L, Bauer-Doerries A, Marucci C, Roumy A, Kirsch M, u. a. Cytokine clearance with CytoSorb® during cardiac surgery: a pilot randomized controlled trial. Crit Care. Dezember 2019; 23(1): 108.
12. Waalders NJB, Jansen A, Pickkers P. Effect of CytoSorb on Interleukin-6. Crit Care Med. März 2024; 52(3): e152–3.
13. MEDOVIS Healthcare GmbH. Jafron HA380 Einweg-Hämo-perfusionspatrone. MEDOVIS Healthcare GmbH; 2024.
14. Jafron Biomedical Co. Jafron. [zitiert 16. April 2025]. About Jafron. Company Profile. Verfügbar unter: https://www.jafroninternational.com/company_profile
15. Jafron Biomedical Co. Jafron. [zitiert 9. Januar 2025]. About JAFRON. Our Technology. Verfügbar unter: https://www.jafroninternational.com/our_technology
16. Li Y, Han M, Yang M, Su B. Hemoperfusion with the HA330/HA380 Cartridge in Intensive Care Settings: A State-Of-The-Art Review. Blood Purif. 21. November 2024; 1 – 16.
17. Pomarè Montin D, Ankawi G, Lorenzin A, Neri M, Caprara C, Ronco C. Biocompatibility and Cytotoxic Evaluation of New Sorbent Cartridges for Blood Hemoperfusion. Blood Purif. 2018; 46(3): 187 – 95.
18. Baxter Deutschland GmbH. Baxter. 2025. Baxter. Impressum. Verfügbar unter: <https://www.baxter.de/de/impressum>
19. Baxter HealthCare Corporation. Baxter. 2025. Baxter. Verfügbar unter: <https://www.baxter.com/>
20. Vantive. Vantive. 2025. Oxiris Set. Verfügbar unter: <https://pro.vantive.com/oxiris-set>
21. Fiedler MQ, Nußbag C. Hämo-adsorption durch supportive Etablierung eines Oxiris® Filters im septischen Schock bei Verdacht auf Zytokinausschüttungssyndrom – eine randomisiert kontrollierte Interventionsstudie. 2021.
22. Kobayashi S, Ohtake T. The Characteristics of Dialysis Membranes: Benefits of the AN69 Membrane in Hemodialysis Patients. J Clin Med. 31. Januar 2023; 12(3): 1123.
23. Baxter HealthCare. Baxter. 2020 [zitiert 9. Januar 2025]. OXIRIS Set. Verfügbar unter: https://usrenalacute.baxter.com/sites/g/files/ebysai3231/files/2020-09/Oxiris_Spec_Sheet.pdf
24. Baxter International Inc. Baxter launches first 3-in-1 set for use in continuous renal replacement therapy and sepsis management protocols. 2017.
25. Baxter. IFU Insert. oXiris. 2019.
26. Monard C, Rimmelé T, Ronco C. Extracorporeal Blood Purification Therapies for Sepsis. Blood Purif. 2019; 47(Suppl. 3): 2 – 15.
27. Foshan Biosun Medical Technology Co. BIOSKY. [zitiert 9. Januar 2025]. Disposable hemoperfusion cartridge. Verfügbar unter: https://en.biosunmed.com/products_detail/948989940561080320.html
28. Foshan Biosun Medical Technology Co. BIOSKY. [zitiert 23. April 2025]. BIOSKY. The innovation for life. Verfügbar unter: <https://en.biosunmed.com/>
29. Foshan Biosun Medical Technology Co. Biosun. 2016 [zitiert 9. Januar 2025]. Treatment Guidelines. Verfügbar unter: <https://www.oriontamajaya.com/wp-content/uploads/2016/09/MG-SERIES-HEMO-PERFUSION-CARTRIDGE-TREATMENT-GUIDELINES1.pdf>
30. Krenn CG, Steltzer H. Hämo-adsorption zur Blutreinigung – Unvergleichbarkeit der klinisch angebotenen Verfahren. Med Klin - Intensivmed Notfallmedizin. Juni 2021; 116(5): 449 – 53.

Einzelbetrachtung relevanter Studien

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Abou-Arab	Cytokine Hemoadsorption versus Standard Care in Cardiac Surgery Using the Oxiris Membrane: The OXICARD Single-center Randomized Trial	Single-Center randomisierte Studie	2025	Anesthesiology	Kardiothorakale Operation	70	CPB > 90 min Ischämie	Baxter oxiris	keine signifikante Reduktion von Zytokinen und Angiopoietinen im Vergleich zur Kontrollgruppe
Alarie	Use of CytoSorb® hemo-adsorption column during prolonged cardiopulmonary bypass in complex cardiac surgery patient	Case Report	2022	Journal of Cardiothoracic Surgery	„Mitralklappen-/Aortenklappenersatz, Trikuspidalklappenreparatur, CABG, LAA-Verschluss“	1	CPB	CytoSorb	
Andrade	„Intraoperativer Einsatz von CytoSorb bei einem erneuten Mitralklappenersatz aufgrund einer infektiösen Endokarditis“	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Endokarditis, septische Hirnembolie	1	CPB	CytoSorb	signifikante Senkung CRP
Asch	The effect of perioperative hemo-adsorption in patients operated for acute infective endocarditis – A randomized controlled study	randomisierte, kontrollierte Studie	2021	Artificial Organs	Aortenklappen-, Mitralklappen- oder multiple Klappenoperationen	20	intraoperativ (CPB) und postop. für 24h	CytoSorb	„keine signifikante Reduzierung des medianen Zytokinelevels; CRP und PCT erhöht in HA-Gruppe, in HA-Gruppe signifikant erhöhter Bedarf an Vasopressoren 12h postop. und mehr Volumenbedarf“
Bao	Hemo-adsorption during cardiopulmonary bypass to absorb plasma-free hemoglobin in patients with acute type a aortic dissection: a randomized controlled trial	Single-Center randomisierte, kontrollierte Studie	2024	Perfusion	akute Typ-A-Dissektion (ATAAD)	84	CPB	Jafron HA380	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Becker	Efficacy of CytoSorb®: a systematic review and meta-analysis	Meta-Analyse	2023	BioMed Central Critical Care			„CPB, Septischer Schock, COVID-19, ECMO“	CytoSorb	CytoSorb Verwendung hatte keine geringere Mortalität, keine signifikante Verringerung der ICU-Dauer & des Nephropathie-Bedarfs & des MAP & von SOFA, SAPS-2, APACHE-2 & CRP, signifikant niedriger PCT Wert bei Patienten mit Sepsis
Bernardi	„Effect of hemoadsorption during cardiopulmonary bypass surgery – a blinded, randomized, controlled pilot study using a novel adsorbent“	„randomisierte, patientenblinde, kontrollierte Single-Center Studie“	2016	BioMed Central Critical Care	„Kardiothorakale Operation (ACVB, Klappenoperationen, kombinierte Verfahren)“	46 (19 v 18, 9 Patienten aus-geschieden)	CPB (erwartet > 120 min)	CytoSorb	
Born	„Systemic Inflammatory Response Syndrome in der Herzchirurgie: Neue Therapiemöglichkeiten durch den Einsatz eines Cytokin-Adsorbers während EKZ“	retrospektive Studie	2014	Kardiotechnik	„Patienten mit hypothermen Herz-Kreislauf-Stillstand und antegrader Gehirnperfusion“	40 (20 v 20)	CPB	CytoSorb	signifikant geringerer IL-6-Wert, signifikant schneller Abfall von PCT
Buonocore	„CytoSorb haemoadsorption for removal of apixaban – A proof-of-concept pilot case for a randomized controlled trial“	Case Report	2022	Wiley Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics	Infektiöse Endokarditis	1	CPB	CytoSorb	
Caldonazo	„Effect of haemoadsorption during cardiac surgery for Staphylococcus aureus endocarditis: a REMOVE trial post hoc analysis“	Post-hoc Analyse	2024	European Journal of Cardio-Thoracic Surgery	Kardiothorakale Operation, Infektion mit Staphylococcus aureus	„von insgesamt 282 Patienten haben 73 einen S. aureus (38 v 35)“	CPB	CytoSorb	„signifikant geringerer Vaso-aktiv-Inotroper Score, Sepsis-bezogene Mortalität und generelle 30- und 90-Tage Mortalität“
Chia	Intraoperative cytokine adsorption in cardiothoracic transplant patients: An Australian propensity-score matched pilot study	Pilotstudie	2024	ANZ Journal of Surgery	Herz-/Lungen-Transplantation	22 (11 v 11)	CPB	CytoSorb	postoperativer Dopaminbedarf war signifikant erhöht

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Christophel-Plathier	„Erste Hämoadsorption während eines kardio-pulmonalen Bypasses bei einem Neugeborenen mit komplexer Herzfehlbildung“	Case Report	2022	CytoSorb Literatur-Datenbank	Neugeborenes mit kongenitalem HLHS	1	CPB	CytoSorb	
Clerici	Einsatz der CytoSorb-Therapie in Kombination mit extrakorporaler Zirkulation bei Prothesenendokarditis	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Pulmonal-klappenersatz und Verschluss des VSD	1	CPB	CytoSorb	
Clerici	„Einsatz der Hämo-adsorptionstherapie in der Neugeborenen-chirurgie – Ein Fall von extremer Fallot-Tetralogie und schwerer Pulmonalstenose mit operativer Korrektur; unter besonderer Berücksichtigung der technischen Aspekte“	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Neugeborenes, Korrektur des VSD (mit Überschiebung der Aorta) und der Pulmonalstenose	1	CPB	CytoSorb	
Condello	„Hemadsorption to Contain Postoperative Cell-Free Hemoglobin and Haptoglobin Preservation for Extended Cardiopulmonary Bypass Time in Cardiac Surgery for Acute Kidney Injuries Prevention“	Single-Center randomisierter Pilot-Report	2023	Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery	Kardiothorakale Operation, Erwachsene	20 (10 v 10)	CPB (erwartet > 120 min)	Jafron HA380	
Datzmann	Neue Behandlungen im Spannungsfeld zwischen Medizinethik und Medizinökonomie am Beispiel der CytoSorb®-Behandlung	retrospektive Studie	2021	Anästhesie Intensivmedizin	Patienten mit CytoSorb behandelt	176 (davon 80 während CPB)	„CPB, post-bypass SIRS, ECMO/ECLS, septischer Schock“	CytoSorb	betrachtet Ökonomie des Adsorbers
Deppe	Einsatz eines Zytokinfilters in die Herz-Lungen-Maschine	klinische Pilotstudie	2016	Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie	Erwachsene, elektive ACVB	„300 (100 HLM + CytoSorb v 100 HLM v 100 Off-Pump)“	CPB, Off-Pump-OP	CytoSorb	„IL-6 postop. signifikant niedriger im Verlauf, signifikant niedrigere Inzidenz für sternale Wundheilungsstörungen“

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Devananda	„Verwendung von CytoSorb bei einem Patienten mit orthotoper Herztransplantation“	Case Report	2020	CytoSorb Literatur-Datenbank	orthotopie Herztransplantation	1	CPB	CytoSorb	
Diab	Infektiöse Endokarditis – Die Rolle von Entzündungsmediatoren und Komorbiditäten	„prospektive, randomisierte Fall-Kontroll-Pilotstudie, retrospektive Studie und Meta-Analyse“	2023	Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie	Infektiöse Endokarditis	288 (142 v 146)	CPB	CytoSorb	bezieht sich auf Studie, die in der Datenbankabfrage enthalten ist
Diab	„Cytokine Hemoabsorption During Cardiac Surgery Versus Standard Surgical Care for Infective Endocarditis (REMOVE): Results From a Multicenter Randomized Controlled Trial“	multizentrische, randomisierte, nichtblinde, kontrollierte Studie	2022	Circulation	Infektiöse Endokarditis	288 (142 v 146)	CPB	CytoSorb	signifikant geringerer Spiegel von IL-1β und IL-18 am Ende der HLM, selber Inhalt wie Diab „Infektiöse Endokarditis“
Doukas	„Intraoperative Hemoabsorption (CytoSorb) during Open Thoracoabdominal Aortic Repair: A Pilot Randomized Controlled Trial“	randomisierte, kontrollierte Pilotstudie	2023	Journal of Clinical Medicine	offene TAAA	27 (10 v 17)	CPB	CytoSorb	signifikant weniger Fälle von ARDS, schwere ARDS Fälle nur in Kontrollgruppe
Dutta	Hemoabsorption use in adult cardiac surgery for infective endocarditis: A comprehensive meta-analysis	Meta-Analyse	2025	Asian Cardiovascular & Thoracic Annals	Kardiothorakale Operation	1076	CPB	CytoSorb	
Federiakina	Verwendung von CytoSorb bei einem kombinierten Aortenbogen- und Koronararterienerkrankung	Case Report	2017	CytoSorb Literatur-Datenbank	ACVB	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Freiburger	Hemoabsorption in Heart Failure Requiring Mechanical Circulatory Support – A Systematic Review and Meta-Analysis	Systematisches Review und Meta-Analyse	2023	Reviews in Cardiovascular Medicine	LVAD-Implantation oder ECMO	321 (davon 81 CPB)	CPB	CytoSorb, Jafron	30-Tages Mortalität signifikant erhöht bei CytoSorb-Anwendung, keine signifikante Reduktion der Biomarker bei CytoSorb-Anwendung

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Frering	„CytoSorb hemoadsorption of apixaban during cardio-pulmonary bypass for heart transplantation“	Case Report	2024	Journal of Heart and Lung Transplantation	Herztransplantation	1	CPB	CytoSorb	
Friesecke	International registry on the use of the CytoSorb® adsorber in ICU patients	Studienprotokoll	2017	Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin	Patienten, die mit CytoSorb behandelt wurden	198	CPB	CytoSorb	keine signifikante Verringerung des SOFA-Score
Furtado	„Einsatz von CytoSorb in Verbindung mit der Herz-Lungen-Maschine bei einem Patienten mit infektiöser Endokarditis“	Case Report	2020	CytoSorb Literatur-Datenbank	bakterieller Sepsis durch Klebsiella spec → Aortenklappenersatz	1	CPB	CytoSorb	
Garau	Hemadsorption during cardiopulmonary bypass reduces interleukin 8 and tumor necrosis factor α serum levels in cardiac surgery: a randomized controlled trial	prospektive, randomisierte Single-Center Studie	2019	Minerva Anestesiologica	Kardiothorakale Operation	40 (20 v 20)	CPB	CytoSorb	signifikant niedrigere IL-8 Werte am Ende des CPB, signifikant höherer CI-Wert am Ende des CPB
Gaur	Intraoperative extrakorporale Zytokinadsorption bei Herztransplantation mit kongestiver Hepatitis nach viraler dilatativer Kardiomyopathie	Case Report	2018	CytoSorb Literatur-Datenbank	Herztransplantation	1	CPB	CytoSorb	
Geisler	Impact of CytoSorb® on interleukin-6 in cardiac surgery	retrospektive Studie	2023	Frontiers in Cardiovascular Medicine	„Kardiothorakale Operation akut und elektiv“	56 (28 v 28)	CPB	CytoSorb	keinen signifikanten Effekt auf IL-6
Gleason	Hemoadsorption to Reduce Plasma-Free Hemoglobin During Cardiac Surgery: Results of REFRESH I Pilot Study	prospektive, multizentrische, randomisierte kontrollierte Studie	2019	Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery	komplexe Kardiothorakale Operation	46 (23 v 23)	CPB (erwartet > 180 min)	CytoSorb	signifikante Reduktion des pHb bei Klappenersatz, signifikante Reduktion von C3a und C5a

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Gong	A Contemporary Review of the Use of Extracorporeal CytoSorb® Hemoadsorption Therapy in Patients with Infective Endocarditis	Narratives Review	2024	Journal of Clinical Medicine	Infektiöse Endokarditis		CPB	CytoSorb	reduziert Vancomycin-Level signifikant (Bezug auf andere Studien), lediglich eine Studie relevant, da andere Studien als Originalquelle in Abfrage enthalten
Gross	Systemic Mastocytosis Successfully Managed using CytoSorb® During Cardiopulmonary Bypass for Aortic Valve Replacement	Case Report	2024	Annals of Cardiac Anaesthesia	systemische Mastozytose, Aortenklappenersatz	1	CPB	CytoSorb	
Haidari	Intraoperative Hemoadsorption in Patients With Native Mitral Valve Infective Endocarditis	„retrospektive, nicht-randomisierte Studie“	2020	Ann Thorac Surg	Infektiöse Endokarditis der Mitralklappe	58 (30 v 28)	CPB	CytoSorb	signifikanter Vorteil im Sepsis-basierten Überleben
Haidari	Intraoperative hemoadsorption in high-risk patients with infective endocarditis	retrospektive Studie	2022	PLOS ONE	Infektiöse Endokarditis	70	CPB	CytoSorb	SOFA-Score hat sich postoperativ signifikant schneller normalisiert
Haidari	Effect of intraoperative haemoadsorption therapy for active infective endocarditis with confirmed Staphylococcus aureus bacteraemia	Dual-Center Studie	2023	Interdisciplinary Cardiovascular and Thoracic Surgery	Infektiöse Endokarditis durch Staphylococcus aureus	130 (75 v 55)	CPB	CytoSorb	signifikant sinkender Vaso-aktiver-inotroper Score zu jedem Zeitpunkt; signifikant geringere Sepsis-bezogene, 30-Tages und 90-Tages Mortalität
Haidari	Erfolgreiche Behandlung einer systemischen Entzündungsreaktion aufgrund eines fulminanten Herpes Zoster im Rahmen einer dringlichen Koronararterien-Bypass-Grafting-Komplikation mit adjuktiver extrakorporaler Hämoadsorption: Ein Fallbericht	Case Report	2022	CytoSorb Literatur-Datenbank	„Herpes Zoster Infektion + CABG“	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Hassan	Hemoadsorption of Rivaroxaban and Ticagrelor during Acute Type A Aortic Dissection Operations	retrospektive Studie	2022	Ann Thorac Cardiovasc Surg	Typ-A-Dissektion + bereits Behandlung mit Rivaroxaban oder Ticagrelor	21 (10 v 11)	CPB	CytoSorb	„signifikant kürzere OP-Zeit, signifikant geringeres 24 h Drainagevolumen, signifikant geringerer Bedarf an Thrombozytentransfusionen“
Hassan	„Intraoperative ticagrelor removal via hemoadsorption during on-pump coronary artery bypass grafting“	In-vivo-Studie	2023	Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery	CABG	11	CPB	CytoSorb	signifikante Reduktion von Ticagrelor und zirkulierender Drogen
Hassan	Cytosorb Adsorption During Emergency Cardiac Operations in Patients at High Risk of Bleeding	retrospektive, anonyme Studie	2019	Ann Thorac Surg	Kardiothorakale Notfall-Operation, Patienten mit Antikoagulation	55 (39 v 16)	CPB	CytoSorb	signifikant geringere Rethorakotomie-Rate, signifikant geringerer ICU-Aufenthalt, signifikante geringerer Krankenhausaufenthalt
Hassan	Removal of Apixaban during Emergency Cardiac Surgery Using Hemoadsorption with a Porous Polymer Bead Sorbent	nicht-randomisierte, multizentrische, prospektive Studie	2022	Journal of Clinical Medicine	Kardiothorakale Operation, Patient unter Apixaban Medikation	25 (13 v 12)	CPB	CytoSorb	signifikant geringeres Thorax-Drainagevolumen
Hawchar	The Potential Role of Extracorporeal Cytokine Removal in Hemodynamic Stabilization in Hyperinflammatory Shock	Systematisches Review	2021	Biomedicines	„Kardiothorakale Operation, Septischer Schock, Intoxikation, Sepsis, Kardiogener Schock, u. a.“			CytoSorb	kein Patienteneinschluss, nur eine Studie relevant, bezieht sich ansonsten auf andere Studien (keine Relevanz), CPB nur kurz erwähnt
Hawchar	Hemoadsorption in the critically ill – Final results of the International CytoSorb Registry	Studie	2022	PLOS ONE	Kardiothorakale Operation, Sepsis/ Septischer Schock	„1434 (davon 936 Sepsis, 172 CPB + CytoSorb, 67 CPB mit postop. CytoSorb, 259 Andere)“	CPB	CytoSorb	keine signifikante Änderung in der Mortalität

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
He	The Efficacy of Resin Hemoperfusion Cartridge on Inflammatory Responses during Adult Cardiopulmonary Bypass	randomisierte Studie	2021	Blood Purification	kombinierte Klappenoperation	60 (30 v 30)	CPB > 120 min	Jafron HA380	signifikant niedrigere IL-6, IL-8, IL-10, Kreatinin, Amino-transferase und Gesamtbilirubin Werte, signifikant geringerer Vasopressorenbedarf, kürzere mechanische Ventilation und kürzere ICU Dauer
Heymann	„Mortality and adverse events of hemoadsorption with CytoSorb® in critically ill patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials“	Systematisches Review	2022	acta Anaesthesiologica Scandinavica	Kardiothorakale Operation	insgesamt 462	CPB	CytoSorb	signifikant geringere Faktor II und XII Aktivität
Heymann	„The Effect of CytoSorb on Inflammatory Markers in Critically Ill Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials“	Systematisches Review und Meta-Analyse	2023	Critical Care Medicine	komplexe Kardiothorakale Operation	insgesamt 489	CPB	CytoSorb	keine signifikante Reduzierung von IL-6
Hohn	Hemoadsorption: effective in reducing circulating fragments of the endothelial glycocalyx during cardiopulmonary bypass in patients undergoing on-pump cardiac surgery?	Real-Life Studie	2021	Minerva Anestesiologica	Kardiothorakale Operation	15	CPB	CytoSorb	signifikante Reduzierung post-adsorber von Heparansulfat, signifikante Steigerung von Hyaluronan post-adsorber
Hohn	REmoval of cytokines during CARDiac surgery (RECCAS): a randomised controlled trial	prospektive, kontrollierte, randomisierte Studie	2024	Critical Care	Kardiothorakale Operation	38 (19 v 19)	CPB	CytoSorb	„keine signifikanten Unterschiede im c-reaktiven Protein und Procalcitonin, signifikant kürzerer Dobutamin-Bedarf, signifikante Reduktion von Myoglobin und Heparansulfat post-adsorber“

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Holmén	„Whole Blood Adsorber During CPB and Need for Vasoactive Treatment After Valve Surgery in Acute Endocarditis: A Randomized Controlled Study“	randomisierte, kontrollierte, nichtblinde klinische Studie	2022	Journal of Cardio-thoracic and Vascular Surgery	Infektiöse Endokarditis	19 (10 v 9)	CPB	CytoSorb	signifikant geringere Bedarf für Transfusion bzw. EK
Jabayevea	„Impact of extracorporeal haemoadsorption during prolonged cardiopulmonary bypass on the incidence of acute kidney injury“	retrospektive Analyse	2024	The Journal of ExtraCorporal Technology	Kardiothorakale Operation	60 (20 v 20 v 20)	CPB > 120min	CytoSorb, Jafron HA330	keine signifikante Reduktion des AKI-Risikos, aber verringert die Notwendigkeit von Dialyse
Javanbakht	„Ticagrelor Removal by CytoSorb® in Patients Requiring Emergent or Urgent Cardiac Surgery: A UK-Based Cost-Utility Analysis“	Studie	2020	Pharmacoeconomics	Kardiothorakale Operation			CytoSorb	betrachtet Ökonomie des Adsorbers
Koster	„Use of the CytoSorb® filter for elimination of residual therapeutic argatroban concentrations during heparinized cardiopulmonary bypass for heart transplantation“	Case Report	2023	Perfusion	Herztransplantation	1	CPB	CytoSorb	
Kotoulas	Intra- und postoperativer Einsatz von CytoSorb bei einem Patienten mit infektiöser Endokarditis, septischem Schock und Myokardinfarkt	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	„Infektiöse Endokarditis, septischer Schock, Myokardinfarkt“	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Krenn	Hämoadsorption zur Blutreinigung Unvergleichbarkeit der klinisch angebotenen Verfahren	Review	2020	Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin				CytoSorb, Jafron HA, BIOSKY	kein Patienteneinschluss, teilweise Ökonomie

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Kuanyshbek	„Hemadsorption in infectious endocarditis requiring open heart surgery“	retrospektive Studie	2023	„Clinical and Experimental Surgery“	Infektiöse Endokarditis	36 (12 v 13 v 11)	CPB	CytoSorb, Jafron HA330	„signifikanter Unterschied des IL-8 und IL-10 Levels 24 h postop. sowie des CRP“
Kühne	Comparison of intra-operative versus intra-operative plus post-operative hemoadsorption therapy in cardiac surgery patients with endocarditis	Case-Series Studie	2019	The International Journal of Artificial Organs	Infektiöse Endokarditis	20 (10 intraop. v 10 intraop. + postop.)	CPB	CytoSorb	signifikant erhöhtes Risiko in intraop. + postop. Gruppe für ICU und 90-Tages-Überleben
Kühne	Verwendung von CytoSorb bei einem Patienten mit Aortenklappenendokarditis und schwerem septischen Schock	Case Report	2017	CytoSorb Literatur-Datenbank	Infektiöse Endokarditis, septischer Schock	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Kühne	Verwendung von CytoSorb bei einem Patienten mit Typ-A-Dissektion	Case Report	2019	CytoSorb Literatur-Datenbank	Typ-A-Dissektion	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Kühne	Verwendung von CytoSorb bei einem Patienten mit kombiniertem hochgradigem Aortenklappenversagen, Aorta ascendensaneurysma und Low Cardiac Output Syndrom	Case Report	2020	CytoSorb Literatur-Datenbank	„Aortenklappenversagen, Aorta ascendensaneurysma, Low Cardiac Output Syndrom“	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Kühne	Einsatz von CytoSorb bei einer Patientin mit Endokarditis der Aortenklappe mit Abszesshöhle im Bereich der links-koronaren Klappentasche und Endokarditis der nativen Mitralklappe	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Infektiöse Endokarditis	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Kumar	Strategies to mitigate inflammation in management of complex congenital heart disease complicated by „multisystem inflammatory syndrome in children“	Case Report	2022	Annals of Pediatric Cardiology	Mitralstenose, Shone-Komplex, MIS-C (Multisystemisches Entzündungssyndrom bei Kindern)	1	CPB	CytoSorb	
Kumar	„Einsatz von CytoSorb® bei einem Patienten unter dualer Thrombozyten- aggregations-hemmer- Therapie während eines CABG Eingriffs mit Bergung eines abgerissenen Führungsdrahts aus dem Ostium der rechten Koronararterie“	Case Report	2022	CytoSorb Literatur-Datenbank	CABG, duale Thrombozytenaggregationshemmer-Therapie (Ticagrelor und Aspirin)	1	CPB	CytoSorb	
Li	Hemoadsorption and Coagulation Systemic Rebalance in Patients Undergoing Nonelective Cardiac Surgery and Treated with Antithrombotics	Single-Center ambispektive, beobachtende Studie	2024	Blood Purification	Kardiothorakale Operation, Patienten mit Langzeit-Antikoagulation	288 (144 v 144)	CPB > 60 min	Jafron HA380	„signifikanter Rückgang von Transfusionen/-volumen, von ischämischen/thromboembolischen Vorfällen, AKI, ZNS-Verletzungen“
Li	Hemoperfusion with the HA330/HA380 cartridge in intensive care settings: a state-of-the-art review	State-of-the-Art Review	2024	Blood Purification	Kardiothorakale Operation		CPB	Jafron HA330/380	„signifikant geringere IL-6 Level, signifikant geringer Vasopressoren-Bedarf, signifikant kürzere Dauer der mechanischen Ventilation kein Patienteneinschluss, bezieht sich nur auf andere Studien, die als Originalquelle enthalten sind“
Manohar	„Hemoadsorption in Complex Cardiac Surgery – A Single Center Experience“	„Single-Center retrospektive, beobachtende Studie“	2022	Journal of Clinical Medicine	komplexe Kardiothorakale Operation	52 (23 v 29)	CPB	CytoSorb	signifikant niedriger Vasoaktiv-Inotroper Score

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Matejic-Spasic	Management of peri-operative bleeding risk in patients on antithrombotic medications undergoing cardiac surgery – a systematic review	Review	2022	Journal of Thoracic Disease	Kardiothorakale Operation, Antikoagulantien		CPB	CytoSorb, DrugSorb-ATR	kein Patienteneinschluss
Mendes	„Cytosorb® hemoadsorption of apixaban during emergent cardiopulmonary bypass: a case report“	Case Report	2021	Perfusion	„Infektiöse Endokarditis der Mitralklappe, Apixaban-Therapie“	1	CPB	CytoSorb	
Mendes	„Effective Apixaban removal using hemoadsorption during emergent open-heart surgery: a case report and narrative literature review“	Case Report	2024	Journal of Cardiothoracic Surgery	Typ-A-Dissektion, Apixaban-Therapie	1	CPB	CytoSorb	
Moresco	„The use of CytoSorb® in a prasugrel-loaded patient undergoing emergent coronary artery bypass graft surgery“	Case Report	2022	Wiley Clinical Case Reports	Notfall CABG	1	CPB	CytoSorb	
Nemeth	Use of intraoperative haemoadsorption in patients undergoing heart transplantation: a proof-of-concept randomized trial	Single-Center prospektive, randomisierte, kontrollierte Open-Label-Studie	2023	ESC Heart Failure	Herztransplantation	60 (30 v 30)	CPB	CytoSorb	signifikant geringerer Vasoaktiv-Inotroper Score 24h postop., signifikant geringerer Argipressin-Bedarf, signifikant geringerer PCT Konzentration, signifikant geringere Raten an postop. AKI und CRRT
Nemeth	„Preemptiver Einsatz von CytoSorb während orthotoper Herztransplantation“	Case Report	2017	CytoSorb Literatur-Datenbank	orthotope Herztransplantation	1	CPB	CytoSorb	
Nemeth	Impact of intraoperative cytokine adsorption on outcome of patients undergoing orthotopic heart transplantation – an observational study	Beobachtungsstudie	2018	Wiley Clinical Transplantation	orthotope Herztransplantation	84	CPB	CytoSorb	signifikant geringerer Noradrenalin-Bedarf am 1. und 2. Tag postop., signifikant geringerer Bedarf an CRRT

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Ng Yin Ling	„Cytosorb® haemoadsorption: a potential game changer for patients needing myocardial surgical revascularisation“	Review	2022	Vessel Plus	CABG		CPB	CytoSorb	kein Patienteneinschluss, bezieht sich lediglich auf andere Studien → trotzdem verwenden
Nurmykhametova	Preliminary report of extracorporeal blood purification therapy in patients receiving LVAD: Cytosorb or Jafron HA330	retrospektive Studie	2024	The Journal of Extracorporeal Technology	LVAD	15 (5 v 5 v 5)	CPB	CytoSorb, Jafron HA330	signifikante Zunahme von IL-1alpha, IL-6, IL-8, Laktatdehydrogenase, PCT, pro-BNP, CRP, Leukozyten, TNFalpha Level, keiner der beiden Adsorber konnte dies beeinflussen
Ochoa	Verwendung von Cytosorb bei einem septischen Patienten mit komplizierter Mitralklappe- und Aortenklappenendokarditis und Hirnabszess	Case Report	2019	CytoSorb Literatur-Datenbank	Infektiöse Endokarditis der Mitralklappe, Aortenklappe, Hirnabszess	1	CPB	CytoSorb	
Pace Napoleone	„Hemoadsorption Contribution in Failing Fontan Pediatric Heart Transplantation“	Case Report	2024	Karger Cardiorenal Medicine	Pädiatrischer Patient, Herztransplantation	1	CPB	Jafron HA380	
Pascucci	„Intraoperative immunomodulation during left heart bypass in open thoracoabdominal aortic aneurysm repair“	Case Report	2023	„Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques“	Thorakoabdominales Aortenaneurysma (TAAA)	1	CPB	CytoSorb	
Pérez-Fernández	„Extracorporeal Blood Purification and Acute Kidney Injury in Cardiac Surgery The SIRAKI02 Randomized Clinical Trial“	doppelblinde, randomisierte klinische Studie	2024	Jama	Kardiothorakale Operation, hohes Risiko für CSA-AKI	343 (169 v 174)	CPB	oXiris	signifikante Reduktion von TNFalpha und IL-8 Plasma-Konzentrationen während der OP
Piskovatska	Proteins Adsorbed during Intraoperative Hemoadsorption and Their In Vitro Effects on Endothelium	Studie	2023	Healthcare	Infektiöse Endokarditis, Klappenoperation		CPB	CytoSorb	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Poli	Cytokine clearance with CytoSorb® during cardiac surgery: a pilot randomized controlled trial	„Single-Center randomisierte, kontrollierte Pilotstudie“	2019	Critical Care	„Kardiothorakale Operation, potenziell komplikationsreiche Patienten“	30 (15 v 15)	CPB	CytoSorb	keine signifikante Adsorption von Gerinnungsfaktoren
Rao	Hemoadsorption Using CytoSorb® in Patients with Infective Endocarditis: A German-Based Budget Impact Analysis	Wirkungsanalyse/ Business Impact Analysis	2023	Journal of Cardiovascular Development and Disease	Infektiöse Endokarditis		CPB	CytoSorb	betrachtet Ökonomie des Adsorbers
Rød-Undlien	Apixaban removal during emergency surgery for type A acute aortic dissection: a prospective cohort study	Single-Center prospektive Kohortenstudie	2024	International Journal of Surgery	Typ-A-Dissektion (ATAAD), Apixaban-Therapie	8	CPB	CytoSorb	keine signifikante Reduktion der Apixaban-Konzentration in den ersten 5 min der Adsorbieranwendung
Rutka	„Perioperative Anwendung des extrakorporalen Zytokinadsorbers CytoSorb bei einem Patienten mit septischer Endokarditis“	Case Report	2018	CytoSorb Literatur-Datenbank	Infektiöse Endokarditis der Mitralklappe	1	CPB + postop. CRRT	CytoSorb	
Saller	„Haemoadsorption improves intraoperative haemodynamics and metabolic changes during aortic surgery with hypothermic circulatory arrest“	Single-Center retrospektive Studie	2019	European Journal of Cardio-Thoracic Surgery	Aorten Chirurgie mit hypothermem Kreislaufstillstand	336	CPB	CytoSorb	signifikante Reduzierung des Norepinephrin-Bedarfs sowie für Transfusion
Santer	„Hemoadsorption during Cardiopulmonary Bypass in Patients with Endocarditis Undergoing Valve Surgery: A Retrospective Single-Center Study“	Single-Center retrospektive Studie	2021	Journal of Clinical Medicine	Infektiöse Endokarditis, Klappenoperation	241 (41 v 200)	CPB	CytoSorb	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Schmoeckel	Intraoperative haemo-adsorption for anti-thrombotic drug removal during cardiac surgery: initial report of the international safe and timely antithrombotic removal (STAR) registry	prospektive als auch retrospektive Studie	2024	Journal of Thrombosis and Thrombolysis	Kardiothorakale Operation, Antikoagulantien bzw. P2Y12-Antagonisten	„165 (114 (P2Y12-Antagonist) v 51 (Antikoagulanz))“	CPB	CytoSorb	
Schmoeckel	Direct-acting oral anti-coagulant removal by intraoperative hemoadsorption in CABG and/or single valve surgery: interim analysis of the International Safe and Timely Antithrombotic Removal (STAR) registry	Interimsanalyse/Zwischenauswertung	2024	Journal of Cardiothoracic Surgery	CABG oder einfache Klappenoperationen, Antikoagulantien	62	CPB	CytoSorb	
Schultz	„Einsatz von CytoSorb bei einem elektiven Mitralklappen-Ersatz und Verschluss des linken Vorhofes unter Rivaroxaban-Langzeitbehandlung“	Case Report	2018	CytoSorb Literatur-Datenbank	Mitralklappenersatz, Rivaroxaban-Therapie	1	CPB	CytoSorb	
Shumilkin	Initial Experience with Extracorporeal Cytokine Adsorber CytoSorb® during ascending Aorta surgery	klinische Studie	2018	Scientific Journal „Хирургия“ (Surgery)	Operation an Aorta ascendens und Aortenbogen	4 (2 v 2)	CPB	CytoSorb	
Singh	„Successful Extracorporeal Cytokine Hemoadsorption in a Marfan Syndrome Patient with COVID-19 Undergoing Redo Bentall Procedure“	Case Report	2023	American Journal of Case Reports	Re-Bentall-OP, COVID-19	1	CPB	CytoSorb	

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Sliskovic	Intraoperative Hemoadsorption in Heart Transplant Surgery: A 5-Year Experience	retrospektive Kohortenstudie	2025	„Journal of Cardiovascular Development and Disease“	orthotope Herztransplantation	81 (40 v 41)	CPB	CytoSorb	
Spatola	„Hemadsorption with CytoSorb®: focus on the latest experiences in cardiac surgery patients“	Narratives Review	2024	Journal of Artificial Organs	Kardiothorakale Operation		CPB	CytoSorb	
Stajevic	Einsatz von CytoSorb bei der operativen Entfernung eines massiven Thrombus an einem Hickman-Katheter im rechten Vorhof bei einem pädiatrischen Patienten mit Non-Hodgkin-Lymphom	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Thrombus im Hickman-Katheter, Non-Hodgkin-Lymphom	1	CPB	CytoSorb	
Storey	Early CABG with intraoperative hemoadsorption in patients on ticagrelor: Real world data from the International Safe and Timely Antithrombotic Removal (STAR) registry	internationale, firmengesponsorte Registrierung	2025	Cardiovascular Revascularization Medicine	Patienten unter Ticagrelor, isolierter CABG	„102 (61 (< 24 h von letzter Dosis bis OP) v 41 (24 – 72 h von letzter Dosis bis OP))“	CPB	CytoSorb	
Taleska Stupica	Extracorporeal Hemadsorption versus Glucocorticoids during Cardiac Pulmonary Bypass: A Prospective, Randomized, Controlled Trial	„prospektive, interventionelle, blinde, kontrollierte, randomisierte klinische Studie“	2020	Hindawi Cardiovascular Therapeutics	Kardiothorakale Operation	„60 (20 (Methylprednisolon) v 20 (CytoSorb) v 20)“	CPB	CytoSorb	Methylprednisolon signifikant niedrigere Level an TNFalpha
Thielmann	Haemoadsorption in infective endocarditis: a systematic review	Systematisches Review	2024	„Indian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery“	Infektiöse Endokarditis	202 (99 v 103)	CPB	CytoSorb	„nur eine Studie relevant (Kalisnik), bezieht sich ansonsten nur auf andere vorhandene Studien“

Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Tirilomis	Blutreinigung während einer Klappenoperation im Rahmen einer infektiösen Endokarditis bei einem Jugendlichen	Case Report	2021	CytoSorb Literatur-Datenbank	Infektiöse Endokarditis	1	CPB	CytoSorb	
Träger	„Hemoadsorption treatment of patients with acute infective endocarditis during surgery with cardiopulmonary bypass – a case series“	Case-Series Studie	2017	International Journal Artificial Organs	Infektiöse Endokarditis, Klappen-ersatz	67 (39 v 28)	CPB	CytoSorb	
Wagner	„Plasma Levels of Myocardial MicroRNA-133a Increase by Intraoperative Cytokine Hemoadsorption in the Complex Cardiovascular Operation“	Single-Center randomisierte, patienten-blinde Studie	2019	Journal of Clinical Medicine Research	Kardiothorakale Operation	28 (15 v 13)	CPB	CytoSorb	
Wang	„Effects of Blood Hemo-adsorption Therapy with HA-380 in Total Arch Replacement for Acute Type A Aortic Dissection: A Retrospective Observational Study“	retrospektive, beobachtende Kohorten-studie	2023	Blood Purification	Totaler Bogen-ersatz bei Typ-A-Dissektion (ATAAD)	117 (60 v 57)	CPB	Jafron HA380	
Wisgrill	Influence of hemo-adsorption during cardiopulmonary bypass on blood vesicle count and function	„Subkohorten-Analyse einer bereits veröffentlichten Single-Center, randomisierten, kontrollierten Studie“	2020	Journal of Translational Medicine	Kardiothorakale Operation	18 (9 v 9)	CPB	CytoSorb	



Erster Autor	Originaltitel	Art der Studie	Datum	Journal Details	Patiententyp	„Patientenanzahl (Studiengruppe v Kontrollgruppe)“	Verwendung	Welcher Adsorber verwendet	Kommentare
Yang	Efficacy of Hemoperfusion Cartridge Procedure on Patients Undergoing Cardiac Valve Replacement Surgery with Cardiopulmonary Bypass	retrospektive Studie	2023	The Heart Surgery Forum	Klappenersatz	287 (138 v 149)	CPB	Jafron HA380	signifikant geringeres Laktatlevel Tag 1-3 postop., geringere Plättchenzahl (Tag 1 – 3 postop.) und geringeres Apartat-Aminotransferase-Level (Tag 1 und 3 postop.)
Zhigalov	„Initial experience with CytoSorb therapy in patients receiving left ventricular assist devices“	retrospektives Review	2021	Artificial Organs	LVAD	207 (72 v 135)	CPB	CytoSorb	