



Integrated Kidney Care Solutions



+98 21 91303256



www.iDiasys.com



@ I_DIASYS

فصل ۶

صافی‌ها، محلول دیالیز و سیستم‌های توزیع محلول

صافی^۱، یک فیلتر انتخابی برای برداشت مواد سمی و نامطلوب خون است. فرایند پالایش از ورای پرده‌ای نیمه‌تراوا، بین جریان خون از یک سو و مایع دیالیز از سمت مقابل است. سیستم توزیع^۲، محلول دیالیز را با ترکیبات شیمیایی مناسب آماده می‌کند و سپس آن را با درجه حرارت و دیگر معیارهای مناسب به صافی می‌رساند.

همه صافی‌ها شامل مجموعه‌ای از مسیرهای موازی برای عبور جریان هستند که سطح وسیعی را بین خون و غشا و همچنین پرده و محلول دیالیز فراهم می‌کنند. از نظر هندسی، دو نوع مسیر اساسی متفاوت وجود دارد: ۱- سطح مقطعی چهارگوش که در صافی‌های با صفحات موازی دیده می‌شود. ۲- سطح مقطع گرد که در صافی‌هایی با فیبرهای توخالی^۳ دیده می‌شود. امروزه تقریباً تمامی صافی‌های مورد استفاده در مراکز از نوع هالوفایبر (فیبرهای توخالی) هستند با این وجود به دلیل لزوم آشنایی با تاریخچه صافی‌ها، صافی‌های دورهم پیچیده^۴ و صفحات موازی نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت.

صافی‌های دورهم پیچیده (کویل)

صافی‌های دورهم پیچیده چه مشخصه‌ای دارند؟

صافی دور هم پیچیده یا کویل متشکل از یک غشای استات سلولزی است که به‌طور محکم در اطراف یک استوانه گرد پلاستیکی یا فلزی پیچیده شده و در داخل یک غلاف پلاستیکی سخت محصور شده است. صافی‌های دورهم پیچیده اولین صافی‌هایی بودند که به‌طور انبوه تولید و به بازار عرضه شدند. این صافی‌ها به‌عنوان صافی‌های دهه ۱۹۵۰ معروف شدند. حجم پرشوندگی^۵ در صافی‌های کویل بسیار زیاد، اولترافیلتراسیون^۶ غیرقابل پیش‌بینی و نشت خون بسیار شایع بود.

^۱ Dialyzer^۲ Delivery system^۳ hollow-fiber^۴ coil^۵ Priming volume^۶ Ultrafiltration

صافی‌های با صفحه موازی

صافی‌های با صفحات موازی چه مشخصه‌هایی دارند؟

صافی‌های با صفحات موازی به صورت لایه لایه مانند یک ساندویچ شکل یافته‌اند. صفحات غشا بین صفحات حمایت‌کننده قرار گرفته‌اند که خط‌الرأس‌ها، شیارها یا دوایری برای حمایت از غشا و اجازه عبور مایع دیالیز در طول صافی دارند. خون از طریق صفحات غشا جریان می‌یابد. حجم خون دریافتی کم و میزان هپارین موردنیاز نیز معمولاً کم است. از معایب صافی‌های با صفحات موازی، میزان پذیرش آن‌هاست. این بدین معنی است که حجم خونی که نگه می‌دارند هم‌زمان با افزایش اختلاف فشار دو طرف غشا (TMP) افزایش می‌یابد. عیب دیگر صافی‌های با صفحات موازی این است که برای استفاده مجدد^۷ مناسب نیستند.

صافی‌های هالوفایبر

کلیه مصنوعی هالوفایبر (HFAK)^۸ متداول‌ترین صافی‌های مورد استفاده هستند. این صافی‌ها در انواع و اندازه‌های مختلفی قابل دسترسی هستند.

چه چیزی به عنوان غشا نیمه تراوا در صافی‌های هالوفایبر بکار می‌رود؟

در این دسته از صافی‌ها از رشته‌های بسیار نازک با قطری حدود ۱۵۰ الی ۲۵۰ میکرومتر استفاده می‌شود. خون از طریق ده‌ها هزار فیبر توخالی جریان می‌یابد. فیبرهای توخالی از مواد مختلفی ساخته می‌شوند که هم مواد سلولزی و هم مواد ساختگی (مصنوعی) را شامل می‌شود. ضخامت دیواره ممکن است به اندازه ۷ میکرومتر نازک باشد هرچند که بعضی از صافی‌های مصنوعی می‌توانند دیواره‌ای به ضخامت ۵۰ میکرومتر یا بیشتر داشته باشند (تصویر ۶-۱).

برتری صافی‌های هالوفایبر چیست؟

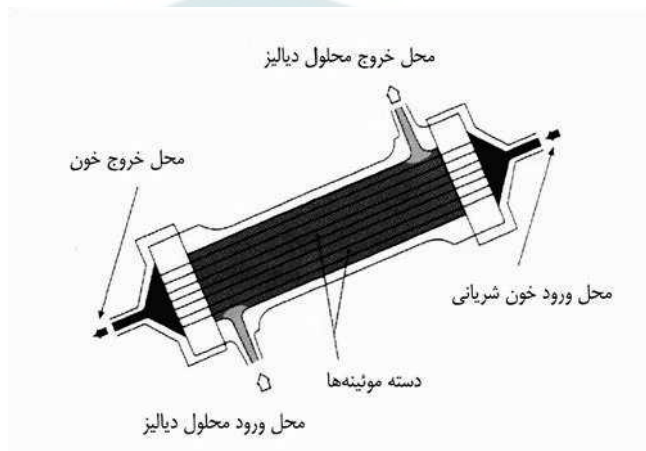
به علت هندسه جریان خون^۹ درون صافی، میزان حجم خون نسبت به وسعت سطح صافی پایین است. مقاومت بر سر راه جریان خون به علت تعدد زیاد مسیرهای عبور خون پایین است. صافی‌های هالوفایبر پذیرای حجم متغیر نیستند؛ بنابراین شکل و حجم آن‌ها با افزایش TMP زیاد و کم نمی‌شود. میزان

⁷ Reuse

⁸ Hallow Fiber Artificial Kidney

⁹ Flow Geometry

اولترافیلتراسیون به‌طور دقیق قابل کنترل است. صافی‌های هالوفایبر برای استفاده مجدد سازگار هستند اگرچه امروزه به‌ندرت از یک صافی به صورت مجدد استفاده می‌شود.



تصویر ۶-۱ صافی هالوفایبر

معایب صافی‌های هالوفایبر چیست؟

هواگیری بسیار دقیق موئینه‌ها پیش از شروع دیالیز ضروری است. در غیر این صورت، ممکن است هوا در داخل موئینه گیر افتاده و پذیرای خون نباشد یا ممکن است باعث لخته در صافی پس از شروع درمان شود. ممکن است توزیع خون در فضای بالای سر صافی نامتقارن و همراه با کاهش پرشوندگی بعضی موئینه‌های مرکزی باشد. صافی‌های هالوفایبر ممکن است با اتیلن‌اکساید استریل شوند. مواد سمی باقی‌مانده از استریل سازی با اتیلن‌اکساید^{۱۰} در مواد پرکننده سر صافی‌ها ممکن است موجب بروز واکنش‌های زیان‌بار در بیمار شود. بیمار ممکن است نیازمند هپارین بیشتری برای محافظت موئینه‌ها از تشکیل لخته باشد.

آیا راه دیگری برای استریل کردن صافی‌ها وجود دارد؟

بله. بعضی از تولیدکنندگان از اشعه گاما استفاده می‌کنند. سایر سازندگان استریل سازی را با بخار انجام می‌دهند. هر دو روش مؤثر هستند. پرتو الکترونی^{۱۱} یا e-beam روش جدیدتری برای استریل کردن صافی‌های کارخانه‌ها است. استریل کردن توسط پرتو الکترونی با به‌کارگیری الکترون‌های پرتوان برای

¹⁰ ETO

¹¹ Electron Beam

فرآوری صافی‌ها صورت می‌گیرد. در این روش زنجیره‌های DNA میکروآرگانایسم‌ها متلاشی و غیرفعال می‌شوند که این امر موجب استریل شدن صافی می‌شود. در روش پرتو الکترون برای فرایند استریل‌سازی صافی از مواد شیمیایی و رادیواکتیو استفاده نمی‌شود بنابراین می‌تواند جایگزین خوبی برای بیماران حساس به اتیلن‌اکساید باشد.

غشاهای همودیالیز

غشاهای مورد استفاده در همودیالیز دو نوع اصلی هستند: ۱- مشتقات طبیعی سلولز ۲- غشاهای ساختگی یا مصنوعی.

برای اولین بار ویلم کولف^{۱۲} رشته‌های سلولزی را به‌طور موفقیت‌آمیزی برای دیالیز بالینی بکار برد. غشاهای سلولزی همچنان پایه ساخت صافی‌ها محسوب می‌شوند. حین تحقیقاتی که به‌منظور شیرین‌سازی مؤثر حجم بالای آب دریا از طریق اسمز معکوس^{۱۳} صورت گرفته بود، غشاهای مصنوعی در زمان انجام تحقیق برای افزایش قابلیت نفوذپذیری و کاهش واکنش‌های ایمنی توسعه یافتند. پیشرفت در روند ساخت ابزار کنترل‌کننده اولترافیلتراسیون در همودیالیز باعث شد، به‌کارگیری این دسته از غشاهای با نفوذپذیری بالا^{۱۴} عملی شود. این امر به نوبه خود باعث شد همودیالیز با صافی‌های های-فلاکس (high-flux)، هموفیلتراسیون^{۱۵} و درمان جایگزین مداوم کلیوی (CRRT) گزینه‌های قابل‌دسترس برای درمان‌های کلیه باشند.

ویژگی غشای سلولزی چیست؟

سلولز (C6H10O5) یک پلیمر کربوهیدراتی پیچیده و ماده ساختاری گیاهان است. سلولز تجاری از محصولات چوبی و کتان به دست می‌آید. بر اثر حرارت دادن و مواد شیمیایی، ماده آبکی به وجود می‌آورد که در صورت انعقاد یافتن به شکل ورقه یا رشته‌های بیرون آمده از بافت مرده همان هالوفایبرها درمی‌آیند. انواع متفاوتی از فرایندها موجب به وجود آمدن غشاهایی با ضخامت دیواره متفاوت، کیفیت‌های متفاوت در جذب آب و نفوذپذیری متفاوت شده است.

¹² Willem Kolff
¹³ Reverse osmosis

¹⁴ Permeability
¹⁵ Hemofiltration

علل نفوذپذیری غشای سلولزی چیست؟

میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد موئینه‌های غشای سلولزی زمانی که خیس می‌شوند، متورم می‌شوند و شکل پیچ‌وخم‌های غیرمستقیم به خود می‌گیرند. «روزنه‌ها»^{۱۶} تونلهایی نامنظم و پیچ‌وخم‌دار هستند که آب و مواد محلول در آن را مجبور می‌کنند چندین برابر ضخامت دیواره را طی کنند تا به بیرون برسند.

کدام دسته از غشاهای سلولزی در حال حاضر در همودیالیز استفاده می‌شوند؟

کوپروفان^{۱۷} به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. سلولزی که با آمونیوم و اکسید مس در طول فرایند تولید فرآوری می‌شود. کوپرامونیوم رایون و هموفان اصلاح یافته‌های کوپروفان هستند. استر سلولز صابونی شده^{۱۸}، سلولز استات و سلولز تری‌استات، دیگر مواد سلولزی هستند که به‌طور گسترده استفاده می‌شوند.

مزایا و معایب غشاهای سلولزی چیست؟

یک مزیت مشخص غشای سلولزی این است که این نوع غشا سالیان سال مورد استفاده بوده به این دلیل ویژگی‌های انتقالی آن‌ها خیلی خوب شناخته شده است. همچنین این غشاها نسبتاً ارزان هستند. هرچند که تمامی غشاهای سلولزی درجاتی از ناسازگاری حیاتی^{۱۹} با خون دارند. این امر باعث بروز مشکلاتی می‌شود که بعداً در همین فصل در مورد آن بحث خواهیم کرد.

ویژگی‌های غشاهای مصنوعی (سنتتیک) چیست؟

غشاهای مصنوعی یک پلیمر ترموپلاستیک هستند. این غشاها سطحی نازک، صاف و لوله‌ای دارند که توسط یک دیوار با ساختار شبه اسفنجی حمایت می‌شود. پلی‌اکریلونیتریل (PNA)، پلی‌سولفان (PS)، پلی‌آمید، پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) و سایر موارد از جمله غشاهای مصنوعی مورد استفاده در همودیالیز هستند. جریان همرفتی عامل انتقال کلی این غشاها است. شما شاهد دفع بیشتر موکول‌های با وزن مولکولی متوسط و بزرگ از طریق این غشاها خواهید بود. تمامی آن‌ها دارای ضریب اولترافیلتراسیون ۲۰-۷۰ mL/h/mmHg یا بیشتر هستند. این غشاها به‌خوبی برای استریل کردن و استفاده مجدد سازگارند. غشاهای مصنوعی نسبت به غشاهای سلولزی مشکلات به‌مراتب کمتری از لحاظ ناسازگاری حیاتی دارند.

¹⁶ Pores
¹⁷ Cuprophane

¹⁸ Saponified Cellulose Ester
¹⁹ Bio-incompatibility

جنبه‌های منفی غشاهای مصنوعی چیست؟

غشاهای مصنوعی چندین جنبه نامطلوب از جمله موارد زیر دارند:

- ❖ در مقایسه با غشاهای سلولزی گران‌تر هستند.
- ❖ به دلیل نفوذپذیری بالا نسبت به آب، نیازمند کنترل‌کننده های خودکار اولترافیلتراسیون هستند.
- ❖ جذب پروتئین به سطح صافی می‌تواند یک مشکل محسوب شود.
- ❖ نفوذپذیری بالا باعث ایجاد خطر فیلتراسیون معکوس^{۲۰} از محلول به خون می‌شود.

سازگاری حیاتی غشاء

هر بار که خون در تماس با سطح خارجی قرار گیرد، یک پاسخ التهابی بروز می‌کند. این پاسخ به‌عنوان وسیله اندازه‌گیری سازگاری حیاتی غشای دیالیز بکار می‌رود. زمانی که واکنش شدید و التهاب بالایی وجود داشته باشد گفته می‌شود غشا ناسازگاری حیاتی دارد. زمانی که واکنش و التهاب خفیف باشد، غشا جزو غشاهای با سازگاری حیاتی بالا طبقه‌بندی می‌شود. سطح سازگاری حیاتی غشا ممکن است با پیامدهای کوتاه و بلندمدت در ارتباط باشد.

فعال‌سازی کمپلمان چیست؟

سیستم کمپلمان یکسری از پروتئین‌های پلاسما است که به‌طور مسلسل‌وار در مقابل رویدادهای بیولوژیک گوناگون واکنش نشان می‌دهند. این سیستم در کنار سیستم ایمنی برای دفاع از بدن در مقابل موادی که بدن آن‌ها را خودی نمی‌داند، عمل می‌کند. زمانی که خون با غشای همودیالیز مواجه می‌شود، واکنشی شبیه آنچه بدن در زمان مواجهه با باکتری نشان می‌دهد از خود بروز می‌دهد.

تظاهرات فعال شدن کمپلمان در حین دیالیز چیست؟

نخستین تظاهر بالینی مرتبط با فعال شدن کمپلمان، کاهش گلبول‌های سفید است. بلافاصله بعد از شروع همودیالیز با غشای سلولزی، تعداد گلبول‌های سفید بیمار (WBC) به سرعت پایین می‌افتد. این امر بعد از ۱۵ دقیقه شروع به اصلاح شدن می‌کند. تا پایان چهار ساعت دیالیز، تعداد گلبول‌های سفید به سطح اول

²⁰ Backfiltration

برمی‌گردد و شاید هم به دلیل واکنش جبرانی مغز استخوان حتی کمی بیشتر شود. این کاهش گلبول‌های سفید گذرا است؛ ولی ممکن است در بیمار مبتلا به مشکل قلبی و ریوی بسیار حائز اهمیت باشد. C5a و مواد نهایی حاصل از آبشار کمپلمان باعث فعال‌سازی گلبول‌های سفید می‌شوند. زمانی که گلبول‌های سفید فعال شوند «چسبنده»^{۲۱} می‌شوند. سلول‌ها به هم پیوسته^{۲۲} یا انبوه شده و در اولین مویرگی که مواجه شوند که معمولاً در شبکه مویرگی ریه است به دام می‌افتند. انسداد مویرگ‌های ریوی توسط گلبول‌های سفید به هم پیوسته، باعث کاهش خون‌رسانی به ریه می‌شوند. این امر به نوبه خود باعث کاهش توانایی بیمار در تبادل مؤثر اکسیژن و دی‌اکسید کربن بین خون و هوای حبابچه‌های ریه می‌شود. این مسئله باعث بروز کاهش اکسیژن خون در حین دیالیز می‌شود. دیگر مشکلات حین دیالیز که به طور مشابه مرتبط با فعال شدن کمپلمان هستند، عبارت‌اند از: درد سینه، درد پشت، مشکلات انعقادی و در موارد شدید آنافیلاکسی. فعال‌سازی کمپلمان در عرض ۱۵ دقیقه به اوج خود می‌رسد و می‌تواند تا ۹۰ دقیقه طول بکشد. میزان کمپلمان تولیدشده وابسته به نوع و سطح غشای مورد استفاده است.

کدام غشاها باعث ایجاد بیشترین سطوح فعال‌سازی کمپلمان می‌شوند؟

سلولز و غشاهای بر پایه سلولز بیش از غشاهای مصنوعی موجب فعال‌سازی کمپلمان می‌شوند (جدول ۶-۱). ترکیبات شیمیایی سطح سلولز شبیه دیواره سلول باکتری است؛ هر دو زنجیره‌ای از ساختارهای پلی‌ساکارید هستند. پاسخ‌های بدن به تماس خون با سلولز بسیار شبیه پاسخی است که در زمان تهاجم باکتری از خود بروز می‌دهد. گروه‌های آزاد هیدروکسیل روی سطح غشا احتمالاً اولین منبع فعال‌سازی شدید کمپلمان هستند. برای ساخت «غشاهای سلولزی اصلاح‌شده» مانند هموفان و استات سلولز از تغییرات شیمیایی برای پوشاندن گروه‌های آزاد هیدروکسیل استفاده می‌شود. غشاهای استات سلولزی سطوح هیدروکسیلی دارند که با گروه‌های استاتی پیوند یافته‌اند. غشاهای هموفان دارای گروه آمینی هستند که به منظور پوشاندن محل‌های فعال به آن‌ها اضافه شده‌اند. هردوی این اصلاحات باعث کاهش میزان تولید کمپلمان‌ها می‌شوند. هرچند که این غشاها هنوز هم نسبت به غشاهای مصنوعی از جهت کاهش تولید کمپلمان عقب‌تر هستند.

²¹ Sticky²² Aggregate

جدول ۶-۱ خواص غشای دیالیز

نوع غشاء	نام غشاء (مثال)	های-فلاکس یا لوفلاکس	سازگاری زیستی
سلولز	کوپروفان	کم	کم
سلولز نیمه مصنوعی			
سلولز دی استات	سلولز استات	زیاد و کم	متوسط
سلولز تری استات	سلولز تری استات	زیاد	خوب
Diethylaminoethylsubstituted cellulose	هموفان	زیاد	متوسط
پلیمرهای مصنوعی			
پلی متیل متاکریلات	PMMA	زیاد	خوب
کوپلیمر پلی اکریلونیتریل متاکریلات	PAN	زیاد	خوب
کوپلیمر پلی اکریلونیتریل متایل سولفونات	PAN/AN-69	زیاد	خوب
پلی آمید	Polyflux	زیاد و کم	خوب
پلی کربنات-پلی اتر	Gambrane	زیاد	خوب
کوپلیمر اتیلن وینیل الکل	EVAL	زیاد	خوب
پلی سولفان	Polysulfone	زیاد و کم	خوب

از Feehally: انواع صافی دیالیز، نفرولوژی جامع بالینی، ویرایش ۶، سنت لوئیس، ۲۰۱۸، Elsevier.

چرا غشاهای مصنوعی نسبت به غشاهای سلولزی کمتر باعث فعال سازی کمپلمان می شوند؟

این غشاها فاقد محل های فعالی هستند که در غشاهای پایه سلولزی دیده می شوند بنابراین میزان کمپلمان های فعال تولید شده در طول دیالیز با این غشاها کمتر از غشاهای سلولزی است.

در زمان انتخاب غشا برای همودیالیز به چه ملاحظات بلند مدتی باید توجه کرد؟

استفاده طولانی مدت از غشاهای با ناسازگاری حیاتی ممکن است با افزایش عفونت، بدخیمی و وضعیت نامناسب تغذیه ای همراه باشد. بیماران تحت دیالیز با غشاهای سلولزی نسبت به بیماران تحت همودیالیز با غشاهای مصنوعی به میزان بالاتری به بیماری β_2 آمیلوئیدوز مبتلا شدند در حالی که با استفاده مکرر از صافی های های-فلاکس، وقوع آمیلوئیدوز مرتبط با دیالیز کاهش یافته است (Nissenson & Fine, 2017). به نظر می رسد این افزایش خطر عفونت و بدخیمی ناشی از حمله های مکرر به سیستم ایمنی بیمار باشد.

زمانی که خون بیمار به‌طور مکرر در تماس با سطوح ناسازگار قرار گیرد، بدن به نحوی پاسخ می‌دهد که گویی حمله به آن صورت گرفته است. سیستم ایمنی وارد عمل می‌شود و تولید کمپلمان و پاسخ‌های التهابی شروع می‌شوند. این شرایط می‌تواند با آسیب بافتی همراه باشد بنابراین تحریک‌های آتی تنها ممکن است باعث بروز پاسخ‌های محدود از سوی سیستم ایمنی شود؛ بنابراین فرد را مستعد عفونت و به‌طور بالقوه بدخیمی می‌کند.

سوءتغذیه یکی از عوامل اصلی مؤثر در بروز بیماری و مرگ‌ومیر در بیماران تحت درمان با همودیالیز است. حتی با دریافت پروتئین کافی، به نظر می‌رسد سوءتغذیه هنوز هم مشکلی است که با فرایند تسریع‌شده کاتابولیک به‌ویژه در روزهای دیالیز مرتبط باشد. تأثیر کاتابولیکی غشاهای با ناسازگاری زیستی به‌خوبی اثبات‌شده است. هرچند، اخیراً مطالعات نشان داده‌اند غشاهای ناسازگار زیستی نیز به همین میزان در افزایش کاتابولیسم پروتئین در حین دیالیز مؤثر هستند و ممکن است منجر به التهاب سیستمیک شود که منجر به هدر رفتن انرژی-پروتئین شود (Ikizler & Deger, 2017). بیماری β_2 آمیلوئیدوزیس در ابتلای طولانی‌مدت بیماران بسیار مهم است. تظاهرات بالینی شامل آرتروپاتی، زخم‌های استخوانی و شکستگی‌های پاتولوژیک، ورم بافت نرم و سندرم تونل کارپال^{۲۳} است.

آیا سازگاری حیاتی غشا تأثیری بر بیماران مبتلا به نارسایی حاد کلیه دارد؟

پاسخ به این سؤال به‌درستی مشخص نیست. بر روی این موضوع که غشاهای سازگارتر باعث بهبود و طول عمر بیشتر بیماران می‌شوند، اتفاق نظر وجود دارد. اعتقاد بر این است که فعال‌سازی کمتر کمپلمان‌ها، فعال‌سازی کمتر WBC و التهاب کمتر در ارتباط با غشاهای با سازگاری بیشتر عامل این امر است.

استفاده مجدد از صافی

باز فرآوری مجدد صافی به معنای فرآیند پاک‌سازی و استریل‌سازی صافی استفاده‌شده به‌منظور استفاده مجدد در همان بیمار است. «استفاده مجدد» به استفاده بالینی از صافی بازفرآوری‌شده اطلاق می‌شود. استفاده مجدد از صافی سال‌ها به‌طور ایمن و مؤثر انجام می‌شد، اما در حال حاضر به ندرت در ایالات متحده استفاده می‌شود. سیستم داده‌های کلیدی ایالات متحده دیگر اطلاعاتی را در مورد تعداد مراکز دیالیز که استفاده مجدد را انجام می‌دهند گزارش نمی‌دهد زیرا به ندرت انجام می‌شود. با این حال، استفاده

²³ Carpal Tunnel Syndrome

مجدد از صافی دیالیز در سایر نقاط جهان، به ویژه آن‌هایی که منابع محدودی دارند (دسترسی ۲۰۱۸) انجام می‌شود. در استفاده مجدد از صافی‌ها باید از استانداردهای سخت‌گیرانه‌ای پیروی کرد. این استانداردها توسط انجمن توسعه تجهیزات پزشکی آمریکا (AAMI) تحت عنوان استانداردها و پیشنهادهای عملی برای استفاده مجدد از صافی همودیالیز تهیه و اعلام شده است.

مزایای استفاده مجدد از صافی چیست؟

با استفاده مجدد از صافی میانگین هزینه هر دیالیز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. «سندرم اولین بار مصرف»^{۲۴} پدیده‌ای غیرقابل تکرار و شامل درد سینه و پشت، تهوع و بی‌قراری است که در نیم ساعت اول استفاده از صافی سلولزی جدید رخ می‌دهد. این سندرم در استفاده مجدد از صافی وجود نداشته یا بسیار نادر است. کاهش ایجاد مواد زائد بیومدیکال^{۲۵} نیز از مزایای استفاده مجدد صافی است.

معایب استفاده مجدد از صافی چیست؟

فرآوری، آزمایش و تعیین هویت و ذخیره‌سازی صافی‌هایی که استفاده مجدد می‌شوند، نیازمند فضا و صرف وقت کارکنان است. مصرف آب باکیفیت بسیار بالا به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. عوامل مورد استفاده برای استریل سازی به‌ویژه فرمالدئید برای بیماران و کارکنان خطرناک است. دستگاه‌های خودکار این مشکلات را به حداقل رسانده‌اند ولی این سیستم‌ها هزینه‌های اولیه بسیار زیادی دارند. خطر آلودگی باکتریایی برای بیمار و نیز انتقال عوامل عفونی به‌طور بالقوه از دیگر مضرات استفاده مجدد صافی است.

آیا رهنمودهایی^{۲۶} برای فرآیند استفاده مجدد صافی وجود دارد؟

AAMI جهت استفاده مجدد از صافی، رهنمودهایی ارائه کرده است. این رهنمودها متعاقباً توسط قوانین سازمان غذا و داروی آمریکا اجباری شد. شرایط پوشش ESRD توسط مراکز خدمات مراقبت و بیمه آمریکا (CMS) مراکز را ملزم می‌کند هنگام استفاده مجدد صافی از رهنمودهای AAMI پیروی کنند. (برای اطلاعات بیشتر فصل ۹ را مشاهده کنید).

²⁴ First-Use Syndrome
²⁵ Biomedical

²⁶ Guidelines

سیستم‌های توزیع^{۲۷}

سیستم تحویل، محلول دیالیز را آماده و در اختیار صافی قرار می‌دهد. اغلب سیستم‌ها، فراهم‌کننده محلول دیالیز برای یک بیمار هستند؛ اما سیستم‌های دیگری هستند که توان تأمین هم‌زمان محلول برای چند صافی را دارند.

سیستم توزیع محلول چیست؟

سیستم توزیع محلول (SDS)^{۲۸} روشی از انتقال محلول‌های موردنیاز برای ساخت محلول دیالیز برای ماشین دیالیز است. بی‌کربنات از یک تانک مخلوط‌کننده و اسید از یک تانک ذخیره به یک مخزن بالاسری نگه‌دارنده که مخزن اصلی نامیده می‌شود، منتقل می‌شوند. محلول‌ها سپس براساس نیروی جاذبه، سیستم توزیع محلول را تغذیه کرده و سپس از طریق یک مجموعه از لوله‌ها به ماشین‌های دیالیز می‌رسند.

وظیفه محلول دیالیز چیست؟

محلول دیالیز حمل‌کننده مواد زائد و مایع دفعی از خون در روند دیالیز است. این محلول از دفع الکترولیت‌های ضروری جلوگیری کرده و درعین‌حال به طبیعی شدن سطح الکترولیت‌ها کمک می‌کند. همچنین آب دفعی مازاد را در طول دیالیز دفع می‌کند. محلول دیالیز عملکرد تصحیح تعادل اسید - باز بیمار را بر عهده دارد. این عملکرد هنگامی درست به‌شمار می‌آید که ترکیب محلول دیالیز تا حد امکان مشابه مایع پلاسمای طبیعی باشد.

مواد شیمیایی مورد استفاده کدامند؟

به‌طورمعمول پنج ترکیب در محلول دیالیز وجود دارد: کلرید سدیم، بی‌کربنات سدیم یا استات سدیم، کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم و کلرید منیزیم. گلوکز ممکن است در بعضی از فرمولاسیون‌ها بکار رود.

مواد شیمیایی داخل محلول چگونه به وجود می‌آیند؟

تولیدکنندگان، محلول غلیظ دیالیز را در گالن‌هایی با اندازه‌های مختلف ارائه می‌کنند. کلرید سدیم در حد اشباع وجود داشته و سایر اجزا به نسبت غلظت نهایی محلول دیالیز وجود دارند. تجهیزاتی وجود دارند که با استفاده از مواد شیمیایی خشک قادر به تهیه محلول غلیظ در داخل بخش دیالیز هستند. این امر باعث کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل می‌شود.

²⁷ Delivery Systems

²⁸ Solution Delivery System

محلول دیالیز حاوی بی کربنات چگونه تهیه می شود؟

محلول دیالیز بیکربنات از مخلوط کردن آب مهیا شده و تصفیه شده با استانداردهای AAMI، با کنسانتره اسید و کنسانتره بیکربنات تهیه می شود. کلسیم و منیزیم به دلیل محتوای کم یون هیدروژن در محلول حاوی بی کربنات باقی نمی ماند و کربنات کلسیم در صورت مخلوط شدن با یک کنسانتره اسیدی تمایل به رسوب دارد. برای حل این مشکل از دو کنسانتره جداگانه استفاده می شود. سیستم توزیع پیچیده تر است زیرا باید سه مایع را به جای دو مایع مخلوط و نظارت کند. محلول دیالیز از طریق ترکیب آب خالص با کنسانتره اسید و کنسانتره بیکربنات فراهم می شود.

انواع سیستم های مخلوط کردن و توزیع برای تهیه کنسانتره همودیالیز موجود است. مخلوط کردن به صورت دستی در واحدهای دیالیز کوچک تر با چند ایستگاه و همچنین در محیط مراقبت حاد انجام می شود. پودر بیکربنات به یک ظرف پر از آب فرآوری شده اضافه می شود و برای یک بیمار به طور جداگانه مخلوط می شود. در واحدهای دیالیز در مقیاس بزرگ تر، داخل مخازن بزرگ دیالیز با دستگاه مخلوط کن خودکار تهیه می شود. در نهایت، کارتریج یا کیسه ها با پودر بیکربنات پر شده و آن ها را می توان مستقیماً روی دستگاه دیالیز استفاده کرد (Desai, 2015). یکی از انواع توزیع بیکربنات به نام بی بگ "Bibag" شناخته می شود، ظرفی که از یک کیسه یک بار مصرف پر از پودر بیکربنات تشکیل شده است. Bibag به دستگاه دیالیز متصل می شود و با محلول اشباع مخلوط می شود. سپس برای دستیابی به نسخه سفارش شده برای بیمار متناسب می شود. این نوع توزیع آنلاین بیکربنات، توزیع بهداشتی بیکربنات را فراهم می کند و فضای ذخیره کمتری را برای بیماران همودیالیزی خانگی اشغال می کند (Fresenius Medical Care, 2014).

چه مواد شیمیایی دیگری در محلول های غلیظ بی کربنات وجود دارند؟

محلول غلیظ "A" (نشان دهنده حالت اسیدی) حاوی بیشترین مقدار سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلراید و یک مقدار کمی از اسید استیک برای حفظ pH پایین جهت نگهداری کلسیم و منیزیم در محلول برای زمانی است که در محلول دیالیز نهایی مخلوط می شوند.

محلول غلیظ "B" حاوی بی کربنات سدیم است. برخی از سیستم ها حاوی بخش یکسانی از کلرید سدیم در هر ۲ محلول هستند. این امر باعث بالا رفتن کانداکتیویته نهایی می شود بنابراین کنترل و پایش محلول

غلظت راحت‌تر می‌شود. جدول ۶-۲ فرمول جدولی مورد استفاده در رقیق‌سازی از نوع حجمی - حجمی^{۲۹} را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۲ فرمول جدولی برای نوع رقیق‌سازی حجمی-حجمی

میزان الکترولیت‌ها (میلی اکی والان بر لیتر) در محلول نهایی							
CH ₃ COO-	HCO ₃ -	Cl-	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K+	Na+	ترکیب
	۳۹	۲۰				۵۹	کنستانتره B
۴		۸۷/۲	۰/۷	۳/۵	۲	۸۱	کنستانتره A
	۳۵	۱۰۷/۲	۰/۷	۳/۵	۲	۱۴۰	محلول نهایی

در سیستم نسبت بندی، محلول غلیظ B به‌طور معمول با نسبتی از آب رقیق می‌شود سپس محلول غلیظ A درست پیش از اینکه به صافی برود، وارد مخلوط‌کننده می‌شود. در سیستم بسته، دی‌اکسید کربن نمی‌تواند خارج شود. به دلیل این خارج نشدن واکنش بین کربنات سدیم و اسید استیک نمی‌تواند کامل شود بنابراین محتوی یون هیدروژن باعث حفظ کلسیم در محلول می‌شود.

مشکلات بالقوه محلول بی‌کربنات کدامند؟

مایع غلیظ B پایدار نیست. بعضی تولیدکنندگان مقدار کمی از پلیمر خاص را به‌عنوان پایدارکننده به آن می‌افزایند. سایرین نیز پودر بیکربنات سدیم خشک را برای مخلوط شدن در بخش استفاده می‌کنند. فرایند مخلوط شدن نیازمند مراقبت است. از آنجاکه مقدار زیادی از دی‌اکسید کربن شکل یافته در طول پروسس‌جر از محلول خارج نمی‌شود، محلول غلیظ باید ظرف مدت ۲۴ ساعت از زمان مخلوط شدن بر اساس دستورالعمل مرکز مورد استفاده قرار گیرد.

محلول غلیظ بیکربنات بسیار مستعد آلودگی و تکثیر باکتری است. محلول پایدار شده باید در چارچوب زمانی طراحی‌شده توسط تولیدکننده مصرف شود. تمامی ظرف‌های مخلوط‌کننده، نگهداری‌کننده یا

²⁹ Volume-Volume

تخلیه‌کننده محلول غلیظ B باید در دوره‌های زمانی منظمی به‌طور موشکافانه و دقیق بررسی و از هرگونه آلودگی پیشگیری شود.

یکی از تولیدکنندگان، از یک سیستم انتقالی استفاده می‌کند که پذیرای ظرف‌های بسته حاوی بی‌کربنات خشک بر روی یک نگه‌دارنده خاص هستند. آب گرم از میان ستون حاوی پودر بی‌کربنات خشک رد شده و محلول غلیظی از بی‌کربنات اشباع‌شده را فراهم می‌کند. این محلول با نسبتی با آب و محلول غلیظ A از طریق یک سیستم بازخورد کنترل‌کننده کانداکت^{۳۰} مخلوط می‌شود.

فرمولاسیون‌های متعددی از محلول A برای مناسب‌سازی سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول نهایی برای تجویز دیالیز وجود دارد. هر مارک تجاری از سیستم انتقال، نسبت‌های ترکیبی خاص خود را دارد. باید برای اطمینان از صحت محلول غلیظ انتخاب‌شده نهایت دقت را داشت که متناسب با سیستم انتقال مورد استفاده بکار رود.

در صورت مخلوط شدن بیش از اندازه بیکربنات چه اتفاقی می‌افتد؟

باید دقت فراوان صورت گیرد که بی‌کربنات بیش‌ازاندازه مخلوط نشود چون ممکن است باعث حذف دی‌اکسید کربن از محلول شود. این امر باعث افزایش pH محلول و تقویت رسوب کربنات کلسیم و منیزیم در مسیر جریان آب می‌شود. این اتفاق نیز از طریق کاهش سطح کلسیم محلول می‌تواند باعث افت کلسیم سرم بیمار شود. برای جلوگیری از مخلوط شدن بیش‌ازاندازه محلول غلیظ باید از زمان‌سنج استفاده شود.

برای تهیه محلول دیالیز از چه نوع آبی استفاده می‌شود؟

آب مورد استفاده برای آماده کردن محلول دیالیز باید به لحاظ محتوای شیمیایی، باکتریایی و مواد تب‌زا مطابق با استانداردهای AAMI باشد. در اغلب موارد این امر موجب پیچیدگی و هزینه‌های سنگین تهیه آب می‌شود. فصل هشتم فرایندهای مختلف درگیر در تهیه «آب باکیفیت دیالیز»^{۳۱} را مورد بحث قرار می‌دهد.

میزان‌های جاری AAMI برای تولید آب مورد استفاده در تهیه محلول دیالیز، پیشنهاد می‌کند شمارش میکروبی کمتر از 100 واحد کلونی فرم بر میلی‌لیتر (CFU/MI) و سطح اندوتوکسین کمتر از ۰/۲۵ واحد

³⁰ Conductivity-controlled feedback system

³¹ Dialysis- Quality water

اندوتوکسین بر میلی‌لیتر (EU)/MI همراه با سطوح عمل به ترتیب ۵۰ CFU/MI و ۱۲۵ EU/MI باشد.

LAL test چه آزمایشی است؟

آزمایش LAL برای شناسایی و قابل‌اندازه‌گیری کردن اندوتوکسین‌های باکتریایی بکار می‌رود. LAL خلاصه Limulus amebocyte lysate است. این روشی برای نشان‌دار کردن اندوتوکسین است که یک پروتئین به‌دست‌آمده از Limulus یا خرچنگ نعل اسبی را بکار می‌گیرد. این اندازه‌گیری در نانوگرم در میلی‌لیتر یا در واحدهای اندوتوکسین ($1 \text{ ng/mL} = 5 \text{ EU/mL}$) گزارش می‌شود.

چرا پایش و تأیید محلول دیالیز اهمیت دارد؟

واکنش‌های نامطلوب و شدید بیمار و مرگ، نتیجه وجود خطا در نسبت‌های محلول دیالیز یا سوء عملکرد دستگاه بوده است. محلول دیالیز باید برای هر دیالیز تأیید شود. هر سیستم تحویل و توزیعی باید به‌صورت روزانه چک شود.

چه روش‌هایی برای پایش ترکیبات محلول دیالیز بکار می‌رود؟

رایج‌ترین آزمایش محلول دیالیز میزان کانداکتیویته کل^{۳۲} است. این آزمایش یون‌های خاص را اندازه‌گیری نمی‌کند، اما کانداکتیویته کل حاصل از همه یون‌ها است (از این رو، یک آزمایش ثانویه است). دستگاه‌های سنجش کانداکتیویته باید با دقت در محدوده "نرمال" یا "ایمن" برای هر نوع کنسانتره مورد استفاده، کالیبره شوند. اگر از دو یا چند فرمول محلول دیالیز استفاده شود، محدوده امن برای هر کدام باید به وضوح مشخص شود زیرا هر کدام دارای غلظت یونی متفاوتی هستند. اغلب تولیدکنندگان میزان کانداکتیویته محلول را زمانی که به نسبت مناسبی ترکیب شود، با برجستگی که روی گالن‌های محلول غلیظ نصب می‌کنند، نشان می‌دهند.

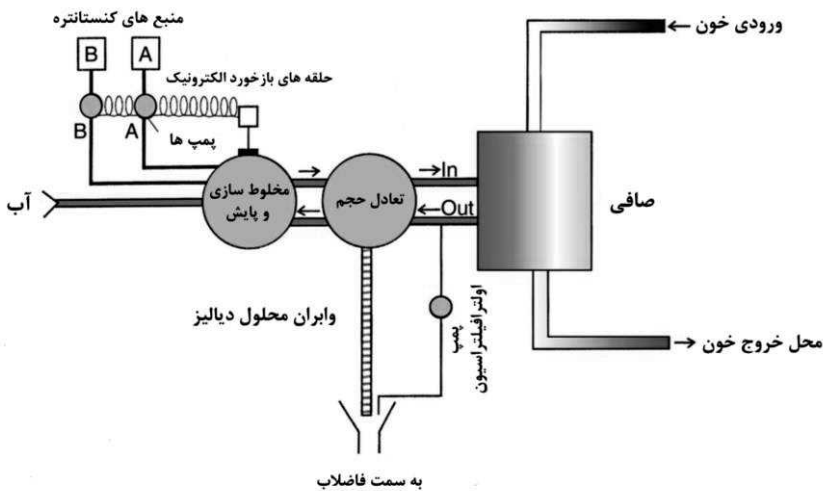
چگونه سیستم‌های نسبت بندی به‌طور صحیح محلول را مخلوط می‌کنند؟

برای مخلوط‌سازی اصولی محلول دیالیز، مایع غلیظ لازم است. سیستم‌های متعددی برای نسبت‌بندی صحیح محلول غلیظ و آب بکار گرفته می‌شوند؛ اما اغلب آن‌ها به‌طور گسترده‌ای مدار میکروپروسور^{۳۳} را برای کنترل سرعت پمپ نسبت‌بندی مبتنی بر پایش مداوم کانداکتیویته و سایر معیارها پایین‌تر از ناحیه

³²Total conductivity

³³ Microprocessor Circuitry

انجام مخلوط بکار می‌گیرند (تصویر ۶-۲). سرعت پمپ‌ها و به دنبال آن حجم‌های محلول‌های غلیظ اضافه‌شده به‌طور دقیقی توسط مدارهای بازخوردی کنترل شده و تضمین می‌کنند مایع دیالیز به نسبت درست مخلوط شده است.



تصویر ۶-۲ نمونه شبیه‌سازی شده یک سیستم مخلوط‌سازی الکترونیک برای یک محلول بی‌کربنات همراه با کنترل اولترافیلتراسیون والیومتریک

معایب سیستم‌های نسبت‌بندی چیست؟

تجهیزات هیدرولیک و الکترونیک با قابلیت کنترل توسط میکروپروسسور بسیار پیچیده و پیشرفته و در عین حال بسیار گران‌قیمت هستند. تعدادی از عملکردها از پیش برنامه‌ریزی شده هستند و ممکن است تغییر ناپذیر باشند.

حس‌گرها^{۳۴} و تجهیزات پایش باید در مقابل نارسایی ایمن^{۳۵} باشند. رفع معایب دستگاه معمولاً دشوار است و حضور کارکنان خدمات پس از فروش کارخانه تولیدکننده برای رفع معایب لازم است.

گرمایش محلول دیالیز چگونه کنترل می‌شود؟

گرم‌کننده یا مبدل حرارتی توسط یک یا چند حس‌گر و یک مدار میکروکنترلر کنترل می‌شود. درجه حرارت مایع باید در محدوده نیم درجه سانتی‌گراد از نقطه تنظیم‌شده بدن حفظ شود.

³⁴ Sensors

³⁵ fail-safe

یک حس‌گر جداگانه نیز باید به‌طور مستقل از سیستم کنترل حرارت برای پایش هم‌زمان با هشداردهنده‌های دیداری و شنیداری برای هرگونه وضعیت خارج از محدوده طبیعی وجود داشته باشد. صحت و دقت دما باید با استفاده از ترمومتر شیشه‌ای مورد تأیید به‌طور منظم کنترل شود. درجه حرارت مرکزی بدن تعدادی از بیماران CKD بین ۳۶ تا ۳۶/۵ است.

افزایش بیش از حد درجه حرارت، موجب گشاد شدن عروق می‌شود. افزایش بیش از حد درجه حرارت به‌طور هم‌زمان با روند اولترافیلتراسیون که به‌طور طبیعی به انقباض عروقی^{۳۶} برای جبران کاهش حجم و در نتیجه مقابله با کاهش فشارخون نیاز است بسیار مضر است. درجه حرارت مایع بیش از ۴۱ درجه سانتی‌گراد باعث همولیز سلول‌های قرمز خون شده و می‌تواند تا ساعت‌ها ادامه داشته باشد.

چرا تجهیزات هواگیری ضروری است؟

مایع حاوی مقدار قابل‌توجهی هوای حل‌شده و حباب‌های بسیار ریز است. زمانی که مایع گرم می‌شود، هوای حل‌شده در آن به شکل حباب‌های ریز پخش‌شده بیرون می‌آید. این مسئله تأثیر منفی بر حس‌گر کانداکتیویته، حرارت و همچنین فلومترها دارد. حباب‌ها می‌توانند سطح تماس غشا محلول را در صافی‌های هالوفایبر کاهش دهند.

اغلب تجهیزات هواگیری در کنار فشار منفی برای استخراج گاز غیرمحلول از مایع دیالیز، از گرم‌کننده‌ها استفاده می‌کنند. هواگیر^{۳۷} یا فیلتر مخلوط‌کننده، گازها را گرفته و از طریق دریچه‌ای به بیرون می‌فرستد.

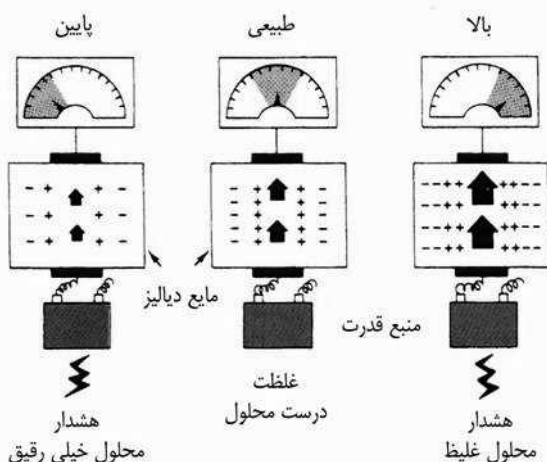
مشکلات مرتبط با دستگاه‌های سنجش جریان (فلومتر)^{۳۸} محلول دیالیز چیست؟

تشکیل فیلم (رسوب) توسط محلول با افزایش زمان بیشتر شده و دقت را کاهش می‌دهد. کالبراسیون فلومتر باید بخشی از سرویس روتین ماشین‌ها باشد. جریان واقعی در کنار تخت بیمار، از طریق جمع‌آوری به‌موقع اندازه‌گیری‌شده جریان خروجی حوضچه تخلیه تعیین می‌شود. کنترل اولترافیلتراسیون باید به‌طور موقت در هنگام اندازه‌گیری صفر شود.

³⁶ Vasoconstriction

³⁷ Air Trap

³⁸ Flowmeters



تصویر ۳-۶ نشانگر کانداکتیویتی

اهمیت پایش فشار محلول چیست؟

اگر اولترافیلتراسیون به صورت محاسبه حجم (والیومتریک)^{۳۹} یا محاسبه شدت جریان (فلومتریک)^{۴۰} کنترل شود، پایشگرهای فشار محلول، کنترل اولترافیلتراسیون و TMP را چک می کنند. راهنمایی های تولیدکنندگان باید به دقت در خصوص درجه بندی و تنظیم این پایشگرها اجرا شود.

غلظت محلول دیالیز چگونه کنترل و پایش می شود؟

مناسب ترین دستگاه برای کنترل و پایش غلظت محلول دیالیز، دستگاه پایشگر کانداکتیویتی (تصویر ۳-۶) است. باید جبران حرارتی در این دستگاه در نظر گرفته شود. به طور طبیعی محدوده دقت آن بین ± 1 تا ± 3 درصد است. حسگر کانداکتیویتی به طور اساسی یک سلول الکترولیتی است که در فصل ۳ توضیح داده شده است. الکترودهای پایشگر کانداکتیویتی به طور مستمر به واسطه عمل الکترولیتیک فرسوده شده و با گذشت زمان حساسیت خود را از دست می دهند.

اغلب سیستم های توزیع دست کم از دو سنسور کانداکتیویتی استفاده می کنند که اطلاعات هر دو باید با هم منطبق باشند. انجام آزمون تأیید از طریق اندازه گیری دستی^{۴۱} کانداکتیویتی به طور روزانه قبل از شروع هر جلسه درمان بیمار ضروری است. اگر کانداکتیویتی در طول درمان دیالیز از حد ایمن خارج شود، زنگ هشدار به صدا در می آید و جریان دیالیز متوقف می شود. قبل از هر انطباق پایشگرهای کانداکتیویتی، آزمایش اولیه مانند اندازه گیری های سدیم یا کلراید به روش آزمایشگاهی باید انجام شود. هدف از این آزمایش تأیید ترکیب حقیقی محلول است.

³⁹ volumetrically

⁴⁰ flowmetrically

⁴¹ Handheld Conductivity meter

آیا pH محلول پایش می‌شود؟

باید یک نوع تأیید pH از طریق یک روش مستقل قبل از آغاز هر جلسه دیالیز وجود داشته باشد. محدوده مورد تأیید AAMI برای pH بین ۶/۹ الی ۷/۶ است. برای وضعیت‌های خارج از محدوده باید هشداردهنده‌های مناسب شنیداری و دیداری وجود داشته باشد. حسگرهای pH با گذشت زمان دچار اشتباه شده و کارکنان شرکت تولیدکننده باید مجدد آن‌ها را کالیبر کنند.

سرعت جریان خون چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟

خون از طریق صافی به‌وسیله غلتک‌هایی با حرکت پرستالتیک^{۴۲} (مانند حرکت کرم) که به‌صورت پیش‌رونده قسمت خاصی از لوله خون را در نیم‌دایره قسمت پمپ فشار می‌دهد، خارج می‌شود. اغلب پمپ‌های خون دارای نشانگر سرعت کالیبره برای نمایش جریان خون مطابق با سرعت چرخش پمپ هستند. قطر داخلی آن بخش از لوله که زیر غلتک‌هاست^{۴۳} باید با آنچه در دستگاه تعیین شده، مطابقت داشته باشد. همچنین با کالیبر دستگاه که توسط نمایشگر پمپ نمایش داده می‌شود، سازگار باشد. تنوع در لوله‌ها، شرایط فشار در مدار خون و خطی نبودن مقیاس در نمایشگر باعث اختلاف ± 10 تا ± 15 درصدی بین جریان خون واقعی و جریان خون نمایش داده‌شده می‌شود. کالیبره بودن هر پمپ باید به‌طور منظم، تحت شرایط استاندارد با نشان تجاری یکسان و لوله رابط‌های رایج و مورد استفاده تأیید شود. آب با ۳۷ درجه سانتی‌گراد از ظرف حاوی آب به‌وسیله لوله رابط باید پمپ شود به‌نحوی که لوله رابط نسبتاً بسته‌شده تا فشار منفی بین سوزن و محل ورودی پمپ در طول دیالیز حاصل شود. جریان خروجی داخل یک سیلندر برای مدت سه تا پنج دقیقه جمع‌آوری می‌شود. تقسیم حجم مایع (میلی‌لیتر) به زمان (دقیقه) بیانگر سرعت جریان است. ثبت هر کالیبراسیون باید روی ماشین و در بایگانی مرکزی نگهداری شود.

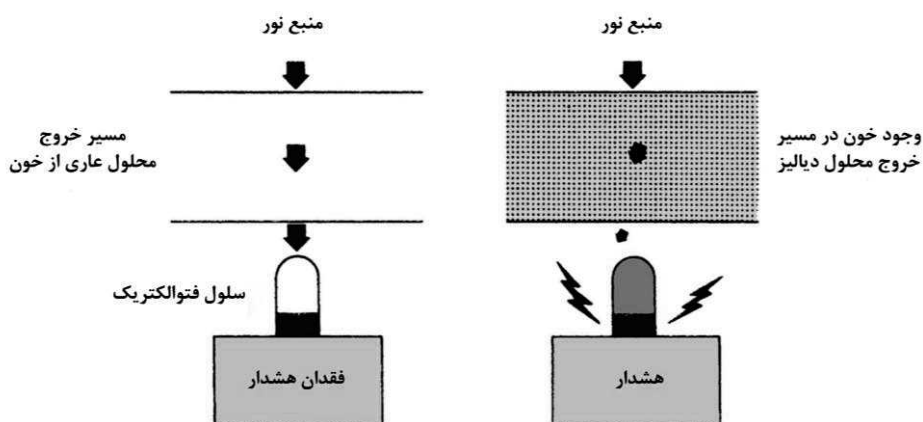
آشکارسازهای (ردیاب) نشت خون چگونه عمل می‌کنند؟

خون باید همیشه در داخل ست و صافی بیمار باقی بماند و نباید وارد محلول دیالیز شود. ردیاب‌های نشت خون یکی از ویژگی‌های ایمن همه ماشین‌های دیالیز برای تشخیص مواردی است که خون به محلول دیالیز رخنه کرده باشد. آشکارسازهای خون در مسیر خروج محلول دیالیز تعبیه‌شده‌اند (تصویر ۴-۶). یک پرتو نور با عبور از مایع دیالیز به یک سلول فتوالکتریک هدایت می‌شود. تغییر در شفافیت و پراکندگی نور در محلول دیالیز، نور دریافتی سلول نوری را کاهش داده و به توقف پمپ خون و فعال ساختن سیستم هشدار

⁴² Peristaltic Rollers

⁴³ Pump Segment

شنیداری و دیداری منجر می‌شود. AAMI پیشنهاد می‌کند آشکارسازهای خون در ماشین دیالیز باید زمانی که نشت خون از غشا صافی در حد 0.35 mL/min یا بیشتر باشد پیام هشدار را فعال کنند (AAMI, 2008).



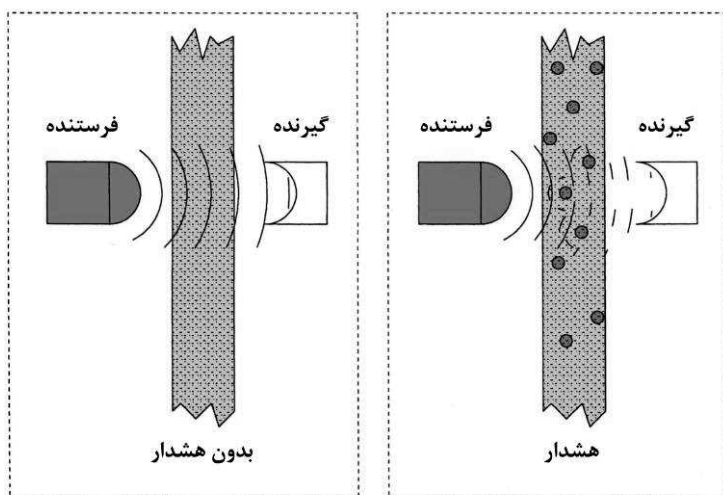
تصویر ۴-۶ آشکار ساز نشت خون

مواد خاص یا حباب‌های هوا منبع مکرری از بروز هشدارهای کاذب هستند. اگر نشت خون به‌راحتی توسط دیدن مورد تأیید قرار نگیرد، محلول باید از طریق نوار تست نشت خون بررسی شود. اگر روش‌های نگهداری استاندارد نتوانند مشکل را برطرف سازند، نمایندگان شرکت تولیدکننده باید مشکل را حل یا قطعه را تعویض کنند.

حباب‌های هوا در آشکارسازهای (ردیاب) خون چگونه اثر می‌گذارند؟

هر زمان که برای جلو راندن خون در مدار خارج بدن از یک پمپ استفاده شود، درجاتی از فشار منفی در ناحیه ورودی ایجاد می‌شود. ممکن است از محل ارتباط اجزای این مدار که خوب به هم متصل نشده باشند یا از طریق محل ورود سوزن فیستولا یا وجود شکستگی در مسیر لوله یا ظرف خالی سرم، هوا به داخل مدار مکیده شود. این منابع بالقوه هوا به‌طور ویژه‌ای حائز اهمیت هستند چون باعث می‌شوند سرعت پمپ برای رسیدن به‌سرعت جریان خون بالاتر بیشتر شود. هوا در خون می‌تواند باعث انسداد فایبرها در صافی‌های هالوفایبر شود. همچنین در صورت وجود میزان‌های بیشتر، ممکن است هوا از چمبر وریدی عبور کرده و باعث آمبولی شدید هوا در بیمار شود.

عموماً آشکارسازهای به‌کاررفته، از پرتوهای ماورای صوت برای شناسایی هوا، کف و حباب‌های بسیار ریز در خون استفاده می‌کنند (تصویر ۵-۶). آشکارساز هوا بین اندام وریدی بیمار و صافی دیالیز قرار می‌گیرد و اطمینان حاصل می‌کند که خون برگشتی (از راه لوله وریدی) به بیمار عاری از هوا است. صوت در آب بسیار سریع‌تر از هوا عبور می‌کند بنابراین حتی حباب‌های بسیار ریز هم باعث کاهش سرعت امواج صوتی شده بنابراین موجب هشدار می‌شوند. ممکن است لوله رابط دیالیز حاوی سرم نمکی، داخل آشکارسازهای صوتی قرار گیرد. در این صورت این آشکارسازها به نور و تغییرات نور در محیط اطراف واکنش نشان نمی‌دهند.



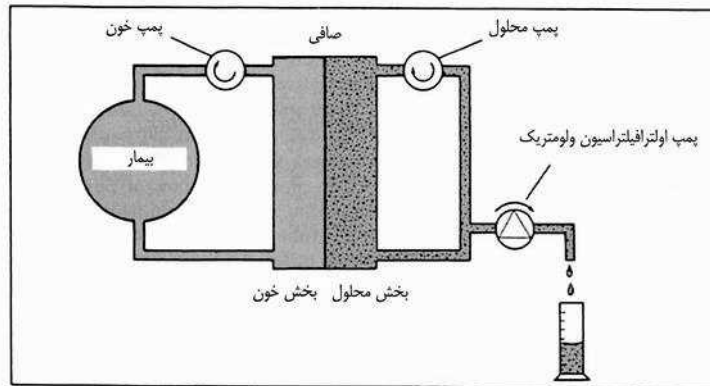
تصویر ۵-۶ ردیاب صوتی هوا / فوم

اغلب آشکارسازهای هوا یا فوم (کف)، فاقد تنظیمات خاص یا حساسیت برای تشخیص خارج بودن ست از جایگاه ردیاب هوا هستند. باید یک زنگ هشدار سطح پایین وجود داشته باشد که به وضوح از فاصله دور قابل تشخیص باشد تا وضعیت خارج بودن ست از ردیاب هوا را نشان دهد. هرگز نباید بیمار را در زمان خارج بودن ست از جایگاه ردیاب هوا و فوم، دیالیز کرد.

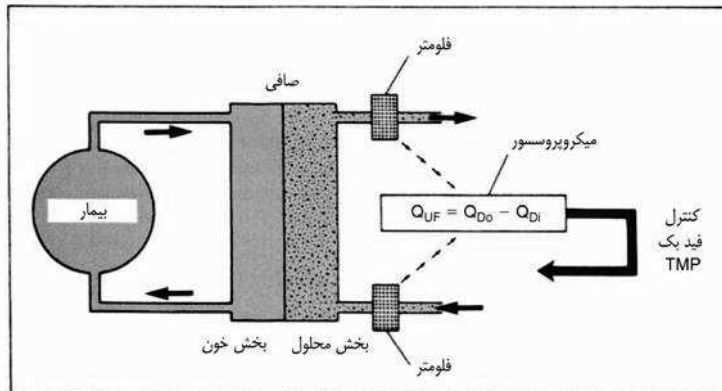
کنترل‌های اولترافیلتراسیون چگونه عمل می‌کنند؟

این ابزارها به‌طور دقیقی حجم محلول خروجی را با حجم محلول ورودی مطابقت می‌دهند تا میزان دقیق حجم اضافی خروجی که بیانگر میزان اولترافیلتراسیون مطلوب (برنامه‌ریزی‌شده) است را نشان دهند. دو

نوع اساسی کنترل کننده‌های اولترافیلتراسیون وجود دارد: والیومتریک (مبتنی بر اندازه‌گیری حجم) و فلومتریک (مبتنی بر اندازه‌گیری جریان). (تصویر ۶-۶ و ۷-۶).



تصویر ۶-۶ کنترل والیومتریک و اولترافیلتراسیون



تصویر ۷-۶ کنترل فلومتریک و اولترافیلتراسیون

تجهیزات اولترافیلتراسیون وابسته به حجم چگونه عمل می‌کنند؟

اغلب سیستم‌های وابسته به حجم دو مخزن دیافراگمی را برای تعادل محلول ورودی و خروجی دارند. درحالی‌که یک‌طرف مخزن اولی در حال پرشدن با محلول تازه است، دیافراگم، حجم برابری از مایع استفاده‌شده را از سوی دیگر خارج می‌کند. به طور هم‌زمان، در مخزن دومی، یک‌طرف در حال پر شدن با مایع خروجی از صافی است درحالی‌که سمت مخالف، حجم برابری از مایع تازه را به سمت صافی روانه

می‌کند. وقتی دیافراگم‌ها در عرض چمبرها منحرف می‌شوند، دریچه‌ها معکوس می‌شوند بنابراین سمتی که خالی شده حالا پر می‌شود و برعکس. حجم اولترافیلتراسیون از کانال محلول خروجی به وسیله یک پمپ اندازه‌گیری کننده قبل از اینکه مایع خروجی با مایع ورودی مطابقت داده شود، دفع می‌شود بنابراین میزان مایع دلخواه از بیمار دفع می‌شود. از آنجا که حجم‌های داخل و خارج کنترلرها به‌طور دقیقی متعادل می‌شوند، هرزمانی که برای دفع حجم مایع معین اولترافیلتره از صافی، فشار (مثبت یا منفی) لازم باشد، ایجاد و اعمال خواهد شد.

دستگاه تنظیم‌کننده اولترافیلتراسیون وابسته به جریان (فلومتریک) چگونه عمل می‌کند؟

در یک دستگاه وابسته به جریان، یک یا دو جریان سنج^{۴۴} بسیار دقیق در هر دو سمت مسیرهای جریان محلول ورودی و خروجی وجود دارد. کار این جریان‌سنج‌ها اندازه‌گیری جریان مایع عبوری از این مسیرها است. سرعت پمپ محلول در مسیر جریان خروجی به وسیله واحد کنترل الکترونیک^{۴۵} تغییر می‌یابد. بنابراین حجم عبوری از پمپ جریان خروجی کاملاً برابر با حجم عبوری از پمپ جریان ورودی است. همچنین میزان این حجم به علاوه میزان اولترافیلتراسیون برنامه‌ریزی شده است.

دیالیز با کارایی بالا (HIGH-EFFICENCY) و های-فلاکس (HIGH- FLUX)

چه تجهیزاتی برای دیالیز با کارایی بالا (HIGH-EFFICENCY) مورد نیاز است؟

دیالیز با کارایی بالا (HIGH-EFFICENCY) چهار الزام زیر را دارد:

- ۱- ممبران (غشا) سلولزی با قابلیت نفوذپذیری بالا (کوپروفان بسیار نازک، هموفان/ استر استات سلولز و غیره) با سطح مقطع ۱/۵ مترمربع یا بیشتر و KOA بالا
 - ۲- جریان خون واقعی ۳۵۰ mL/min یا بیشتر، جریان محلول ۵۰۰ mL/min یا بیشتر
 - ۳- سیستم توزیع محلول دیالیز بی کربنات
 - ۴- سیستم مجهز به کنترل اولترافیلتراسیون
- ترکیب یک غشا با سطح بزرگ با KOA بالا و جریان خون و محلول بالا باعث افزایش جابه‌جایی مولکول‌های کوچک می‌شود. جابه‌جایی ذرات با اندازه متوسط و بزرگ با افزایش سطح و قابلیت نفوذپذیری غشا افزایش می‌یابد.

⁴⁴ Flowmeter

⁴⁵ Electronic Control Module

سیستم‌های مورد نیاز برای دیالیز HIGH-FLUX چیست؟

همانند دیالیز با کارایی بالا (HIGH-EFFICENCY)، در سیستم high-flux نیز حفظ جریان بالای خون، سرعت بالای جریان محلول و کنترل دقیق اولترافیلتراسیون بسیار مهم است. صافی‌های های-فلاکس غشاهای مصنوعی بسیار نفوذپذیر را به خدمت می‌گیرند که در آن‌ها جریان همرفتی (convective) سهم بزرگی از جابه‌جایی ذرات را به عهده دارد (فصل ۷ را ببینید). این صافی‌ها دارای ضریب اولترافیلتراسیون $100-200 \text{ mL/h/mmHg}$ یا بیشتر هستند. شما با این صافی‌ها شاهد پاک‌سازی میزان اوره بسیار بیشتری خواهید بود. ضریب اولترافیلتراسیون (Kuf) یک صافی دیالیز بیانگر حجم مایع منتقل شده از غشا است. صافی‌های های-فلاکس دارای ضریب اولترافیلتراسیون (Kuf) بیش از ۱۵ میلی‌لیتر بر ساعت بر میلی مترجیوه هستند. اندازه‌گیری توانایی صافی دیالیز در پاک‌سازی املاح و به ویژه اوره به‌عنوان ضریب اوره (KoA) نامیده می‌شود. KoA نشان دهنده حداکثر کلیرانس صافی دیالیز برای یک ماده معین با واحد میلی‌لیتر در دقیقه است. KoA متناسب با سطح غشاء صافی دیالیز است (Hoque & Fakir, 2011). با این صافی‌ها حجم بسیار بیشتری از کلیرانس اوره را خواهید دید. علاوه بر برداشت اوره، غشاهای های-فلاکس نسبت به مولکول‌های بزرگ‌تر مانند ویتامین B12 و بتا ۲ میکروگلوبولین و برخی از داروها مانند وائکومایسین نفوذپذیری بیشتری دارند (Skorecki et al, 2016).

کنترل‌گر اولترافیلتراسیون به‌طور دقیق میزان خالص مایع دفعی را مدیریت می‌کند. این امر با ایجاد پروفایل فشار محلول صورت می‌گیرد که باعث ایجاد فیلتراسیون معکوس^{۴۶} از محلول به سمت خون در بخش انتهایی صافی می‌شود. مشکل آلودگی خون با مواد تبزا و تکه‌های اندوتوکسین وجود دارد زیرا غشاهای های-فلاکس به سهولت ذرات با اندازه ۲ هزار تا ۱۰ هزار دالتون را عبور می‌دهند. آزمایش LAL (واژه‌نامه و ابتدای این فصل را مشاهده کنید) برای پایش محلول دیالیز از نظر اندوتوکسین بکار می‌رود.

چگونه باید با مشکل فیلتراسیون معکوس مقابله کرد؟

تکثیر باکتریایی همچنان در زمان عبور مایع دیالیز از صافی ادامه داشته و مواد تبزا افزایش می‌یابد و از غشاهای های-فلاکس در طول فیلتراسیون معکوس (backfiltration) عبور می‌کنند. افزودن یک فیلتر مولکولی یا اولترافیلتر^{۴۷} (فصل ۸ را ببینید)، در مسیر محلول دیالیز بلافاصله پیش از صافی ممکن است در دیالیزهای با صافی های-فلاکس ضروری باشد. یک اولترافیلتر ۵۰ هزار تا ۱۰۰ هزار

⁴⁶ Reverse Filtration

⁴⁷ Ultrafilter

دالتونی، اندوتوکسین‌های دست نخورده و کامل را پس خواهد زد. در صورت وجود مشکل در اندوتوکسین‌های شکسته شده باید از یک اولترافیلتر هزار تا ۱۰ هزار دالتونی استفاده کرد. بعضی از تولیدکنندگان در سیستم توزیع محلول، از اولترافیلترها استفاده می‌کنند. برای محلول‌های فوق خالص (اولتراپور) میزان باکتری باید کمتر از ۰/۱ CFU/MI و سطح اندوتوکسین باید کمتر از ۰/۰۳ EU/MI باشد.