

GRUNDLAGEN DER HAEMODIALYSE

Dr. Bundschu, Ulm

Bei der Hämodialyse lassen sich die physikalischen Prinzipien Ultrafiltration, Diffusion und Konvektion vereinfachend getrennt betrachten. Osmotische Vorgänge spielen im Gegensatz zur Peritonealdialyse hier keine wesentliche Rolle und werden nicht besprochen.

Unter **ULTRAFILTRATION** versteht man die Bewegung von Wasser durch die semipermeable Membran infolge eines Druckgradienten. Die Wasserpermeabilität des Dialysators wird im Datenblatt mit dem sog. Ultrafiltrationskoeffizienten angegeben:

K_{UF} = Ultrafiltrationskoeffizient (ml / mmHg TMP / Stunde)

TMP = Transmembrandruck

K_{UF} unter 10 = "low flux"

K_{UF} über 10 = "high flux"

Der Ultrafiltrationskoeffizient gibt die stündliche Ultrafiltration in ml an, die pro mmHg Transmembrandruck (TMP) erzielt wird. Die Ermittlung erfolgt meist mit Rinderblut bei einem Hkt von 30 %.

In Deutschland nennt man einen Dialysator mit einem Ultrafiltrationskoeffizienten unter 10 vereinbarungsgemäß (historisch abrechnungstechnisch bedingt) einen "low flux"-Dialysator, liegt der Ultrafiltrationskoeffizient über 10, spricht man von einem "high flux"-Dialysator.

Bei den heutigen Dialysegeräten mit gesteuerter Ultrafiltration stellt sich der für die Ultrafiltration (UF) erforderliche Transmembrandruck automatisch ein. Soll z.B. der Patient 1.000 ml stündlich abnehmen und wird ein Dialysator mit einem Ultrafiltrationskoeffizienten von 5 ml/mmHg/Stunde verwendet, so ist ein Transmembrandruck von 200 mmHg erforderlich:

$$TMP = UF / K_{UF} = 1000 / 5 \text{ mmHg} = 200 \text{ mmHg}$$

Dieser setzt sich zusammen aus dem aktuellen venösen Rücklaufdruck (z.B. 100 mmHg) und einem vom Dialysegerät dialysatseitig aufzubringenden Unterdruck (Sog), im Beispiel ebenfalls (minus) 100 mmHg.

$$TMP = PV(-PD) = 100 + 100 \text{ mmHg}$$

Bei Anwendung eines high flux-Dialysators mit einem Ultrafiltrationskoeffizienten von 40 ml/mmHg TMP/Stunde würden demgegenüber bereits durch den vorgegebenen venösen Rücklaufdruck (100 mmHg) stündlich 4.000 ml ultrafiltriert, so dass dialysatseitig ein Gegendruck aufgewendet werden muß, um die Ultrafiltration zu begrenzen. Hierdurch

kommt es im Dialysator zur sog. "Rückfiltration" (*backfiltration*) von Dialysat ins Blut, die umso stärker ist, je höher der UF-Koeffizient des Dialysators und je geringer die gewählte Ultrafiltrationsrate sind.

Unter **DIFFUSION** versteht man die Bewegung gelöster Moleküle durch die semipermeable Membran infolge eines Konzentrationsgradienten vom Ort höherer zum Ort niedrigerer Konzentration. Bei der Hämodialyse diffundieren hampflichtige Substanzen und Elektrolyte (z.B. Kalium) vom Blut ins Dialysat, andererseits diffundieren in der Dialysierlösung höherkonzentrierte Teilchen (z.B. Calciumionen) ins Blut. Theoretisch erfolgt Diffusion bis zum Konzentrationsausgleich beiderseits der Membran. Durch ständige Heranführung frischer Dialysierlösung und durch die Blut-Dialysatführung im *Gegenstromprinzip* wird entlang der Dialysatormembran ständig ein Konzentrationsgradient gewährleistet.

Die Diffusionszeit (t) für ein bestimmtes Molekül hängt ab von der Molekülgröße (Molekulargewicht m), dem Diffusionsweg (d) und dem Konzentrationsunterschied zwischen Blut und Dialysat:

$$t = m \times d^2 / (c_b - c_d)$$

Wegen des dickeren Blutfilms (längerer Diffusionsweg) erfolgt bei Plattendialysatoren die Diffusion langsamer als bei Kapillardialysatoren.

Die Molekulargewichte der häufig zur Charakterisierung der Dialysatorleistung (Clearance) angeführten Substanzen betragen:

- Harnstoff	40
- Kreatinin	113
- Vitamin B 12	1355
- β 2-Mikroglobulin	11800

Die Clearance ist definiert als "das in der Zeiteinheit von einer Substanz theoretisch vollständig gereinigte Volumen". Die Dialysatorclearance wird im allgemeinen in ml/min angegeben.

Die Formel zur Berechnung der Dialysatorclearance lautet:

$$K_D = (C_{bi} - C_{bo}) / C_{bi} \times Q_B$$

C_{bi} = Konzentration vor dem Dialysator

C_{bo} = Konzentration hinter dem Dialysator

Q_B = Blutfluß (ml/min)

Beispiel:

Hamstoff "arteriell" sei 100 mg%, Hamstoff "venös" sei 20 mg%, Blutfluß sei 200 ml/min

$$\begin{aligned}\text{Harnstoffclearance des Dialysators} &= (100 - 20) / 100 \times 200 \text{ ml/min} \\ &= 0,8 \quad \times 200 \text{ ml/min} \\ &= 160 \text{ ml/min}\end{aligned}$$

Die Harnstoffreduktion im Dialysator war in diesem Beispiel 80 %, es flossen pro Minute 200 ml Blut durch den Dialysator, daher wurden 160 ml/min Blut theoretisch vollständig von Harnstoff gereinigt.

Ein Dialysator mit höherer Leistung hätte die Harnstoffkonzentration um 90 % reduziert, die Clearance wäre dann 180 ml/min gewesen.

Ein Vorteil des Clearance-Konzepts ist die Unabhängigkeit von der "arteriellen" Konzentration: Hätte in obigem Beispiel die "arterielle" Harnstoffkonzentration nur 50 mg% betragen, dann hätte sie der Dialysator auf 10 mg%, d.h. ebenfalls um 80 % reduziert; die Clearance-Leistung errechnet sich wieder nach der Formel: $(50 - 10) / 50 \times 200 \text{ ml/min} = 160 \text{ ml/min}$.

Die (nur theoretisch) maximal erreichbare Clearance ergibt eine "venöse" Konzentration von Null = 100 % Reinigung des Blutes, die Clearance würde dann dem Blutfluss entsprechen.

Bei der Beurteilung von Datenblättern ist darauf zu achten, ob (wie meist) die Clearance mit wässriger Lösung bestimmt wurde, wobei sich höhere Werte ergeben als mit Blut (geringerer Wassergehalt der Erythrocyten als des Plasmas).

Gelegentlich erfolgen die Clearanceangaben unter Einrechnung eines ultrafiltrationsbedingten konvektiven Transports (s.u.), was bei Vergleichen von Dialysatoren zu berücksichtigen ist.

"Standard-Dialysatoren" unterscheiden sich von sog. "hochpermeablen Dialysatoren" vor allem hinsichtlich der Clearance im mittel- und höhermolekularen Bereich, die durch Vitamin B12 bzw. β 2-Mikroglobulin repräsentiert werden.

Standard-Dialysatoren erbringen eine Vitamin B12-Clearance von ca. 50 ml/min und sind für β 2-Mikroglobulin nicht permeabel (durch bestimmte Membranen, z.B. PMMA, wird es jedoch adsorbiert). Hochpermeable Dialysatoren haben eine Vitamin B 12-Clearance von über 100 ml/min und entfernen β 2-Mikroglobulin auch transmembranös durch Diffusion bzw. Konvektion (s.u.).

Generell ist im mittel- und höhermolekularen Bereich die Clearance durch Steigerung des Blutflusses (über etwa 250 ml/min) oder des Dialysatflusses nicht mehr wesentlich zu erhöhen.

Die im kleinmolekularen Bereich durch Steigerung des Blutflusses erreichbare Clearance-Erhöhung führt wegen der damit verbundenen Zunahme von *Rezirkulationseffekten* (Shuntrezirkulation und kardiopulmonale Rezirkulation = Vermischung des venösen Blutes aus dem Körper mit hochgereinigtem Blut aus dem Dialysator im Herzen) und wegen zunehmender *Kompartimentierungseffekte* (inadäquate Diffusion von Harnstoff aus den

Gewebe ins Blut) nicht zu proportionaler Erhöhung der Stoffentfernung, auf die es ja eigentlich ankommt.

Moderne Dialysegeräte erlauben „on-line“ während der Behandlung Rückschlüsse auf die tatsächlich entfernte Harnstoffmenge durch wiederholte Messung der Diffusion blutseitig applizierter NaCl-Boli (NaCl diffundiert ähnlich wie Harnstoff durch die Membran).

Unter **KONVEKTION** versteht man das passive Mitführen gelöster Moleküle bei der Ultrafiltration durch die semipermeable Membran. Die Konvektion ist das Entgiftungsprinzip der *Hämofiltration*. Hämofilter sind Dialysatoren mit einer großporigen vollsynthetischen Membran, die sich durch sehr hohe UF-Koeffizienten und gute Permeabilität auch für höhermolekulare Substanzen auszeichnen. Der „*Siebkoefizient*“ gibt an, zu welchem Prozentsatz die Membran durchlässig für eine bestimmte Substanz ist. Für klein- und mittelmolekulare Substanzen ist bei Hämofiltern der Siebkoefizient 1 (uneingeschränkt permeabel), für β_2 -Mikroglobulin noch über 0,6 (zu über 60% permeabel).

Da bei Hämofiltration die Substanzentfernung "passiv" entsprechend der im Blutplasma vorhandenen Konzentration erfolgt, ergibt sich für alle uneingeschränkt membranpermeablen Substanzen (Harnstoff, Kreatinin, Mittelmoleküle wie Vitamin B12) eine identische Clearance, die dem Filtratfluß entspricht. Im Vergleich zur Hämodialyse ist die kleinmolekulare Clearance bei der Hämofiltration daher geringer.

Die gute Kreislaufverträglichkeit der Hämofiltration beruht zumindest teilweise darauf, daß sich durch den konvektiven Stofftransport die Osmolarität des Blutes kaum ändert, während sie beim vorwiegend diffusiven Stofftransport der Hämodialyse deutlich abnimmt, wodurch das „refilling“ erschwert und eine Hypovolämie mit Blutdruckabfall begünstigt werden.

MEMBRANMATERIAL

Weltweit werden jährlich über 70 Millionen Dialysatoren angewendet. Davon sind über 95 % Kapillardialysatoren.

Eine Auswahl der am häufigsten zur Verwendung kommenden Membranmaterialien gibt die folgende Tabelle.

1. Regenerierte Cellulose (Cuprophan®, Cuprammonium Rayon®)

2. Modifizierte Cellulose = Semisynthetische Membranen

Cellulose(di)acetat (80% der OH-Gruppen verestert)

Cellulosetriacetat (100% der OH-Gruppen verestert)

Hemophan® (1% der OH-Gruppen mit DEAE substituiert)

SMC® (OH-Gruppen-Substitution durch Benzolring)

„Coating“ der Cellulose:

Biomembrane® ASAHI (Polyethylenbeschichtung)

Excebrane® TERUMO (HEMA / PTFE / VIT.E)

3. Vollsynthetische Membranen

Polyacrylnitril	AN69®-ST	HOSPAL
Polysulfon	„F-Serie“	FMC u.a. Hersteller
Polymethylmetacrylat		TORAY
Polyamid	„Polyflux“	GAMBRO
Polycarbonat	GAMBRANE®	GAMBRO
Polyarylaethersulfon	ARYLANE®	HOSPAL
Polyvinylalkohol	EVAL®	KURARAY

Ursprünglich wurden nur Membranen aus *regenerierter Cellulose* verwendet, deren Hauptvertreter unter dem Namen Cuprophan® bekannt ist (Lösung der Cellulose in Kupferammonium während des Herstellungsprozesses).

Cellulosemembranen führen zu biologischen Reaktionen (Komplementaktivierung, Leukopenie durch Ansammlung von Granulocyten in den Lungenkapillaren, Hemmung des Granulocytenstoffwechsels, Freisetzung von Enzymen aus Granulocyten und von Zytokinen aus Monocyten), die unter dem Begriff "*Bioinkompatibilität*" zusammengefaßt wurden. Über die klinische Bedeutung möglicher Auswirkungen (Infektanfälligkeit, Katabolismus, Nierenrestfunktion, β 2-Mikroglobulin-Amyloidose) bestehen derzeit kontroverse Ansichten.

Die Biokompatibilität von Zellulosemembranen wird durch *Modifikationen* verbessert. So führt die teilweise oder vollständige Acetylierung freier Hydroxylgruppen oder die partielle Verätherung mit tertiären Amingruppen (Hemophan®) zur Verminderung der geschilderten biologischen Reaktionen.

Ein anderer Weg, die Biokompatibilität zu verbessern, ist das "Coating" (Belegen) von regenerierter Zellulose mit einer synthetischen Innenmembran, z. B. aus Polyethylen.

Die vollsynthetischen Membranmaterialien sind (mit Ausnahme von EVAL®) primär hydrophob (wasserabweisend) und werden beim Herstellungsprozeß entweder mit hydrophilen Zusätzen (z.B. Polyvinylpyrrolidon PVP oder Polyethylenglykol PEG) versehen oder zusammen mit hydrophilen "Copolymeren" wie z.B. Methallylsulfonat verarbeitet.

Die Mehrzahl der vollsynthetischen Membranen ist im Aufbau "*asymmetrisch*", d.h. sie bestehen aus einer ultradünnen (ca. 0,1 Mikrometer) Innenmembran, die für die hohe Permeabilität verantwortlich ist, einer schwammartigen Zwischenschicht von einigen Mikrometer Dicke und einer 30 - 50 Mikrometer dicken, aufgelockerten Außenschicht, welche die mechanische Stabilität garantiert.

Die Biokompatibilität der vollsynthetischen Membranen ist (nach den oben angeführten Kriterien) noch besser als die der modifizierten Cellulose. So aktivieren sie Komplement in geringem Maße (bzw. adsorbieren aktiviertes Komplement wie PAN) und führen zu noch geringerer Leukopenie.

Allerdings gilt diese generelle Aussage nicht für jedes Kriterium der sog. "Biokompatibilität" bei jeder Membran. So setzt beispielsweise PMMA beträchtliche Mengen von Enzymen aus Leukocyten frei. AN69®, die historisch erste vollsynthetische Membran, führt aufgrund der stark negativen Ladung des Copolymers zur Bradykininbildung und ist bei gleichzeitiger Einnahme von ACE-Hemmern kontraindiziert, da ACE-Hemmer auch den Abbau von Bradykinin hemmen und Schockreaktionen berichtet wurden. Heute steht daher eine oberflächenbehandelte Modifikation zur Verfügung („ST“ = surface treated).

Die semisynthetischen und vollsynthetischen Membranen haben in den letzten Jahren wegen ihrer besseren Biokompatibilität zunehmende Verbreitung gefunden. Die Anwendung hochpermeabler vollsynthetischer Membranen ermöglicht auch die Entfernung höhermolekularer Substanzen wie z.B. β 2-Mikroglobulin (11800 Dalton), dessen Ablagerung im Organismus zur dialyse-assoziierten Amyloidose führt.

(Literaturanfragen beim Verfasser):

Dr. Dieter Bundschu

KfH-Nierenzentrum

Eberhard-Finckh-Str. 39

89075 Ulm

Tel. 0731-927610

Fax 0731-9276134

e-Mail: dieter.bundschu@kfh-dialyse.de

Pflegerische Aspekte bei der Dialysebehandlung

Handhabung von Sterilgut, Dialysematerial und Medikamenten

Unser Behandlungsgegenstand ist das Blut der Patienten. 60 - 80 l kumuliertes Blutvolumen zirkulieren durch Systeme und Filter, 120 und mehr Liter Dialysat strömen, nur getrennt durch eine semipermeable Membran, am Patientenblut vorbei. Daraus ergeben sich zwingend unsere Sorgfaltspflichten.

Das **Lager** muss sauber, trocken, ohne direkte Sonneneinstrahlung und frei von Müll sein. Mittels Thermometer ist die Raumtemperatur zu messen und zu dokumentieren.

Auf Paletten gelagerte **Materialien** sind von oben mit Folien oder Kartonagen vor Staub zu schützen, zum Schutz vor Feuchtigkeit von unten muss mindestens auf Palettenhöhe gelagert werden. Aufbewahrt wird im verschlossenen Originalkarton.

Handhabung und Lagerfristen von **Sterilgut** sind in der **DIN-Norm 58 953 Teil 8** geregelt, auch die Herstellerangaben sind zu beachten. Entnommen wird nur der Tagesbedarf. Es gilt das „first in-first out“-Prinzip. Verpackung und Materialien sind immer einer Sichtkontrolle zu unterziehen - Beschädigungen müssen erkannt werden (Vorsicht beim Öffnen der Kartonagen mit Messer oder Scheren) und auf das Verfallsdatum ist zu achten. Sterilgutverpackungen werden erst unmittelbar vor ihrer Verwendung geöffnet, dies gilt besonders für Verschlüsse an Systemen und Filtern.

In unserem Hygieneplan ist verbindlich geregelt, dass konnektierte und gespülte Systeme maximal drei Stunden auf ihren Einsatz warten dürfen. Der früher häufig übliche Trockenaufbau der Geräte, teils schon am Vorabend, ist somit nicht mehr erlaubt.

Medikamente werden selbstverständlich in der Originalpackung gelagert, der Beipackzettel bleibt in der Schachtel. Tropfen und Stechampullen sind mit dem Anbruchsdatum zu versehen (gleiches gilt für Konzentratkanister).

Angebrochene Stechampullen sind des Weiteren im Kühlschrank aufzubewahren, ebenso alle Medikamente mit dem Herstellerhinweis „nicht über 8°C lagern“.

Der **Medikamentenkühlschrank** darf ausschließlich - wie der Name schon sagt - zur Lagerung von Medikamenten verwendet werden. Die Temperatur ist arbeitstäglich zu kontrollieren und zu dokumentieren. Dieses Dokument ist fünf Jahre aufzubewahren und bei Bedarf der Behörde vorzulegen. Wir verwenden sogenannte Minimum-Maximum-Thermometer.

Die größte Gruppe der kühl zu lagernden Medikamente sind unsere Epo-Präparate. Dabei ist zu beachten, dass Erypo® nicht länger als 60 Minuten vor Applikation aus dem Kühlschrank entnommen werden soll. Neo Recormon® kann für die ambulante Anwendung einmalig für einen Zeitraum von max. 3 Tagen und Aranesp® einmalig für 7 Tage bei Raumtemperatur gelagert werden.

Eine konsequente **Händehygiene** ist die Grundvoraussetzung für die sachgemäße Handhabung von Dialysematerial. Wichtig sind kurze nicht lackierte Fingernägel und eine intakte Haut. An Händen und Unterarmen werden keine Schmuckstücke getragen, selbstverständlich auch keine Eheringe und Uhren. Infektionen „fliegen“ in der Regel nicht von einem zum andern Patienten, sie werden „getragen“! Durch eine fachgerechte Händedesinfektion und durch das Tragen und Wechseln der Handschuhe müssen wir Übertragungswege unterbinden.

Bei Arbeiten an ein und demselben Patienten, die einen häufigen Handschuhwechsel erfordern würden, können Handschuhe auch mehrfach stattdessen einer hygienischen Händedesinfektion unterzogen werden. Dies gilt selbstverständlich nicht bei sichtbarer Verunreinigung und bei einem Wechsel von einem Patienten zum nächsten.

Vorbereiten der Dialyse

Für den Trockenaufbau des Dialysegeräts nehmen wir eine hygienische Händedesinfektion vor oder wir tragen Handschuhe. Die Konnektoren müssen steril bleiben und fest verschraubt werden. Insgesamt müssen die Systeme übersichtlich und so angebracht werden, dass sich keine Knickstellen bilden können.

Filter und Systeme werden, je nach Herstellerangaben, mit 800 bis 2000 ml NaCl gespült. Porenfüllstoffe, Glycerin und sonstige Produktionsrückstände werden somit entfernt. Sorgfälliges Spülen soll auch das Auftreten von allergischen Reaktionen mindern. Beim Patientenanschluss mit Aderlass wird die Spüllösung verworfen. Wird der Patient ohne Aderlass angeschlossen, z.B. bei Erstdialysen, muss dieses zirkulierende Kochsalz durch eine frische Lösung ersetzt werden.

Vor und nach Dialyse benötigen wir das Gewicht des Patienten. Hierin liegt eine Fehlerquelle, die nicht selten den Behandlungsverlauf ganz erheblich beeinflusst. Selbst unsere geeichten Waagen haben erhebliche Messunterschiede, insbesondere ergeben sich Differenzen bei einem Wechsel zwischen Stand-, Sitz- und Bettenwaagen. Taragewichte von Rollstühlen können verwechselt werden, die Patienten wiegen sich mal mit, mal ohne Schuhe, und sollten auch immer möglichst gleichartige Kleidung tragen. In dem Zusammenhang möchte ich erwähnen, dass wir uns früher oder später der Frage stellen müssen, ob wir den Patienten tatsächlich in Straßenkleidung im Bett und auf der Dialyseliege haben wollen. Und schließlich werden Zahlen verwechselt, verdreht oder falsch gesehen. Wir haben unsere Waagen mit Druckern ausgestattet - der Weisheit letzter Schluss ist das auch nicht.

Bei Arbeiten am Patienten und bei jeglichem Umgang mit Blut und Ausscheidungen ist über der Arbeitskleidung ein Schutzkittel zu tragen. Organisatorisch von Vorteil ist, wenn diese Schutzkittel für unterschiedliche Patientengruppen auch mit verschiedenen Farben zum Einsatz kommen. Arbeitskleidung und Schutzkittel werden arbeitstäglich gewechselt, bei Kontamination sofort.

Bei Arbeiten an Kathetern und zur Shuntpunktion ist ein Mundschutz zu tragen. Über die unterschiedlichen Punktiostechniken ist schon viel referiert worden und genügend Literatur vorhanden, sodass ich gerne darauf verzichten möchte. Dennoch ein paar Anmerkungen zur Arealpunktion. Selbstverständlich ist sie den allermeisten Patienten am liebsten, ist sie doch schmerzärmer.

Hier ist viel Geduld und Überzeugungs- und Aufklärungsarbeit von Seiten der Pflegekräfte nötig, um den Shunt in seinem gesamten Verlauf auspunktieren zu können. Allerdings müssen wir dabei an einem Strang ziehen und uns auch bei der eigenen Nase packen, hat man seine Patienten mit der Arealpunktion doch wesentlich schneller und müheloser am Gerät angeschlossen.

Die Kanülen sind einerseits mittels Pflaster sicher zu fixieren, andererseits darf die Haut nicht überstrapaziert werden. Vorsicht ist auch am Ende der Dialyse beim Ablösen der Klebebänder geboten. Der Shuntarm muss in einer bequemen Stellung gelagert werden, Schmerzen bis hoch ins Schultergelenk sind sonst die Folge. Aus Sicherheitsgründen müssen Shuntarm und Systeme einsehbar bleiben.

Da unsere Patienten gerne frieren und zusätzlich häufig an einem Steal-Syndrom leiden, kann es hilfreich sein, die Schulter abzudecken und die Hand mit einem Handschuh zu wärmen. Ausdrücklich möchte ich vor dem Einsatz von Wärmflaschen und Heizkissen warnen. Besonders bei Diabetikern bedarf es für Wärmeanwendungen einer ärztlichen Anordnung. Wir verzichten aus Sicherheits- und rechtlichen Gründen ganz auf Wärmflaschen und Heizkissen.

Überwachung des Patienten

In den ersten Minuten nach Behandlungsbeginn sind **Puls und Blutdruck** zu erfassen. Bei stabilen Kreislaufverhältnissen sind nunmehr stündliche Kontrollen ausreichend. Jede Veränderung und die daraufhin ergriffenen Maßnahmen sind ins Dialyseprotokoll einzutragen.

Ebenfalls stündlich (bei Bedarf auch häufiger) sind die **Geräteparameter** zu kontrollieren und zu dokumentieren. Das Blutkompartiment ist einer Sichtprüfung zu unterziehen, wobei auf Farbe und Schaumbildung geachtet wird. Weiterhin wird die Dichtheit aller Verbindungen und die Höhe der Spiegel in den Blasenfängern kontrolliert. Flüssigkeit in den Druckableitungen bis in den Transducer hinein führt zu falschen Druckanzeigen an den Monitoren.

Auf die stündliche Förderrate des **Heparinperfusors** ist ebenfalls zu achten.

Die eingestellte **UFR** ist eventuell zu korrigieren, da Wasserlassen, Erbrechen, Diarrhöe und Schwitzen bei Fieber oder sommerlichen Temperaturen, aber auch Änderungen der vorausgerechneten Trinkmenge zu Veränderungen des erforderlichen Volumenentzugs führen können.

Der **TMP** wird auf seine Plausibilität hin überprüft (TMP = pos. venöser Druck + neg. Dialysatdruck). Ein Anstieg des TMP lässt eine Thrombosierung des Dialysators befürchten, ein Abfall hingegen die der venösen Tropfkammer. Vergleiche mit vorangegangenen Dialyseprotokollen vornehmen!

Blutzuckerkontrollen sind besonders bei Diabetikern, Kindern und älteren Patienten indiziert. Hypoglykämien sind trotz der Verwendung von glucosehaltigem Konzentrat möglich. Schwankende Blutzuckerwerte erfordern immer wieder die Anpassung der Insulindosis und der Dosierung oraler Antidiabetika.

Kaliumkontrollen sind oft auch außerhalb der Routineabnahmen notwendig; dies gilt besonders bei Veränderungen der Dialysezeit, des Dialyseintervalles oder der Konzentranatordnung. Bradykardie, Rhythmusstörungen, Parästhesien und schwere müde Beine deuten auf eine Hyperkaliämie hin, dagegen sind Tachykardien, Extrasystolen und Rhythmusstörungen gegen Ende der Dialyse Anzeichen für eine Hypokaliämie. Erbrechen, Diarrhöe und Laxantienabusus vor der Dialyse müssen schon zu Beginn der Behandlung an eine Hypokaliämie denken lassen. Schnell abfallende Kaliumspiegel können ein Hinweis auf eine Shuntrezirkulation sein. Das bedeutet natürlich im

Umkehrschluss, dass Kaliumbestimmungen aus dem zirkulierenden Blutvolumen bei einer entsprechenden Rezirkulation nicht zuverlässig sind.

Hb-Kontrollen werden bei Symptomen wie Blässe, Frösteln und Kurzatmigkeit bei Belastung, aber natürlich auch durch die Anamnese von Blutungen und Blutverlusten bei der vorangegangenen Dialyse notwendig. Membranrupturen, Thrombosierung im extrakorporalen System und Nachblutungen müssen beachtet werden. Nasenbluten kann zu einer lebensgefährlichen Hyperkaliämie führen, wenn dabei Blut verschluckt wird!

Zu **Laboruntersuchungen**: mit Blut ist so sparsam wie möglich umzugehen! Manche Parameter sind nur im nichtheparinisierten Blut zu bestimmen. Blut und Blutbestandteile sind prinzipiell als infektiös zu betrachten, daher sind bei ihrer Handhabung immer Handschuhe zu tragen, und alles Material ist korrekt zu entsorgen. Untersuchungsproben werden nur in beschriftete Röhrchen abgefüllt, um Verwechslungen auszuschließen. Beim Verpacken und Versenden sind die Transportvorschriften zu beachten.

Das Verabreichen von **Injektionen** ist eine ärztliche Tätigkeit, die im Rahmen von routinemäßigen Durchführungen an das Pflegepersonal delegiert werden kann. Unproblematisch ist hierbei die Dauermedikation, wie z.B. Eisen- und Vitaminpräparate und Erythropoetin.

Bei Bedarfsmedikamenten wie Schmerzmitteln, blutdrucksenkenden oder krampflösenden Mitteln, Insulin oder Glucose 40% bedarf es einer exakten ärztlichen Anordnung.

Dem Pflegepersonal darf hierbei kein therapeutischer Spielraum bleiben. Dies betrifft ebenso die Gabe von Antibiotika, durchblutungsfördernden und sonstigen Medikamenten, die wegen Begleiterkrankungen verabreicht werden. Rechtlich unumstritten ist, dass die Gabe von Bluttransfusionen nicht an das Pflegepersonal delegiert werden kann.

Kochsalz wird am arteriellen Zuflussschlauch, vor der Blutpumpe angeschlossen. So kann bei einem RR-Abfall schnell NaCl 0,9%ig substituiert werden. Bei Bedarf klemmt man das arterielle Blutschlauchsystem zwischen Patient und Infusionszulauf ab, die Kochsalzlösung wird entsprechend der Blutpumpengeschwindigkeit schnell angesaugt.

Infusionen können ebenfalls am arteriellen Zulaufschlauch angeschlossen werden. Es sollten nur kollabierende Beutel zur Anwendung kommen. Belüftete Gasflaschen dürfen nur unter Aufsicht verwendet oder über einen Infusiomaten verabreicht werden. Ebenso wird ein Infusiomat benötigt, wenn die Infusion nach dem Dialysator in die venöse Tropfkammer erfolgen soll.

Risiken bei der Dialysebehandlung

Hervorzuheben ist, dass auch ohne „Alarmer“ für den Patienten bedrohliche Situationen entstehen können. Haben wir alle Dialyseparameter richtig eingegeben? Das richtige Konzentrat angeschlossen? Fehlerhafte Systeme oder ein Knick in der Strecke zwischen arterieller und venöser Druckableitung können eine Hämolyse hervorrufen, ohne dass Druckanzeigen warnen. Eine venöse Dialysekanüle kann so unglücklich dislozieren, dass kein Druckalarm ausgelöst wird. Auch Lecks zwischen arteriellem Druckabnehmer und venöser Nadel können einerseits so minimal sein, dass sie keinen Druckalarm auslösen, andererseits aber zeitabhängig zu einem symptomwirksamen Blutverlust führen.

Rupturen, Bauteilfehler, aber auch schlicht mangelhafte Verschraubungen sind die Gründe für solche Undichtigkeiten. Wir achten darauf, dass vom Hersteller angebrachte Plastikklipp an den Zugängen zum System (Infusionszulauf, Tropfkammern) immer verschlossen sind.

Ist während der Dialyse eine Spritze an der venösen Tropfkammer aufgesteckt, z.B. um fraktioniert Eisen spritzen zu können, wird zusätzlich zum Plastikklipp mit einer Klemme gesichert.

Die Druckgrenzen sind eng zu setzen, vorallem die untere venöse Druckbegrenzung sollte sich eng am Ist-Wert orientieren.

Bei unserer Überwachung haben wir dem Umstand Rechnung zu tragen, dass beim gegenwärtigen Stand der Technik der Patient nicht völlig vor extracorporalen Blutverlusten geschützt ist.

Die Anwendungsregeln für Hämodialysegeräte (DIN VDE 0753 Teil 4) führen dazu aus, dass die Sicherheit des Patienten durch den Anwender mittels Kontrollen in angemessenen Zeitabständen zu gewährleisten ist. Auf die rechtliche Seite möchte ich ausdrücklich hinweisen.

Patientenbeobachtung

Die Qualität der Dialyseüberwachung und Behandlung ist abhängig von einer fundierten Krankenbeobachtung. Mit dem Patienten muss über sein Ergehen nach der letzten Dialyse, über seine Beschwerden im dialysefreien Intervall und über sein Befinden während der Behandlung gesprochen werden.

Sollgewicht

Hoher Blutdruck, Kurzatmigkeit, Ödeme in den Beinen, ein geschwollenes Gesicht, für den Patienten ungewöhnlich niedere Gewichtszunahme, Verdünnungseffekt bei Natrium und Hb müssen uns an einen Gewichtsverlust denken lassen und erfordern eine Absenkung des Sollgewichts.

Neigung zu Krämpfen, RR-Abfälle, eine leise heisere Stimme gegen Ende der Dialyse, selten auch Nierenschmerzen, erfordern eine Korrektur des Sollgewichts nach oben. Manchmal klagt der Patient in diesem Zusammenhang auch über Juckreiz, die Haut zeigt sich dann trocken und schuppig und Hautfalten bleiben stehen. Berichtet er, daß er sich nach der Dialyse schlapp und ausgetrocknet fühlt, ist das ebenfalls ein Hinweis.

Shuntrezirkulation

Rezirkulation bedeutet, dass ein Teil des gereinigtes Blut aus der venösen Nadel im Shunt wieder direkt in die arterielle Nadel strömt und sich mit ungereinigtem Blut mischt. Hinweise auf eine Shuntrezirkulation müssen erkannt werden.

Schon beim Patientenanschluss: Wenn nach der Konnektion des venösen Schlauchsystems an die venöse Nadel und dem Einströmen von hellem weil mit Kochsalz vermischten Blut, plötzlich helles Blut aus der arteiellen Nadel fließt.

Aber auch wenn Messungen ein deutlich niederes Kalium oder schnell abfallende Kaliumwerte ergeben. Auch ein deutliches Ansteigen der Gerinnungszeit oder eine verlängerte Nachblutung sind wichtige Anzeichen. Je nach Ausmaß der Rezirkulation ist auch eine Nachdunklung des Blutes im Verlauf der Dialyse zu erkennen.

Komprimiert man den Shunt zwischen arterieller und venöser Nadel, erhält man durch Druckveränderungen weitere Hinweise. Wir führen im Rahmen der Qualitätssicherung routinemäßig vierteljährlich Rezirkulationstests durch. Ebenso nach Neuanlagen oder Shuntrevisionen.

Die adäquate Dialyse-Dosis

Die Effektivität der Dialyse ist im Wesentlichen abhängig von vier Parametern: der Behandlungszeit, dem Blutfluss, von der Clearance des Dialysators und vom Dialysatfluss.

Die **Behandlungszeit** muss primär ausreichend lang angeordnet sein. Dass der Patient sie tatsächlich erhält, liegt auch in unserem Verantwortungsbereich. In einer Beobachtungsstudie wurde nachgewiesen, daß die effektive Behandlungszeit wegen technischer und therapeutischer Unterbrechungen die verordnete Zeit in der Regel unterschreitet. Hochgerechnet auf ein Jahr gehen dem Patienten sieben (!) Behandlungen verloren.

Jede Minute zählt - das muss uns wichtig sein, und das müssen wir den Patienten immer wieder vermitteln.

- Die Dialyse beginnt nicht mit der Punktion, sondern wenn der gewünschte Blutfluß eingestellt ist.
- Unterbrechungen, die zu einem Stopp auf der Blut- oder Dialysatseite führen, sind aufzurechnen. Neuere Geräte tun dies automatisch.
- Alarmzeiten sind möglichst zu vermeiden, z.B. durch richtiges Setzen der Alarmgrenzen, Konzentratkanister nicht leer werden lassen.
- Zeiten mit reiner UF sind der Dialysezeit aufzurechnen.
- Das vorzeitige Beenden der Dialyse wegen Komplikationen wie Krämpfen und RR-Abfällen muß die absolute Ausnahme sein. Bei uns muß darüber Rücksprache mit dem Arzt gehalten werden.
- Verhandlungsbasis mit dem Patienten kann die wöchentliche Dialysezeit sein, z.B. heute eine halbe Stunde kürzer wegen wichtigem Termin, wird aber bei der nächsten Dialyse angehängt.

Der **Blutfluss** bestimmt im wesentlichen die Harnstoff-Clearance. Eine Steigerung der Blutflussrate bedeutet eine Verbesserung der Effektivität. *Die gewünschten Blutflussraten sind möglichst einzuhalten.*

- Sensible und empfindliche Patienten sind für höhere Blutflussraten zu motivieren.
- Durch die Wahl der Kanülen kann ein höherer Fluss erreicht werden.
- Nach Alarmen und Korrekturen darf nicht vergessen werden, den gewünschten Wert wieder einzustellen.
- Krämpfe und RR-Abfall sind primär kein Grund, die Blutpumpe zurückzustellen.
- Anzeichen einer Rezirkulation erkennen und dem Arzt melden.

Die **Clearance des Dialysators** ist natürlich zunächst vom Produkt selbst abhängig.

Durch das Einhalten der notwendigen Sorgfaltspflichten müssen wir dazu beitragen, dass die Leistung des Filters wirksam wird.

- Dialysator exakt vorbereiten und entlüften.
- Auf Luft auf der Dialysatseite achten - wo Luft ist, findet keine Diffusion statt.
- Im Gegenstromprinzip anschließen (20% Effektivitätsverlust).
- Sich nicht mit Restblut abfinden - das wird in „EPO-Zeiten“ nicht mehr so sehr gewichtet, teilthrombosierte Dialysatoren bedeuten aber immer auch einen Effektivitätsverlust.
- Gerinnung kontrollieren

Der **Dialysatfluss** ist in der Regel standardisiert auf 500 ml/Min. Wird bei Patienten trotz Zeitverlängerung, optimaler Blutpumpeneinstellung und entsprechendem Filter keine ausreichende Dialyседosis erreicht, kann der Dialysatfluss auf 800 ml/Min erhöht werden (steigert die Effektivität um ca 10%).

Es liegt in unserem Verantwortungsbereich, dass der Patient auch diese Komponente erhält.

- Der Dialysatfluss muss nach Anordnung eingestellt sein (wichtig auch bei HDF-Online)
- Für die technische Überprüfung sorgen, wenn Wasser- und Dialysatalarme auftreten.

In zahlreichen Studien wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der durchschnittlich verabreichten Dialyседosis und der Patientensterblichkeit gezeigt. Positiv ausgedrückt können diese Studien so zusammengefasst werden:

Je höher die verabreichte Dialyседosis, desto niedriger die Patientensterblichkeit.

Wir streben für jede Dialyse die - maximale - (individuell verträgliche) Dialyседosis an!