

P. E. PÉRGOLA, N. M. HABIBA, J. M. JOHNSON
University of Texas, St. Antonio, USA

REGULIERUNG DER KÖRPERTEMPERATUR WÄHREND HÄMODIALYSE BEI LANGZEITPATIENTEN: IST ES AN DER ZEIT, DIE VORGABEN FÜR DIE DIALYSATTEMPERATUR ZU ÄNDERN?

Während der verschiedenen Hämodialyseverfahren kann es durch Veränderungen in der Dialysattemperatur zum Anstieg oder Abfall der Körpertemperatur kommen, da dem Patienten das Blut in einem Temperaturgleichgewicht mit dem Dialysat zurückgeführt wird. Sogar bei einer Dialysattemperatur, die der Körpertemperatur des Patienten entspricht, nach Messung in Ohr, Mund oder Achselhöhle, kann es zu einem Anstieg der Körpertemperatur des Patienten kommen und damit zu Hautgefäßerweiterung und möglicherweise auch zu kardiovaskulärer Instabilität und niedrigem Blutdruck. Diese gefährliche Abfolge von Ereignissen kann vermieden werden, indem die Dialysattemperatur entsprechend angepasst wird. Durch Absenken der Dialysattemperatur von 37°C auf 34 - 35,5°C verbesserte sich die kardiovaskuläre Stabilität bei vielen Hämodialysepatienten. Die kontinuierliche Überwachung der Bluttemperatur ermöglicht es dem betreuenden Arzt, präventive Änderungen der Dialysattemperatur vorzunehmen, da schon eine geringfügige Veränderung in der Körpertemperatur enorme Folgen für das Herz-Kreislauf-System haben kann. Die Grenzwerte für die Gefäßerweiterung in der Haut liegen beispielsweise nur 0,3°C bis 0,8°C von den Werten beim Frösteln auseinander. Zur Verbesserung des Hämodialyseverfahrens wurde vorgeschlagen, Geräte einzusetzen, die ein kontinuierliches Monitoring der arteriellen und venösen Bluttemperaturen erlauben und die Dialysattemperatur automatisch angleichen, so dass der Patient – nicht das Dialysat – isotherm bleibt. Als weniger optimale Lösungen erscheinen (1) Überwachung der arteriellen und venösen Temperatur durch manuelle Anpassung der Dialysattemperatur, um die arterielle (und damit Körper-) Temperatur stabil zu halten; (2) Überwachung der peripheren Temperaturen (Mund, Ohr) in regelmäßigen Abständen

und Anpassung der Dialysattemperatur, um die Körpertemperatur konstant zu halten; (3) routinemäßige Verwendung einer Dialysattemperatur <37°C bei allen Patienten, sofern keine Kontraindikation vorliegt.

Trotz der riesigen Fortschritte in der Dialysetechnik von der ersten klinischen Dialyse in 1924 bis heute wird die Wahl der Dialysattemperatur bei Langzeitpatienten immer noch sehr wenig beachtet. Nephrologen sind sich gegenwärtig im Allgemeinen einig darüber, dass eine niedrige Dialysattemperatur in vielen Fällen von Vorteil ist. Es bleiben jedoch noch einige Punkte zu klären, nämlich (1) Was ist die normale Körpertemperatur von Dialysepatienten? (2) An welcher Körperstelle sollte gemessen werden, um den besten Referenzwert für die Verschreibung der Dialysattemperatur zu erhalten? (3) Was ist die optimale Dialysattemperatur für Langzeit-Dialysepatienten?

Beim Menschen wird die Körpertemperatur trotz einer signifikanten Wärmeproduktion in einem engen Bereich aufrechterhalten. Wärme wird entsprechend dem Anteil an Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxid-Entstehung als Resultat der Freisetzung von Zellenergie produziert. Leistungsfähige Effektormechanismen bewirken ein Gleichgewicht zwischen Wärmeverlust und Wärmeproduktion. Der Blutfluss in der Haut wird angepasst, um den Transfer von Wärme aus dem Körperinneren an die Oberfläche zu regulieren. Schwitzen wird aktiviert, um den Vorteil einer Verdunstungskühlung zu erhalten. Die Wärmeerzeugung kann willkürlich durch Aktivität oder unwillkürlich durch Frösteln verändert werden. In angenehmer Umgebung lässt sich das Temperaturgleichgewicht durch Wärmeverlust über Konvektion und Abstrahlung (85%) sowie Verdunstung durch die Haut (15%) erzielen. Die

Hämodialyse stellt eine signifikante Herausforderung für die Wärmeregulation dar. Die Bluttemperatur kann durch Anpassung der Dialysattemperatur kontrolliert werden; das ist ein wichtiger Punkt, da auch geringfügige Änderungen in der Körpertemperatur des Patienten unausweichlich zur Aktivierung von Gegensteuerungsmechanismen führen. Zusätzlich zur vom Patienten ständig erzeugten Wärme muss die Wärme, die über das warme Dialysat aufgenommen wird, durch erhöhten Blutfluss in der Haut wieder abgegeben werden, wodurch es zur Abgabe von warmem Blut an die Körperoberfläche kommt, um die Temperatur-Homöostase aufrechtzuerhalten. Ebenso könnte auch das Abkühlen des Blutes während Hämodialyse physiologische Reaktionen bewirken, wie Gefäßverengung in der Haut und Frösteln, um die Körpertemperatur wiederherzustellen. Jede Aktivierung der physiologischen Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur muss als ein suboptimales Ergebnis des Hämodialyseverfahrens angesehen werden, da diese kompensatorischen Mechanismen entweder die Herz-Kreislauf-Stabilität (Hautgefäßerweiterung) oder den Patientenkomfort (Kälteempfindung, Frösteln) beeinflussen können. Es sollte daher das Ziel bei der Festlegung von Dialysattemperaturen sein, die Temperatur-Homöostase ohne Beteiligung der physiologischen Gegenregulationsmechanismen beizubehalten. Um dieses Ziel zu erreichen, muss das an den Geräten tätige Personal über genaue Kenntnis der Körpertemperatur des Patienten vor und während der Dialyse sowie der komplexen Beziehung zwischen Dialysat, arterieller Schlauchleitung und Körpertemperaturen verfügen.

Normalerweise wird eine Temperatur von 37°C (98,6°F) als Standard-Dialysattemperatur für Langzeit-Hämodialysepatienten gewählt. Der historische Grund dafür ist nicht klar, da wir keinerlei Angaben in der Literatur finden konnten, die diese Praxis stützen würden. Der offensichtliche Grund, so mag man meinen, liegt darin, dass 37°C als durchschnittliche Körpertemperatur für die meisten Erwachsenen angesehen wird. Durch Verwenden einer Dialysattemperatur, die dieser „durchschnittlichen normalen“ Körpertemperatur entspricht, sollten sich dann Veränderungen in der Körpertemperatur während Hämodialyse vermeiden lassen. Sowohl die Vermutung als auch die Messung können sich jedoch als falsch erweisen. Wir untersuchen zuerst die Vorgeschichte zu dieser gängigen Praxis, 37°C als Stan-

dard-Dialysattemperatur vorzugeben. Bei der Wahl von 37°C als eine neutrale Dialysattemperatur wird unter anderem angenommen, dass diese Temperatur die durchschnittliche normale Körpertemperatur für die meisten Patienten ist. Diese Vermutung wird jedoch durch die vorhandene Literatur nicht gestützt und sollte in Frage gestellt werden.

DIE NORMALE KÖRPERTEMPERATUR BEI ERWACHSENEN BETRÄGT NICHT 37°C

Das Konzept von 37°C als normale Körpertemperatur stammt offensichtlich von eingehenden Studien von Wunderlich et al. aus dem späten 19. Jahrhundert. Berichten zufolge analysierten sie über 1 Million Achselhöhlen-Temperaturmessungen von 25.000 Patienten und identifizierten 37°C als die mittlere Temperatur bei gesunden Erwachsenen (Bereich: 36,2°C bis 37,5°C). Er stellte ebenfalls fest, dass die Körpertemperatur nach einem zirkadianen Muster schwankte und einen Tiefpunkt zwischen 2.00 und 8.00 Uhr sowie einen Höchstwert zwischen 16.00 und 21.00 Uhr erreichte. Er beschrieb weiter, dass Frauen im Allgemeinen geringfügig höhere Temperaturen aufwiesen und eine größere Variabilität in ihrem Wärmehaushalt zeigten als Männer, und er wies darauf hin, dass die Körpertemperatur von älteren Menschen ungefähr 0,5°C niedriger als bei jungen Menschen war. Er ging davon aus, dass es Unterschiede in der Körpertemperatur zwischen den einzelnen Rassen geben könnte. Auch wenn seit dieser Veröffentlichung mehr als ein ganzes Jahrhundert vergangen ist, wurde nie wieder eine Analyse von diesem Umfang durchgeführt, und 37°C wurde allgemein als „normale“ Körpertemperatur in der Medizin akzeptiert. Bei dieser Vorgehensweise werden jedoch seine ebenfalls wichtigen Befunde von individuellen und tageszeitlichen Schwankungen unbeachtet gelassen. Interessanterweise legen Tests, die mit einem von Wunderlichs Thermometern durchgeführt wurden, nahe, dass seine Instrumente mit einem Wert von 1,4° bis 2,2°C über den heutzutage verwendeten genaueren Instrumenten kalibriert worden waren. In neueren Studien fanden Mackowiak et al. und McGann et al. heraus, dass die orale Temperatur bei gesunden Erwachsenen im Durchschnitt unter 37°C lag (36,8 bzw. 36,86°C). Die mittlere Temperatur schwankte im Tagesablauf mit einem Tiefstwert um 6.00 Uhr und einem Höchstwert

zwischen 16.00 und 18.00 Uhr sowohl bei Männern als auch bei Frauen; Frauen wiesen leicht höhere Temperaturen als Männer auf (36,9 versus 36,7°C). Es zeigten sich auch Abweichungen je nach Rasse. Schwarze Frauen hatten beispielsweise im Durchschnitt eine um 0,13°C höhere Temperatur als weiße Frauen. Eine Zusammenfassung dieser Studien ist in Tabelle 1 dargestellt. Man muss darauf hinweisen, dass die normale Körpertemperatur kein statischer, einzelner Wert ist, sondern eine Bandbreite von Temperaturen bei ein und demselben Individuum umfasst, in Abhängigkeit von Tageszeit (zirkadianer Rhythmus), Geschlecht (Frauen besitzen zusätzlich zum zirkadianen Rhythmus noch einen Menstruationszyklus-Rhythmus) und Rasse. Wie wir später noch darlegen werden, schwankt die Körpertemperatur auch zwischen den verschiedenen Messorten. Deshalb muss die Annahme, 37°C sei die normale universelle Körpertemperatur bei gesunden Menschen, revidiert werden. Weitere Probleme entstehen durch die Vermutung, dass die normale Körpertemperatur von Hämodialysepatienten dieselbe sei wie bei gesunden Personen.

DIE DURCHSCHNITTLICHE KÖRPERTEMPERATUR BEI LANGZEIT-HÄMODIALYSEPATIENTEN IST NIEDRIGER ALS 37°C

Bei den meisten Langzeit-Dialysepatienten liegen die Baseline-Körpertemperaturen

unter 37°C. In einer retrospektiven Studie, die in unserer Dialyseeinheit durchgeführt wurde, zeichneten wir die durchschnittliche prädialytische orale Temperatur bei 75 Hämodialysepatienten auf. Die Aufzeichnung der oralen Temperaturen erfolgte mit einem Digitalthermometer (BD, Franklin Lakes, NJ) vor den 3-mal wöchentlichen Hämodialysebehandlungen während einer einzelnen Woche; der Durchschnittswert jedes einzelnen Patienten wurde für die Analyse herangezogen. Die Temperaturen wurden während des milden Wintermonats Februar 1999 in San Antonio mit einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 17°C ermittelt. Die Messungen erfolgten im Rahmen der routinemäßigen Patientenbetreuung. Patienten, die sich in stationäre Behandlung begeben mussten, oder Patienten, die zu irgendeinem Zeitpunkt während der Studienwoche unter Fieber litten, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Die mittlere orale Temperatur lag bei 36,47°C ($\pm 0,34$). Man muss beachten, dass nur etwa 5 der 75 Patienten vor der Hämodialyse orale Temperaturen über 37°C aufwiesen; 37 Patienten (49%) hatten Temperaturen unter 36,5°C. Unsere Daten ergaben keinen Unterschied in der basalen Körpertemperatur je nach Alter, Geschlecht oder Diabetes-Status (Daten nicht dargestellt). Fine und Penner zeigten, dass 80 von 128 Patienten (62%) unter Langzeit-Hämodialyse prädialytische Temperaturen unter 36,5°C aufwiesen (Tabelle 1). Die Überprüfung von neueren

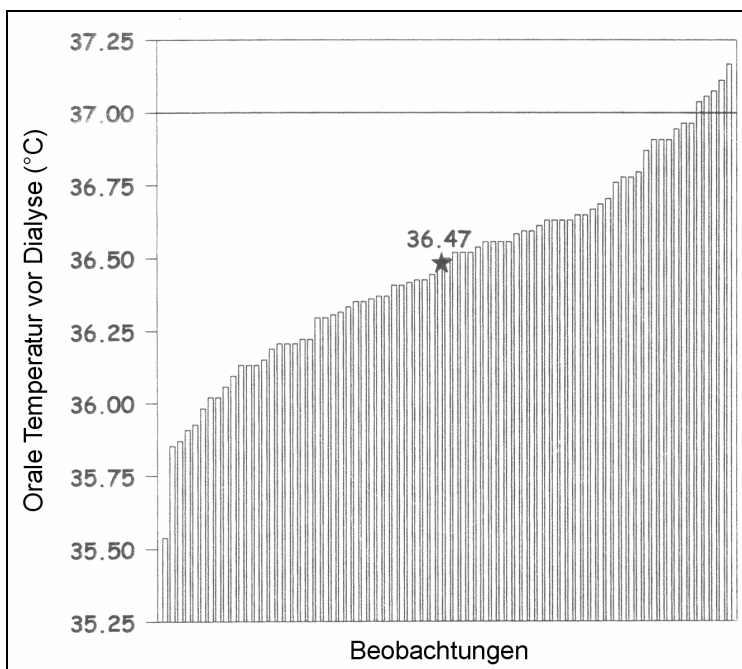


ABBILDUNG 1:

Orale Temperaturen vor Dialyse von 75 Patienten (Durchschnitt von 3 Messungen in einer Woche), abgebildet von den niedrigsten bis zu den höchsten Temperaturen. Patienten, die in dieser Woche stationär behandelt werden mussten oder Fieber hatten, wurden ausgeschlossen. Nur 5 Personen hatten orale Temperaturen über 37°C.

TABELLE 1:
Körpertemperatur
bei gesunden Perso-
nen und bei Hämody-
alysepatienten

Studie	Studiengruppe	Methode	Art des Thermometers	Mittlere Temperatur
Wunderlich & Seguin (1868)	Alle Patienten d. Krankenhauses, 25.000 Pat., mehr als 1 Mio Aufzeichnungen	Achselhöhle	Mercury in Glas ¹	37°C (98,6°F) bei gesunden Personen
Mackowiak et al. (1992)	Gesunde Probanden (18 bis 40 J.), 148 Pers., 700 Aufzeichn.	Oral	Elektronischer Digital-Thermometer ²	36,8°C (98,2°F)
McGann et al. (1993)	Gesunde Erwachsene (64 J. oder älter) 92 Personen	Oral	Mercury in Glas ³	36,86 ± 0,23°C
Fine & Penner (1996)	Hämodialysepatienten, 128 Pers.	Trommelfell	IVAC Corporation (San Diego, CA)	<36°C (22,5%) 36-36,5°C (40%) >36,5°C (37,5%)
Laufende Studie	Hämodialysepatienten, 75 Pers.	Oral	Digital-Thermometer (BD, Franklin Lakes, NJ)	36,47 ± 0,34°C

¹Neuere Tests legen nahe, dass dieses Instrument wahrscheinlich mit 1,4°C bis 2,2°C höher als heute verwendete kalibriert wurde (11,12)

²Studie gibt einen Fehler von 0,05°C bis 0,07°C an

³Abweichung weniger als 0,11°C von den Angaben der Thermometer des National Bureau of Standards

TABELLE 2:
Belege für den Nut-
zen von automati-
schen Geräten zur
Aufrechterhaltung
der Körpertempera-
tur während Hämody-
alyse

Studie	Anzahl Patienten	Arterielle Temperatur (°C)			Dialysetemperatur (°C)		
		Beginn	Ende	Δ	Beginn	Ende	Δ
<i>Isotherme oder kalte Dialyse</i>							
Maggiore et al.	95	36.6	36.6	0	46.8	35.7	-1.10
Rosales et al.*	27	36.2	36.2	0	35.9	35.6	-0.30
Schneditz et al.*	12	36.4	36.4	0	36.0	35.6	-0.40
Van der Sande et al.	12	36.5	36.5	0	35.5 ¹		
Barendregt et al.	9	36.4	36.4	0	35.5 ¹		
Kaufmann et al.	15	36.6	36.4	-0.22	35.7 ²		
<i>konventionelle Dialyse in denselben Studien</i>							
Maggiore et al.	95	36.6	37.1	+0.50	37.1	37.6	+0.50
Van der Sande et al.	12	36.7	37.1	+0.38	37.5 ¹		
Barendregt et al.	9	36.7	37.2	+0.50	37.5 ¹		
Kaufman et al.	15	36.7	37.0	+0.31	37.1 ²		

¹konstant; ²durchschnittlich

*Nur isotherme Dialyse. Alle aufgeführten Studien wurden mit dem Bluttemperaturmonitor (BTM, Fresenius) durchgeführt.

Studien bei insgesamt 170 Patienten erbrachte, dass sich die arterielle Temperatur zu Beginn der Dialyse zwischen 36,2 und 36,6°C bewegt (Tabelle 2). Es sieht also so aus, als hätten Hämodialysepatienten im Durchschnitt eine niedrigere Körpertemperatur als die gesunde Allgemeinbevölkerung, bei denen sie auch schon unter 37°C beträgt. Man kann diese Unterschiede in der Körpertemperatur zwischen Dialysepatienten und gesunden Personen der Tatsache

zuschreiben, dass Durchschnittstemperaturen keine Schwankung im 24-Stunden-Rhythmus berücksichtigen. Aus diesem Grund haben wir unsere Patienten entsprechend der Tageszeit ihrer Dialysebehandlung eingeteilt und eine signifikante Schwankung in der prä-dialytischen Körpertemperatur beobachtet je nach Tageszeit, zu der die Dialyse stattfand (Tabelle 3). Gesunde Personen scheinen zu jeder Tageszeit nur eine geringfügig höhere Körpertempera-

Gesunde Personen		Unsere Dialysepatienten	
Zeit	Durchschnittstemperatur, °C (Bereich)	Zeit	Durchschnittstemperatur, °C (Bereich)
6:00	36.4 (36.0-37.1)	6:30 - 7:30	36.3 ± 0.06 (35.5-36.8)*
12:00	36.8 (36.1-37.6)	10:30 - 11:30	36.4 ± 0.06 (35.9-37.2)*
16:00	36.9 (36.3-37.7)	15:30 - 16:30	36.7 ± 0.06 (36.4-37.1)

*p<0,001 versus Dialysegruppe 15.30 - 16.30 Uhr

TABELLE 3:

Vergleich der tageszeitlichen Schwankung der Körpertemperatur zwischen gesunden Personen und Dialysepatienten

Messmethode	Bemerkungen
Oral	Oberflächlich zum Körperkern. Unterliegt Artefakten (Rauchen, Trinken, Mundatmung)
Achselhöhle	Nahe am Körperkern. Längere Zeit zur Temperatureaufnahme. Niedriger als gleichzeitig gemessene orale Temperatur (ungefähr 2,3°C (43). Person muss Kleidung ablegen.
Rektal	Nahe am Körperkern. Unpraktisch. Reagiert viel langsamer in dynamischen Situationen. Weicht bei Anstrengung oder schlechter Durchblutung von der korrekten Kerntemperatur wegen verringerter Blutzufuhr ab (1°C über arteriell) (1,17)
Trommelfell	Nahe am Körperkern. Direkt beeinflusst durch die Umgebungstemperatur. Immer niedriger als aortale und pulmonale Temperatur (0,08 und 0,21) (18)
Ösophagus	Kommt am nächsten an die Kerntemperatur heran (17) Unpraktisch.
Arterieller Blut-schlauch während Hämodialyse	Niedriger als die Kerntemperatur wegen gegenläufigem Effekt; ideal zur Kontrolle der Dialysattemperatur

TABELLE 4:

Verschiedene Methoden zur Messung der Körpertemperatur und ihre Bedeutung

tur im Vergleich zu unseren Studienpatienten aufzuweisen; dies legt nahe, dass Dialysepatienten insgesamt eine niedrigere Temperatur als gesunde Personen haben (Tabelle 3). Warum das so ist, ist nicht klar, aber die Tatsache, dass die Körpertemperatur von Dialysepatienten typischerweise niedriger als 37°C ist und dass es eine signifikante zirkadiane Schwankung gibt (bis zu 0,4°C bei unseren Patienten), bedeutet, dass es nicht angebracht ist, den Wert 37°C als Standard-Referenztemperatur für die Dialysattemperatur heranzuziehen.

DIE TEMPERATUR IN DER ARTERIELLEN LINIE IST DIE BESTE REFERENZ FÜR DIE DIALYSATTEMPERATUR

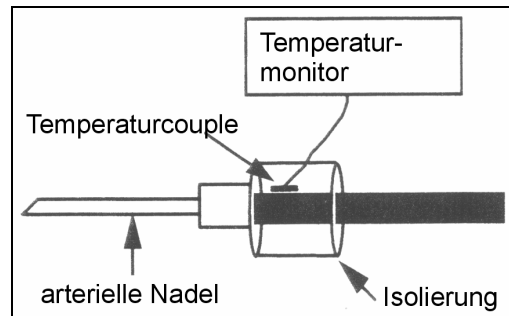
Achselhöhlen-, orale, rektale und Trommelfelltemperaturen werden allgemein als Hinweise auf die Körpertemperatur verwendet. Jede Messung hat Vorteile und Nachteile, die sich ganz speziell auf die Anwendung bei Hämodialyse beziehen (Tabelle 4). Die Messung in der Achselhöhle erfordert ziemlich viel Zeit, die erhaltene Temperatur liegt immer unterhalb der Körperkerntemperatur und die Patienten müssen dazu ihre Klei-

dung ablegen. Die orale Temperatur unterliegt Artefakten (Rauchen, Trinken, Mundatmung), man kann sich also für ein kontinuierliches Monitoring nicht darauf verlassen. Die rektale Temperatur ist unpraktisch und reagiert in dynamischen Situationen und bei schlechter Durchblutung nur zögerlich. Da die Arteria carotis interna sowohl die Trommelfellmembran als auch den Hypothalamus versorgt, wurde angenommen, dass die Trommelfelltemperatur die Temperatur des Hypothalamus (die Stelle, an der im Gehirn die Temperaturregulierung stattfindet) widerspiegeln würde. Die Trommelfelltemperatur wird jedoch auch von der Umgebungstemperatur beeinflusst und ist typischerweise niedriger als die aortale Temperatur. Die im Ösophagus in Nähe zum linken Atrium gemessene Temperatur weist gute dynamische Eigenschaften auf, ist jedoch unpraktisch oder wird von den Patienten nicht gut toleriert – und ist daher für den klinischen Einsatz nicht hilfreich.

Die konvektive Bewegung des Blutkreislaufes führt zu einer fast einheitlichen Temperatur über den gesamten Körperkern hinweg. Innerhalb der großen Arterien findet kein bemerkenswerter Wärmeaustausch statt, und alle Organe – darunter das Gehirn –

ABBILDUNG 2:

Schematische Zeichnung des Temperatursensors am arteriellen Blutschlauch. Ein kleiner isolierter Draht (Thermocouple) wird über dem Blutschlauch nahe der arteriellen Nadel befestigt. Dadurch ist ein kontinuierliches Monitoring der Kerntemperatur möglich, wenn das Blut den Patienten in Richtung Dialysator verlässt.



werden mit arteriellem Blut in etwa der gleichen Temperatur versorgt. Die Temperatur in den Arterien der Extremitäten ist jedoch niedriger als in den inneren oder großen Arterien des Körpers. Diese niedrigere Temperatur des arteriellen Blutes in den Extremitäten ist auf einen gegenläufigen Austausch zwischen dem abgekühlten venösen Blut (das aus Hand und Arm zurückfließt) und dem warmen arteriellen Blut aus dem Körperinneren zurückzuführen. Die Folge davon ist, dass das Blut kälter ist, je weiter das arterielle oder venöse Blut vom Körperinneren entfernt ist. Da die gängigste Stelle für die Anlage des Dialysezugangs der Arm ist, ist dies das Blut, das dem Wärmeaustausch unterzogen wird. Deshalb wird während Hämodialyse bevorzugt die arterielle Temperatur gemessen, wenn nämlich das Blut den Patienten verlässt, bevor es das Dialysegerät erreicht (Abb. 2). Da die Temperatur des vom Dialysator zum Patienten zurückfließenden Blutes gleich oder niedriger sein sollte als die Temperatur des Blutes, das aus dem Patienten herausfließt, kann die Dialysattemperatur nur durch Messungen aus dem arteriellen Schlauch exakt bestimmt werden. Auch wenn orale oder Trommelfellmessungen meistens als vernünftige Schätzwerte für die Körpertemperatur akzeptiert werden, sind die an diesen Messorten vorgenommenen Messungen nur suboptimale Ersatzwerte für die periphere arterielle Temperatur, da sie unpraktisch oder ungenau für die kontinuierlichen Messungen sind, sie eine Verzögerung in der dynamischen Reaktion auf Veränderungen in der Körpertemperatur mit sich bringen und sie meistens nicht genau genug gemessen werden, um eine ordentliche Kontrolle der Temperaturen von Dialysat und venösem Blut zu ermöglichen. Wenn diese Messungen bei der Behandlung von Hämodialysepatienten verwendet werden, muss das betreuende Personal die dynamische Beziehung zwischen den peripheren Temperaturen und den Temperaturen des Dialysats

und aus dem arteriellen Schlauch berücksichtigen. Rosales et al. fanden zum Beispiel in 51 Studien (27 Patienten), dass die durchschnittliche Trommelfelltemperatur vor der Dialyse bei $36,54^\circ \pm 0,55^\circ\text{C}$ ($34,90^\circ$ bis $37,40^\circ\text{C}$) lag – im Gegensatz zur niedrigeren Temperatur in der arteriellen Schlauchleitung von $36,23^\circ \pm 0,28^\circ\text{C}$ ($35,63^\circ$ bis $36,70^\circ\text{C}$). Dieser kleine Unterschied ($0,22^\circ\text{C}$) in den Temperaturen zwischen Trommelfell und arterieller Schlauchleitung muss konstant gehalten werden, um eine Erwärmung des Körpers zu verhindern. Dies zeigt, dass bei den Messungen extrem sorgfältig vorgegangen werden muss, um eine Wärmeneutralität beizubehalten. Das Problem wird größer, wenn man bedenkt, dass die im Trommelfell gemessenen Temperaturen im Allgemeinen niedriger sind als die in der normalen klinischen Praxis verwendeten oralen Temperaturen. Das Anbringen von empfindlichen Nadel-Mikrosonden oder Thermokupplungen am Blutschlauch, dort wo das Blut aus und in den Körper fließt, kann ein kontinuierliches und exaktes Monitoring der Bluttemperatur ermöglichen. Dadurch kann die Dialysattemperatur verändert werden, um ein Homöostase im Wärmehaushalt aufrechtzuerhalten. Durch kontinuierliche Messung der arteriellen Temperatur können geringfügige, langsame Trends in den Veränderungen der Körpertemperatur erkannt werden, die behoben werden sollten, damit sich die Temperatur nicht an die Grenzwerte für Gefäßerweiterung oder Frösteln annähert.

EINE DIALYSATTEMPERATUR, DIE DER BASELINE-TEMPERATUR DES PATIENTEN ENTSPRICHT, IST NICHT THERMONEUTRAL

Der Dialysator wirkt wie ein fast perfekter Wärmetauscher, bei dem Blut in einem Wärme-Gleichgewicht mit dem Dialysat herausfließt, wodurch dann der Patient effektiv gekühlt oder erwärmt wird. Eine Dialysattemperatur, die der an peripheren Stellen (Mundhöhle, Trommelfellmembrane und Achselhöhle) gemessenen Baseline-Körpertemperatur entspricht, verursacht aus verschiedenen Gründen einen signifikanten Anstieg in der Körpertemperatur. Während Hämodialyse führt die hämodynamische Kompensation infolge Ultrafiltration und Hypovolämie oft zu einer peripheren Gefäßverengung und zu verringertem Wärmeverlust: Die Stoffwechselrate ist ebenfalls erhöht. Diese Kombination von verringer-

tem Wärmeverlust und erhöhter Wärme-
produktion führt zu einem Anstieg in der
Körpertemperatur. Wenn die Dialysat- und
die Körpertemperatur gleich sind, ist die
durch den Dialysator verlorene Wärme
geringer als die vom Patienten erzeugte
Wärme, weshalb es zu einem Anstieg in der
Körpertemperatur kommt. Studien haben
gezeigt, dass die Temperatur während kon-
ventioneller Dialyse mit einer auf 36,5° bis
37°C eingestellten Dialysattemperatur zwi-
schen 0,1° und 0,94°C an verschiedenen
Stellen im Körper ansteigt, einschließlich in
der arteriellen Fistel, in der Mundhöhle und
an der Hautoberfläche. Diesem Anstieg in
der Körpertemperatur kann durch ein weni-
ger warmes Dialysat weitgehend vorgebeugt
werden. Rosales et al. führten beispielsweise
eine isotherme Dialyse (stabile Körpertem-
peratur) mit einem Gerät durch, das die
Dialysattemperatur automatisch so anpasst,
dass die arterielle Temperatur konstant
bleibt. Sie zeigten, dass die Dialysattempera-
tur signifikant von 35,9° ± 0,3°C auf 35,6° ±
0,6°C reduziert werden musste, um die
Bluttemperatur in der arteriellen Schlauchlei-
tung konstant bei 36,2°C ± 0,3 zu halten.
Diese anscheinend geringe Absenkung der
Dialysattemperatur (-0,3°C) sollte nicht ba-
gatellisiert werden. Erstens war die Dialysat-
temperatur zu Beginn der Dialyse mit
35,9°C bereits niedrig, zweitens war die
letztendliche Dialysattemperatur signifikant
niedriger (-0,6°C) als die Bluttemperatur im
arteriellen Blutschlauch. Diese Befunde
konnten in einer großen, prospektiven ran-
domisierten europäischen Studie bestätigt
werden, in der die Effekte einer Kontrolle
des Wärmehaushalts auf die Gefäßstabilität
bei Hämodialysepatienten untersucht wur-
den. Diese Untersucher verwendeten eben-
falls ein automatisches Gerät, um eine iso-
therme Dialyse durchzuführen (vorbeugend
gegen Veränderungen in der Körpertempe-
ratur während des Verfahrens). Sie fanden
heraus, dass die Dialysattemperatur, um die
arterielle Temperatur stabil zu halten (bei
36,6°C), von 36,8°C zu Beginn der Dialyse
auf 35,7°C zum Ende abgesenkt werden
musste. Die isotherme Dialyse wurde gut
vertragen und führte zu einer signifikanten
Verbesserung in der hämodynamischen
Stabilität bei denjenigen Patienten, die bei
mindestens 25% ihrer Behandlungen eine
symptomatische Hypotension aufwiesen.
Die Angaben von veröffentlichten Studien
mit Einsatz von automatischen Geräten zur
Kontrolle der Körpertemperatur während
Hämodialyse sind in Tabelle 2 zusammenge-

fasst. Exakte und häufige Anpassungen der
Dialysattemperatur sind erforderlich, um die
Wärmeneutralität während Hämodialyse
aufrechtzuerhalten.

MECHANISMEN ZUR TEMPERATUR- REGULIERUNG BEIM MENSCHEN

Beim Menschen wird der Blutfluss in der
Haut reflektorisch durch thermale Faktoren
kontrolliert wie Haut- und innere Tempera-
tur und durch nicht-thermoregulatorische
Faktoren wie Reflexe in Verbindung mit
Anstrengung oder Blutdruckregulierung.
Thermoregulatorische Reaktionen und Tem-
peraturempfindung beziehen sich sowohl
auf die Körperkerntemperatur als auch auf
die Hauttemperatur des gesamten Körpers.
Die neurale Kontrolle des ableitenden Blut-
flusses in der Haut wird durch zwei sympa-
thische Nervenwege bewerkstelligt: ein
noradrenerges Vasokonstriktor-System und
- bei nicht kahler Haut - durch ein separa-
tes Vasodilator-System von unbekanntem
Neurotransmittern. In der kahlen Haut der
Handflächen und Fußsohlen erfolgt die Kon-
trolle des Blutflusses einzig durch das Vaso-
konstriktor-System. Lokale Faktoren wie die
Temperatur der Haut an der Messstelle sind
bei der Kontrolle des Hautblutflusses ebenso
wichtig.

In einer neutralen Umgebung liegt der Blut-
fluss in der Haut bei etwa 250 ml/min oder
5% bis 10% des Herzminutenvolumens.
Während signifikantem Wärmestress, wenn
die Gefäßerweiterung in der Haut sich an
die maximalen Spiegel annähert, könnte der
Blutfluss in der Haut auf ungefähr 60% des
Herzminutenvolumens (7 bis 8 l/min) bei
gesunden Personen ansteigen. Eine Hyper-
thermie induziert einen Anstieg in den
Temperaturen von Haut und Körperinnerem
und verursacht eine reflektorische Hautge-
fäßerweiterung durch Entzug der Vaso-
konstriktor-Aktivität und Aktivierung des
starken aktiven Vasodilator-Systems. Die
Körpertemperatur im Inneren, bei der die
Aktivierung des Vasodilator-Systems stattfin-
det, wird *Schwelle* genannt. Sobald diese
Schwelle überschritten ist, können weitere
Anstiege in der Körpertemperatur von ledig-
lich 0,1° bis 0,2°C einen ausgeprägten An-
stieg im Blutfluss der Haut über den gesam-
ten Körper hinweg verursachen. Bei ruhen-
den gesunden Freiwilligen in Rückenlage
beträgt die durchschnittliche Ösophagus-
Temperatur 36,5°C und die Schwelle für
eine Hautgefäßerweiterung liegt bei 36,8°C.

Thermoregulatorische und nicht-thermoregulatorische Reflexe beeinflussen diese Schwelle und das Ausmaß der Vasodilatator-Response. Zum Beispiel verschiebt sich die Schwelle für eine aktive Gefäßerweiterung hin zu höheren inneren Temperaturen durch aufrechte Position, Anstrengung oder verringerte Hauttemperatur am ganzen Körper.

EINE ÜBER DER KÖRPERTEMPERATUR LIEGENDE DIALYSATTEMPERATUR IST SCHÄDLICH

Die mit einem Anstieg der Körpertemperatur einhergehenden Risiken müssen beachtet werden. Wird die Dialysattemperatur von 37° auf 38°C erhöht, dann können sogar hämodynamisch stabile Patienten instabil werden aufgrund der Wärmezufuhr über das Dialysat. Während Hämodialyse können auch die aufrechte Position, die intravaskuläre Volumendepletion (infolge Ultrafiltration) und der extrakorporale Blutkreislauf hämodynamische Veränderungen verursachen, wodurch dann Baroreflexe aktiviert werden, die eine systemische Gefäßverengung hervorrufen (einschließlich einem Abfall im Blutfluss der Haut). Diese nicht-thermoregulatorischen Reflexe konkurrieren mit den thermoregulatorischen Inputs (Anstieg der Körpertemperatur) um die Vasokonstriktor- und die aktive Vasodilatator-Kontrolle im Hautblutkreislauf. Es kann also trotz protektiver nicht-thermoregulatorischer Vasokonstriktor-Reflexe während Hämodialyse zu einer Gefäßerweiterung kommen. Dies ist besonders problematisch, wenn der Anstieg der Körpertemperatur die Schwelle für eine Hautgefäßerweiterung überschreitet, so wie dies bei einem Mismatch zwischen Körper- und Dialysattemperatur der Fall ist. Genauso wichtig ist vielleicht die Beobachtung, dass es zu einer Hautgefäßerweiterung auch nach dem Ende der Dialysebehandlung kommen kann, wenn die konkurrierenden nicht-thermoregulatorischen Reflexe geringer oder gar nicht mehr vorhanden sind. Eine neuere Studie ergab, dass die Verwendung eines weniger warmen Dialysates fast bei allen Patienten dazu führte, dass sie sich nach der Dialyse energiegeladener fühlten und sich ihr Allgemeinzustand dramatisch verbesserte.

Zahlreiche Mechanismen können für den günstigen Effekt verantwortlich gemacht werden, der bei einer Absenkung der Dialysattemperatur während Hämodialyse zu beobachten ist. Ein kälteres Dialysat (defi-

niert als weniger warm als die Temperatur im arteriellen Blutschlauch) schützt vor Wärmestau im Körper und hält das Wärmegleichgewicht aufrecht. Durch Vorbeugen eines Körpertemperatur-Anstieges und der damit einhergehenden reflektorischen Gefäßerweiterung kann die normale reflektorische Gefäßverengung, die in Reaktion auf die intravaskuläre Volumendepletion stattfindet, den peripheren Gefäßwiderstand erhöhen und damit einem zu niedrigen Blutdruck vorbeugen.

Wir haben verschiedene Erklärungen beschrieben, warum 37°C wahrscheinlich nicht die geeignete Dialysattemperatur darstellt. Auf der Grundlage des heute verfügbaren Wissens müssen noch einige andere Fragen geklärt werden, bevor eine vernünftige Empfehlung abgegeben werden kann.

EINE FESTE DIALYSATTEMPERATUR WIRD WAHRSCHEINLICH NICHT FÜR ALLE PATIENTEN FUNKTIONIEREN

Auch wenn man versucht sein könnte, willkürlich eine niedrige Dialysattemperatur auszuwählen, um die hämodynamische Stabilität bei allen Patienten zu verbessern, wird durch diese Praxis eine ungenaues Wärmegleichgewicht bewirkt, da die Körpertemperaturen zwischen den einzelnen Patienten beträchtlich schwanken (ca. 2°C). Es konnte gezeigt werden, dass die Vorteile einer Absenkung der Körpertemperatur während Hämodialyse verloren gehen können, wenn dieses Absenken über einen kritischen Spiegel hinausgeht. In einer Studie an normalen weiblichen Freiwilligen, die durch intravenöse Infusion von Ringerlaktat-Lösung einer Ganzkörperabkühlung unterzogen wurden, kam es zu einer Gefäßverengung in der Fingerspitze bei einer Körperkerntemperatur von $36,8^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ und zu Frösteln und Zittern bei $36,0^{\circ} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (jeweils bei einer neutralen Hauttemperatur von 35°C). Zittern ist ein Verteidigungsmechanismus, um einer Hypothermie vorzubeugen, was bei Hämodialysepatienten vermieden werden sollte. Wie oben dargelegt, trennt nur ein geringer Unterschied in der Körperkerntemperatur den günstigen Effekt einer Körperkühlung von den schädlichen Wirkungen einer Hypothermie. Wenn man sich also beim Festlegen von künstlich niedrigen Dialysattemperaturen irrt, kann dies auch mögliche gefährliche Folgen haben. Besonders bei Patienten mit schlechter Herzfunktion, bei denen sogar ein minimaler

Kältestress negative Folgen für das Herz haben könnte, muss auf den Wärmehaushalt geachtet werden. Darüber hinaus empfinden viele Patienten es als sehr unangenehm, wenn sie frieren, und weigern sich manchmal sogar, eine Dialyse mit kaltem Dialysat zu beginnen oder zu Ende zu führen, da für viele Personen das Frieren schlimmer ist als Schmerzen nach einer Operation. Das Ziel ist es also, die Körpertemperatur in dem engen thermoneutralen Bereich zu halten, um sowohl Hautgefäßerweiterung als auch Frösteln und Frieren zu vermeiden.

WAS IST DIE OPTIMALE DIALYSATTEMPERATUR?

Patienten sollten keinen Dialysattemperaturen ausgesetzt werden, die entweder präsynkopische Symptome oder Kältestress erzeugen. Wie bereits beschrieben, trennen nur 0,3° bis 0,8°C die Schwellen für Hautgefäßerweiterung und Frösteln; dies veranschaulicht die Notwendigkeit sehr präziser Methoden zur Messung der Körpertemperatur sowie zur Auswahl der Dialysattemperatur. Die Dialysattemperatur sollte so angepasst werden, dass die Temperatur-Homöostase aufrechterhalten wird, d. h. der Patient vor einem positiven oder negativen Wärmehaushalt geschützt wird.

Um Veränderungen der Körpertemperatur in Bezug auf den eigentlichen Dialysekreislauf vorzubeugen, sollte das Blut in den Körper mit mindestens der gleichen Temperatur zurückfließen, wie es den Körper verlassen hat. Die Veränderung der Bluttemperatur durch den Dialysekreislauf ist jedoch nicht der einzige Faktor, der dazu führt, dass sich bei den Patienten Wärme während des Dialysevorgangs staut. Wie bereits erklärt, bedeutet der Dialysevorgang aufgrund der Wärmestauung eine signifikante Herausforderung für die Wärmeregulation. Es ist daher notwendig, die Dialysattemperatur (und die venöse Bluttemperatur) abzusenkten, um die Abnahme des Wärmeverlusts während Dialyse zu kompensieren, damit die Körpertemperatur konstant bleibt. Betrachten wir diese Vorgänge entsprechend bei der Ultrafiltration für Dialysepatienten mit Volumenüberladung. Um das Gleichgewicht wiederherzustellen, müssen Wasser und Natrium während der Dialysebehandlung entfernt werden. Auch hier müssen die Patienten während des Verfahrens die Wärme verlieren, um ein Wärmegleichgewicht aufrechtzuerhalten, da es ihnen auch nicht möglich

ist, die Temperatur-Homöostase beizubehalten. Der Hauptunterschied liegt darin, dass Volumen *zwischen* den einzelnen Dialysebehandlungen angesammelt wird und die Wärme *während* der Dialyse. Das Dialyseverfahren sollte daher im Allgemeinen „wärmenegativ“ und nicht einfach „wärmenneutral“ sein (Tabelle 2).

Ideal wäre ein Gerät, mit dem die arterielle und die venöse Temperatur kontinuierlich gemessen wird und der Patient isotherm auf seiner basalen Körpertemperatur gehalten wird, indem die Dialysattemperatur entsprechend verändert wird. Der Bluttemperatur-Monitor (BTM, Fresenius) ist ein nichtinvasives Modul, das die Temperatur am arteriellen und am venösen Blutschlauch überwacht. In einem geschlossenen Biofeedback-System überwacht der BTM kontinuierlich die Blut(Körper)temperatur, wenn das Blut den Patienten in Richtung Dialysator verlässt und wenn es durch die Vene wieder zum Patienten zurückkehrt. Das Kontrollprogramm des BTM reguliert die Temperatur des Dialysats, um ein Ansteigen oder Absinken der Körpertemperatur auszugleichen. Der BTM kann in 2 Modi arbeiten. Einer der beiden Modi kontrolliert die Menge der über den extrakorporalen Kreislauf dem Patienten zugeführten oder vom ihm abgeführten Energie (gemessen in kJ/h), und der andere Modus misst kontinuierlich die Temperatur im arteriellen Blutschlauch und passt die (arterielle) Körpertemperatur (°C/h) an den vom Benutzer eingestellten Wert an. Normalerweise wird die Körpertemperatur auf den zu Beginn der Dialyse gemessenen Wert eingestellt.

Wenn kein Gerät zur Verfügung steht, das die Dialysattemperatur automatisch reguliert, könnten arterielle und venöse Temperaturen kontinuierlich gemessen werden mit dem Ziel, die arterielle Temperatur durch häufige manuelle Anpassungen während der Behandlung aufrechtzuerhalten. Das ist zwar möglich, aber unpraktisch, da es vom Dialysepersonal einigen Aufwand erfordern würde, um die Dialysattemperatur exakt und schnell zu kontrollieren.

CELSIUS IST DIE GEEIGNETE MAßEINHEIT FÜR DIE TEMPERATUR

Die Temperatur sollte eher in Grad Celsius als in Fahrenheit gemessen werden. Celsius ist die international verwendete Maßeinheit für Temperatur und ermöglicht so eine einfache Kommunikation unter allen in Praxis

und Forschung Tätigen, was zur Erarbeitung von Richtlinien wichtig ist. Auch die Dialysegeräte geben die Dialysattemperatur in Grad Celsius an. Wenn die Körpertemperatur des Patienten in Fahrenheit gemessen wird, müssen bei Anpassungen der Dialysattemperatur zum Ausgleich von Körpertemperatur-Veränderungen die Fahrenheit-Angaben in Celsius umgerechnet werden, wodurch signifikante Fehler entstehen können.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Körpertemperatur von gesunden Personen liegt charakteristischerweise unter 37°C (36,8°C) und ist bei Langzeit-Hämodialysepatienten wahrscheinlich noch niedriger (<36,5°C). Zusätzlich zu den Unterschieden der Körpertemperatur in Bezug auf Geschlecht und Rasse gibt es bei Dialysepatienten auch messbare Veränderungen im 24-Stunden-Rhythmus. Es ist daher nicht angebracht, für alle Patienten eine einheitliche Dialysattemperatur auszuwählen. Insbesondere scheint die allgemein vorgegebene Dialysattemperatur von 37°C zu einer positiven Wärmebilanz während Hämodialyse zu führen und die Körpertemperatur zu erhöhen. Die thermoregulatorische reflektorische Hautgefäßerweiterung bringt durch den verringerten peripheren Gefäßwiderstand die Gefahr eines niedrigen Blutdrucks mit sich. Dem kann durch optimale Anpassung der Dialysattemperatur vorgebeugt werden. Nur etwa 0,3° bis 0,8°C trennen die Schwelle für Hautgefäßerweiterung von der

für Frösteln. Der Abstand zwischen jeder dieser Schwellen und der normalen Körpertemperatur in Ruhe ist sogar noch geringer. Es sind also genauere und individualisierte Methoden zur Auswahl der Dialysattemperatur erforderlich, um den Patienten in Bezug auf seine basale Körpertemperatur isotherm halten zu können. Dafür ist ein kontinuierliches Monitoring der arteriellen und venösen Temperatur mit Anpassung der Dialysattemperatur nötig, um die Körpertemperatur/arterielle Bluttemperatur stabil zu halten. Das lässt sich am besten mit Geräten bewerkstelligen, bei denen die Dialysattemperatur automatisch angepasst wird. Nichtsdestotrotz sind diese Geräte bei weitem nicht allen Ärzten zugänglich und ihre Einführung ist momentan noch teuer. Auch wenn keine automatischen Geräte zur Kontrolle der Dialysattemperatur vorhanden sind, ist es klar, dass eine Dialysattemperatur von 37°C im Allgemeinen nicht geeignet ist, es ist jedoch nicht klar, welche nun die bessere Temperatur wäre. Es scheint ein vernünftiger Kompromiss zu sein, eine Temperatur zwischen 35,5° bis 36° C für alle Patienten vorzugeben. Bisher gab es erfreulicherweise keine Berichte über signifikante Probleme mit der Verwendung dieser Temperatur bei Langzeitpatienten, die Gefäßstabilität scheint sich zu verbessern, und die Symptome des Patienten während und nach Dialyse könnten sich bessern (siehe Referenzen in Tabelle 2). Wir haben eine Liste von vorgeschlagenen Verbesserungen zur Förderung des Wärmegleichgewichts während Hämodialyse in **Tabelle 5** zusammengetragen. Prospektive randomisierte Studien

TABELLE 5:

Vorgeschlagene Verbesserungen zur Förderung des Wärmegleichgewichts während Hämodialyse

<p>Arterielle Temperatur als einheitliche Methode für Temperatur-Monitoring verwenden. Celsius als einheitliche Einheit für die Temperaturmessung verwenden. Umgebungstemperatur in der Dialyseeinheit in einer neutralen Temperatur halten (22-24°C). Den Einsatz von Geräten fördern, die die Stabilität der arteriellen Bluttemperatur während Dialysebehandlung aufrechterhalten. Wenn diese Geräte nicht zur Verfügung stehen, sind folgende Optionen vorzugsweise in dieser Reihenfolge zu wählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Temperaturen an der arteriellen und der venösen Linie kontinuierlich überwachen, um die venöse Temperatur \leq der arteriellen Temperatur zu halten. Dies würde manuelle Anpassungen der Dialysattemperatur erfordern, und das möglicherweise häufig. • Die Dialysattemperatur gemäß der oralen/Trommelfell-Temperatur zu Beginn der Dialyse anpassen, um möglichst eine Dialysattemperatur zu verwenden, die idealerweise unter, aber nie über der zu Beginn der Dialyse gemessenen Temperatur liegt. • Routinemäßige Verwendung einer Dialysattemperatur von weniger als 37°C bei allen Patienten außer bei eindeutiger Kontraindikation. Dies ist ein einfacher Kompromiss, der nicht für alle Patienten geeignet ist, aber dennoch eine signifikante Verbesserung gegenüber der derzeitigen Praxis bedeuten dürfte.

zum Vergleich des Ergebnisses von Patienten unter Dialysebehandlung mit automatischen Geräten versus vorab festgelegter, niedriger Dialysattemperatur sollten noch durchgeführt werden, um diese Frage zu klären. Solche Studien könnten vielleicht dazu führen, dass Richtlinien für die Vorgabe der Temperatur bei Dialyse aufgestellt werden.

Literatur beim Verlag.

Salzwasser bremst Tröpfcheninfektionen

Einatmen von Salzlösung
vermindert Erregerkonzentration
in der Atemluft und könnte so
Epidemien verhindern

Das Inhalieren von einfachem Salzwasser könnte der Verbreitung von Krankheiten wie Grippe oder Tuberkulose entgegenwirken: Eine nur sechsminütige Inhalation der Salzlösung reduziert bei vielen Infizierten die Bildung der mit Keimen belasteten, ausgeatmeten Tröpfchen um mehr als die Hälfte. Diese Wirkung hält bis zu sechs Stunden an, hat ein deutsch-amerikanisches Forscherteam beobachtet. Über ihre Untersuchung berichten Gerhard Scheuch von der Firma Inamed in Gemünden und seine Kollegen in der Fachzeitschrift PNAS (Online-Vorabveröffentlichung, DOI: 10.1073/pnas.0408159101).

Manche Menschen stoßen beim ganz normalen Atmen weitaus mehr mit Krankheitskeimen beladene Tröpfchen aus als andere, fanden die Wissenschaftler in ihrer Studie an elf Männern heraus. Die Anzahl der in diesen so genannten Aerosolen ausgeatmeten Erreger variierte drastisch sowohl zwischen den einzelnen Probanden als auch mit der Zeit: Sie reichte von einem Partikel pro Liter Luft bis zu mehr als 10.000 Partikeln.

Nur etwa jeder zweite Proband produzierte dabei große Mengen keimbelasteter Tröpfchen. Demnach könnte etwa die Hälfte der Bevölkerung für mehr als 98 Prozent aller potenziell krankheitserregenden Aerosole verantwortlich sein, schließen die Forscher. Bei weiteren Untersuchungen entdeckten die Wissenschaftler, dass Salzwasserinhalationen, die häufig in der Asthmatherapie eingesetzt werden, die Tröpfchenproduktion bei diesen Bazillenschleudern bremsen können. Die Behandlung reduziert die Zahl der abgegebenen Keime im Schnitt um 72 Prozent.

Die Forscher vermuten, dass die Salzlösung zeitweise die Oberflächenspannung der Flüssigkeiten vergrößert, welche die Atemwege auskleiden. Dadurch werden weniger und größere Tröpfchen gebildet, die nicht mehr so leicht über den Atem abgegeben werden. Die Inhalation mit Salzwasser bei Patienten mit Infektionen könnte somit die Ansteckungsgefahr über Tröpfcheninfektion drastisch reduzieren, ohne andere Behandlungen zu stören.

DR. PABLO E. PÉRGOLA
Department of Medicine
Division of Nephrology
Mail Code 7882
University of Texas Health Science Center
at San Antonio
7703 Floyd Curl Dr
San Antonio, TX 78229-3900
USA
E-mail: pergola@uthscsa.edu

