

Nephrologe 2017 · 12:33–39  
 DOI 10.1007/s11560-016-0123-9  
 Online publiziert: 4. Januar 2017  
 © Springer Medizin Verlag Berlin 2016

#### Redaktion

M. Haag-Weber, Straubing  
 A. Kribben, Essen



CrossMark

H. Bruck<sup>1</sup> · M. Haag-Weber<sup>2</sup> · M. Hiß<sup>3</sup> · H. Martin<sup>4</sup> · W. Pommer<sup>5</sup> · A. Vychytil<sup>6</sup> · G. Ausobsky<sup>7</sup> · I. Wiegand-Szramek<sup>8</sup> · I. Quack<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Medizinische Klinik III, HELIOS Klinikum Krefeld und KfH-Nierenzentrum Krefeld, Krefeld, Deutschland

<sup>2</sup> Sektion Nephrologie, Klinikum St. Elisabeth Straubing GmbH, Straubing, Deutschland

<sup>3</sup> Klinik für Nieren- und Hochdruckkrankheiten, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland

<sup>4</sup> Internistische Gemeinschaftspraxis und Dialyse, Zwickau, Deutschland

<sup>5</sup> Kuratorium für Dialyse und Nierentransplantation (KfH), Bildungszentrum, Neu-Isenburg, Deutschland

<sup>6</sup> Abteilung für Nephrologie und Dialyse, Universitätsklinik für Innere Medizin III, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>7</sup> Klinik für Nephrologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität und KfH-Nierenzentrum im Universitätsklinikum, Düsseldorf, Deutschland

<sup>8</sup> Klinik für Nephrologie, Universitätsklinikum Essen, Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland

# Standardisierung des peritonealen Äquilibrationstest (PET) bei Peritonealdialyse

## Eine Expertenempfehlung

Der peritoneale Äquilibrationstest („peritoneal equilibration test“, PET) ist der am meisten angewandte Funktionstest zur Erfassung der für Stofftransport und Ultrafiltrationsverhalten wichtigen peritonealen Membraneigenschaften bei der Peritonealdialyse (PD). Der PET liefert relevante Informationen für die Verordnung des individuellen PD-Regimes mit dem Ziel einer stets effizienten PD mit adäquater Dialysedosis und Dialysequalität (■ **Tab. 1**). Entsprechend sollte ein PET nicht nur zu Beginn der PD durchgeführt, sondern auch im zeitlichen Verlauf regelmäßig und insbesondere bei dialyseassoziierten Problemen wie z. B. Rückgang der Ultrafiltration wiederholt werden, um mögliche Veränderungen der „biologischen“ (peritonealen) Dialysemembran bei der Verordnung des PD-Regimes zu berücksichtigen (■ **Tab. 1**).

Unsere Expertengruppe setzt sich zusammen aus peritonealdialyseerfahrenen Nephrologen und nephrologischen Fachpflegekräften aus verschiedenen Zentren in Deutschland und Österreich. Die Arbeit der Expertengruppe wurde unterstützt durch die Firma Baxter GmbH. Wir danken insbesondere Frau Angelika Firl für die Unterstützung bei der Erstellung des Manuskripts.

1987 beschrieben Twardowski et al. erstmals einen relativ einfach durchführbaren und auswertbaren Test zur Bestimmung des peritonealen kleinmolekularen Stofftransports und des Ultrafiltrationsverhaltens [1]. Da zu seiner Durchführung nur das normale Dialysezubehör und wenige einfache Laborbestimmungen aus Blut und Dialysat notwendig sind, fand der Test eine weltweite Verbreitung. Inzwischen sind multiple Varianten des PET publiziert worden [2]. Zudem führen PD-Zentren den PET mit unterschiedlichen Protokollen durch. Dies hat unsere Gruppe aus PD-erfahrenen Nephrologen sowie PD-Fachpflegekräften aus Kliniken und Niederlassung veranlasst, ein in dieser Gruppe konsentiertes Protokoll für einen standardisierten und einfach durchführbaren PET zu erarbeiten, der verschiedene Weiterentwicklungen des klassischen PET integriert. Dabei werden die essenziellen Schritte (Vorbereitung, Durchführung, Interpretation) und die Fehlerquellen beschrieben. Um häufige und die Ergebnisse verfälschende Handlingfehler zu vermeiden, werden die praktischen Hinweise mit einem besonderen Stellenwert bedacht.

### Bestimmung des peritonealen Transporttyps

Der PET basiert auf einer semiquantitativen Analyse. Nach intraperitonealer Instillation glukosehaltiger PD-Lösung wird die Zeit ermittelt, in der sich die Konzentration eines gelösten Stoffs (Solut) zwischen Dialysat und Plasma angleicht. Das Konzentrationsverhältnis des Solut zwischen Dialysat und Plasma (als D/P bezeichnet) zu definierten Zeitpunkten zeigt die Dynamik des Ausgleichs zwischen den beiden Kompartimenten. Ein rascher Konzentrationsausgleich resultiert in einer hohen D/P, was bedeutet, dass die peritoneale Permeabilität für dieses Solut hoch ist. Durch die Analyse der D/P-Werte konnten Standarddiagramme für die Membranpermeabilität erstellt werden, wobei zur Bestimmung des peritonealen Transporttyps der D/P-Wert für Kreatinin nach 4 h herangezogen wird (■ **Abb. 1**). Da sich im Hinblick auf die therapeutischen Konsequenzen (Eignung für CAPD [kontinuierliche ambulante PD] oder APD [automatisierte bzw. Cyclo-erstützte] PD) „Low-average“- oder „High-average“-Trans-

**Tab. 1** Qualitätsziele der Peritonealdialyse (PD) nach internationalen und europäischen Leitlinien

|                                                 |                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kt/V gesamt (renal + peritoneal)                | ≥1,7/Woche                                                                                                                       |
| Kreatinin-Clearance gesamt (renal + peritoneal) | ≥45 l/Woche/1,73 m <sup>2</sup> (nur APD)                                                                                        |
| UF                                              | ≥1000 ml (renal + peritoneal)                                                                                                    |
| Monitoring der peritonealen Funktion (PET)      | Nach Beginn der PD (frühestens nach 6 Wochen) regelmäßig im Behandlungsverlauf, z. B. jährlich und insbesondere bei UF-Problemen |

APD automatisierte (Cycler-gestützte) Peritonealdialyse, UF Ultrafiltration, PET peritonealer Äquilibriumstest

Für die Verordnung des individuellen PD-Regimes – und insbesondere bei UF-Problemen liefert der PET relevante Informationen. Das UF-Versagen ist wie folgt definiert: UF < 400 ml PET<sub>240 min</sub> bei Verwendung von 3,86 %- bzw. 4,25 %-Glukoselösung; UF < 100 ml PET<sub>240 min</sub> bei Verwendung 2,27 %- bzw. 2,3 %-Glukoselösung

porttypen nicht unterscheiden, kann die ursprüngliche Einteilung in 4 Transportkategorien durch eine vereinfachte Einteilung in die folgenden 3 Kategorien ersetzt werden:

- „low“ (langsam),
- „average“ (durchschnittlich – durch Zusammenfassung von „low-average“ und „high-average“),
- „high“ (schnell).

### » Der Identifikation des „high transporters“ kommt eine besondere Bedeutung zu

Der Identifikation des „high transporters“ mit der Konsequenz einer Anpassung des Dialyseregimes mit kürzeren Verweilzeiten wie bei der APD kommt eine besondere Bedeutung zu. Ob der Blick auf die peritonealen Transportarten auch prognostische Bedeutung hat, bleibt fraglich. Ältere klinische Arbeiten beschreiben ein schlechteres Patientenüberleben bei Patienten mit schnellem peritonealen Transport. Dieser Überlebensnachteil scheint aber nicht mehr nachweisbar zu sein, wenn schnelle peritoneale Transporter mit APD behandelt werden [3, 4]. Eine Publikation von 2015 zeigte eine Assoziation des „High-transporter“-Status mit einer erhöhten Hospitalisationsrate [5].

### Bestimmung der Ultrafiltrationskapazität

Mehrere Studien konnten zeigen, dass eine Steigerung der Dialyseeffektivität

tät über ein wöchentliches Kt/V von 1,7 nicht zur Verbesserung des Überlebens führte [6]. Damit rückt die Überwässerung als zentraler Risikofaktor in den Vordergrund [7–9]. Euvolämie setzt insbesondere bei nachlassender Diurese eine ausreichende Ultrafiltration voraus. Anhand des Dialysatauslaufvolumens kann die peritoneale Ultrafiltration nach 4 h gemessen werden (Ultrafiltrationskapazität). Diese korreliert invers mit D/P Kreatinin (je schneller der Transport, desto geringer das Ultrafiltrationsvolumen) und hat im Langzeitverlauf möglicherweise eine größere diagnostische Bedeutung als die peritonealen Transporteigenschaften.

### Bestimmung des Residualvolumens

Das Residualvolumen ist jenes Volumen, das nach vollständigem Dialysatauslauf in der Peritonealhöhle verbleibt. Eine grobe Einschätzung ermöglicht die Messung der Solute im Dialysat zum Zeitpunkt 0 beim PET. Ein möglicherweise vorhandenes signifikantes Residualvolumen vermischt sich mit der zu Beginn des PET eingefüllten Dialyselösung. Die Kreatininwerte aus dem Dialysat zum Zeitpunkt 0 sind dann höher, die Dialysatglukosekonzentration ist niedriger als erwartet. Eine genauere Kalkulation des Residualvolumens ist möglich, wenn die Kreatininkonzentrationen aus dem Gesamtauslauf vor PET-Beginn („overnight dwell“), aus der Dialyselösung, die zur Durchführung des PET verwendet wird (vor dem Einlauf der Dialyselösung), und aus dem Dialysat zum Zeitpunkt 0

(also unmittelbar nach dem Einlauf) bestimmt werden (für die Formel zur Berechnung siehe [1]).

### Vorteile eines modifizierten PET mit hochprozentiger Glukoselösung

Die Durchführung des PET mit einer hochprozentigen (3,86 %/4,25 %) Glukoselösung wurde von der ISPD bei Patienten mit eingeschränkter peritonealer Ultrafiltration bereits im Jahr 2000 empfohlen [10]. Die peritonealen Transportraten sind bei Durchführung des PET mit 3,86 %/4,25 %-Glukoselösung und mit 2,27 %/2,3 %-Glukoselösung zwar gleich [11], der modifizierte PET bietet aber folgende Vorteile:

- Beim Einsatz einer hochprozentigen Glukoselösung wird mehr peritoneale Ultrafiltration erzeugt.
- Die intraindividuelle Variabilität der peritonealen Ultrafiltration ist geringer als bei Verwendung einer Lösung mit niedrigerer Glukosekonzentration, sodass eine verlässlichere Aussage über die Ultrafiltrationskapazität erzielt wird.
- Das Ultrafiltrationsversagen ist definiert als eine peritoneale Ultrafiltration, die nach einer 4-stündigen Verweilzeit einer 3,86 %/4,25 %-Glukoselösung unter 400 ml liegt ([10]; **Tab. 1**).
- Der PET mit 3,86 %/4,25 %-Glukoselösung ermöglicht zudem eine sicherere Bestimmung des Natriumknicks.

### Bestimmung des Natriumknicks zur Beurteilung der Aquaporinfunktion

Durch die hochprozentige Glukoselösung wird die Ultrafiltration über Aquaporinkanäle stimuliert. Daraus resultiert in den ersten 2 h ein überwiegender Transport von elektrolytfreiem Wasser aus peritonealen Kapillaren in das Dialysat. Natrium wird zurückgehalten (daher auch als „sodium sieving“ bezeichnet). Das einströmende freie Wasser führt zum Abfall der ursprünglichen Natriumkonzentration (genannt Natriumknick oder -Dip), dessen Ausmaß eine

Beurteilung der Funktion der Aquaporine und möglicher therapeutischer Konsequenzen zulässt [11]. So kann einem Rückgang der Ultrafiltration bei noch ausreichender Aquaporinfunktion (erhaltener Natriumknick) mit Verwendung einer Dialyselösung mit höherprozentiger Glukose begegnet werden. Bei nachlassender Aquaporinfunktion (fehlender Natriumknick) hingegen bedarf es eines Einsatzes von Icodextrin, um dem Körper ausreichend Flüssigkeit zu entziehen. In Kombination mit einem kompletten Dialysatauslauf nach 1 h ist die Berechnung des aquaporinvermittelten freien Wassertransports möglich (■ Abb. 2; [2]).

### Kompletter Dialysatauslauf nach 1 h, ggf. mit Berechnung des freien Wassertransports

Der komplette Dialysatauslauf nach 1 h ermöglicht zwei weitere Aussagen:

1. Die peritoneale Ultrafiltration kann nach 1 h bestimmt werden. Viele Patienten haben in der frühen Phase der Dialysatverweilzeit zunächst eine gute peritoneale Ultrafiltration, die im weiteren Verlauf durch Reduktion des osmotischen Gradienten abnimmt. Diese Patienten profitieren von APD mit kurzen Verweilzeiten. Andere Patienten zeigen eine über die gesamte Verweilzeit geringe peritoneale Ultrafiltration [2]. Bei solchen Patienten ist eine Verkürzung der Verweilzeit durch APD nicht sinnvoll.
2. Der komplette Dialysatauslauf ermöglicht nach 1 h eine genauere Berechnung des freien Wassertransports, der mit der effektiven Kapillaroberfläche korreliert und möglicherweise eine frühere Diagnose peritonealer Langzeitveränderungen wie z. B. bei einer enkapsulierenden Peritonealsklerose (EPS) ermöglicht ([12]; ■ Abb. 2).

### Bestimmung der peritonealen Proteinausscheidung

Möglicherweise hat im Gegensatz zu den peritonealen Transporteigenschaften kleinmolekularer Substanzen die pe-

Nephrologe 2017 · 12:33–39 DOI 10.1007/s11560-016-0123-9  
© Springer Medizin Verlag Berlin 2016

H. Bruck · M. Haag-Weber · M. Hiß · H. Martin · W. Pommer · A. Vychytil · G. Ausobsky · I. Wiegand-Szramek · I. Quack

## Standardisierung des peritonealen Äquilibrationstest (PET) bei Peritonealdialyse. Eine Expertenempfehlung

### Zusammenfassung

Der peritoneale Äquilibrationstest („peritoneal equilibration test“, PET) ist der am meisten angewandte Funktionstest zur Erfassung der für den Stofftransport und das Ultrafiltrationsverhalten wichtigen peritonealen Membraneigenschaften bei der Peritonealdialyse. Ein regelmäßig und standardisiert durchgeführter PET liefert wichtige Informationen für die Verordnung des individuellen Peritonealdialyseregimes. Das hier vorgestellte, in unserer Expertengruppe konsentrierte, PET-Protokoll integriert die Vorteile des Gebrauchs von hochprozentiger Glukoselösung und der Durchführung eines

kompletten Dialysatauslaufs nach 1 h inklusive des Natriumknicktests. Die essenziellen Schritte Vorbereitung, Durchführung und Interpretation und auch Fehlerquellen werden beschrieben, und es werden praktische Hinweise zur Modifikation des Dialyseregimes mit dem Ziel einer stets effizienten Peritonealdialyse mit adäquater Dialysedosis und Dialysequalität gegeben.

### Schlüsselwörter

Peritonealdialyse · Peritonealer Äquilibrationstest · Ultrafiltration · Peritonealmembran · Adäquate Dialyse

## Standardization of the peritoneal equilibration test (PET) in peritoneal dialysis. Expert recommendation

### Abstract

The peritoneal equilibration test (PET) is the most widely used functional test for providing information on peritoneal membrane solute clearance and ultrafiltration behavior of important peritoneal membrane characteristics in peritoneal dialysis patients. When the PET is regularly performed and based on a standardized protocol it provides important information for the individual peritoneal dialysis regimen. The consensus PET protocol of our expert group integrates the advantages of using high concentration glucose solutions and carrying out a complete

drain after 1 h including the sodium sieving test. The essential steps of preparation, execution and interpretation as well as sources of error are described. Practical advice for modification of the dialysis regimen is given with the aim of always achieving an efficient peritoneal dialysis with adequate dialysis dose and quality.

### Keywords

Peritoneal dialysis · Peritoneal equilibration test · Ultrafiltration · Peritoneal membrane · Adequate dialysis

ritoneale Protein-Clearance eine bessere prognostische Aussagekraft. So korrelierte ein hoher Proteinverlust besser als D/P Kreatinin mit der kardiovaskulären und infektiösen Patientenmortalität [13, 14].

### Anleitung zur Durchführung des PET

Das von unserer Expertengruppe empfohlene Protokoll beschreibt einen modifizierten PET mit hochprozentiger Glukoselösung und kombiniert mit einem komplettem Dialysatauslauf nach 1 h inklusive Natriumknick.

### Begriffsdefinitionen

Dialyselösung = frische Dialyselösung;  
Dialysat = Auslauflösung

### Was ist vor PET zu beachten?

Gute Blutzuckereinstellung; bei Diabetikern ggf. auch Blutzuckerkontrolle (Stix) während PET. Unmittelbar vor Beginn des PET hat der Patient über mindestens 60 min eine glukosehaltige Dialyselösung in der Bauchhöhle, keine icodextrinhaltige Dialyselösung, keine leere Bauchhöhle.

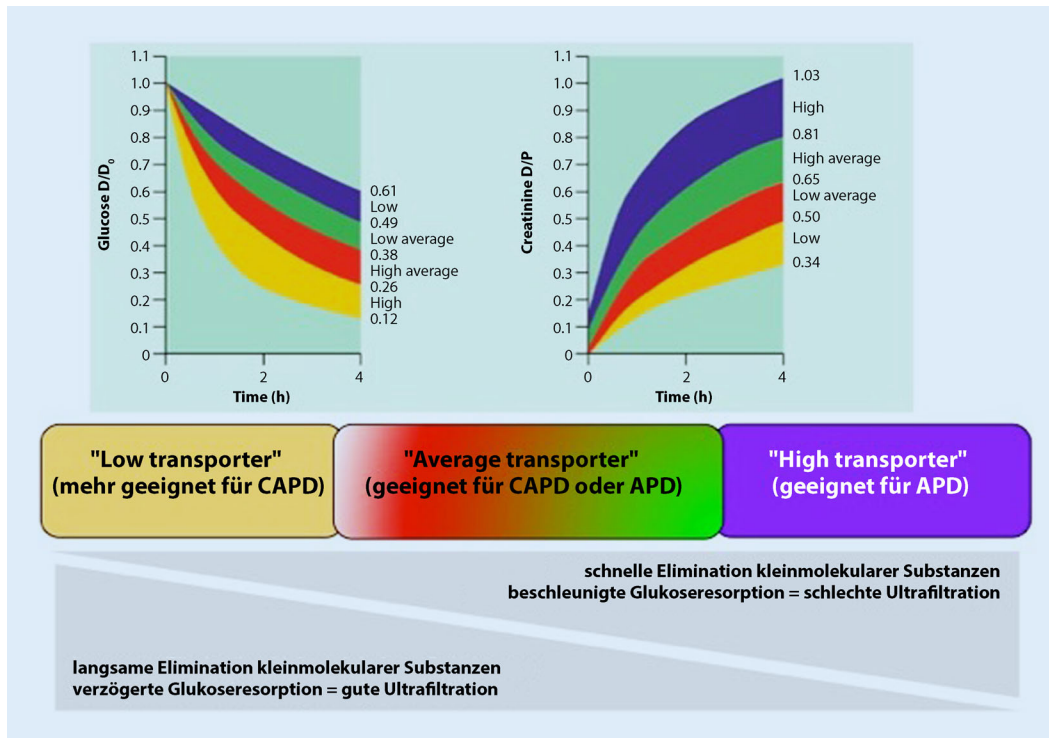


**Abb. 1** ◀ Peritonealer Äquilibrationstest (PET): Bestimmung der Transporteigenschaften des Peritoneums über 4 h mittels Bestimmung der Absorptionsgeschwindigkeit von Glukose, d. h. Abnahme der Glukosekonzentration im Dialysat/Zeit (*Glucose D/D₀*) und Transportgeschwindigkeit der kleinen Substanzen Kreatinin, d. h. Anstieg von Kreatinin im Dialysat/Zeit (*Creatinine D/P*; APD automatisierte [Cycler-gestützte] Peritonealdialyse, CAPD kontinuierliche ambulante Peritonealdialyse). (Einteilung der Transporttypen nach [1])

### Berechnung des freien Wassertransportes<sup>2</sup>

FWT (ml) = Ultrafiltration (Auslauf nach 1 h) – Ultrafiltration über kleine Poren (nach 1 h) (UFSP)

UFSP =  $[NaR \text{ (mmol)} / Na_p \text{ (mmol/l)}]$

$Na_p$  = Natrium im Plasma

Na-Entfernung (NaR) =  $[Auslaufvolumen \text{ nach } 60 \text{ Min} \times Na \text{ im Auslauf (mmol/l)}] - \text{Einlaufvolumen (Liter)} \times Na \text{ im frischem Dialysat (mmol/l)}$

**Abb. 2** ▲ Berechnung des freien Wassertransportes [2]

Patient bleibt an gewohnter Therapie: CAPD oder APD. Der CAPD-Patient führt morgens keinen Dialysatwechsel durch und kommt mit der Nachtfüllung (kein Icodextrin) ins Dialysezentrum. Bei CAPD mit Icodextrin in der Nacht vor dem PET einmalig Austausch des nächtlichen Icodextrins gegen Glukoselösung – alternativ nach nächtlichem Icodextrin morgens vor dem PET mindestens 60-minütige Verweilzeit mit Glukoselösung bis zum PET-Beginn. Der APD-Patient beendet das gewohnte nächtliche Cycler-Regime mit Glukoselösung als „letzter Füllung“ (kein Icodextrin). Ein- bzw. Auslaufzeiten müssen adäquat

sein (Einlauf: ca. 10 min, kompletter Auslauf: ca. 20 min).

### Was ist beim PET zu beachten?

Hygienestandards bei allen Konnektionen, Dekonnektionen und Dialysatprobenentnahmen sind einzuhalten. Der PET sollte mit einer intraperitonealen Füllmenge von 2 l durchgeführt werden. Der Patient kann beim Auslauf wie auch beim Einlauf sitzen oder liegen (ggf. individuell optimale Lagerung berücksichtigen).

Falls nicht, wie im Folgenden beschrieben, mit einem Leerbeutel gearbeitet wird, sondern ein Doppelkam-

mersystem für den PET verwendet wird, vor Dialysatabnahme etwa 10 ml Lösung aus dem Abnahmestutzen des Einlaufbeutels werfen (im Abnahmestutzen befindliche Dialyselösung verfälscht die Werte).

### Praktische PET-Durchführung

- vollständiger Dialysatauslauf;
- 2 l hochprozentige Glukoselösung einlaufen lassen (Ende des Einlaufs = PET-Beginn = Zeitpunkt 0 min), danach 200 ml direkt auslaufen lassen, anschließend 190 ml wieder einlaufen lassen und aus den im Beutel verbliebenen 10 ml Probe entnehmen (= Probe 0 min);
- nach 60 min: Gesamtauslauf machen (Beginn des Auslaufs = Zeitpunkt 60 min), Menge des Dialysats notieren und Lösung bis auf 10 ml für die Probeentnahme wieder einlaufen lassen, Blutabnahme;
- nach 4 h: Gesamtauslauf machen (Beginn des letzten Auslaufs = Zeitpunkt 240 min) und Probe entnehmen;
- anschließend fährt der Patient mit seinem gewohnten Behandlungsregime fort (Tab. 2).

**Tab. 2** Vorgehensweise bei Durchführung des peritonealen Äquilibrationstests (PET)

| Arbeitsschritte                                                                                                 | Material                                                     | Laborparameter                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Leerbeutel konnektieren                                                                                         | Leerbeutel                                                   | Ggf. BZ-Kontrolle beim Diabetiker                         |
| Gesamtauslauf durchführen                                                                                       | –                                                            |                                                           |
| Dialysat wiegen, Menge und Verweildauer notieren                                                                | Infusionsständer und Federwaage                              |                                                           |
| Frische Dialyselösung mischen                                                                                   | Hochprozentige Glukoselösung im PD-Doppelkammerbeutel        |                                                           |
| Patient via Überleitungssystem an Doppelkammersystem konnektieren                                               |                                                              |                                                           |
| Einlaufbeutel am Infusionsständer befestigen                                                                    |                                                              |                                                           |
| Flush durchführen, bis genau 2000 ml im Einlaufbeutel sind                                                      | Beutelklemmen                                                | –                                                         |
| Frische Dialyselösung (2 l) einlaufen lassen (10 min)                                                           |                                                              |                                                           |
| Ende Einlaufzeit aufschreiben = PET-Beginn = Zeitpunkt 0                                                        |                                                              |                                                           |
| Sofort nach dem Einlauf 200 ml Dialysat in den <b>leeren Einlaufbeutel</b> (nach unten hängen) auslaufen lassen | Federwaage                                                   | –                                                         |
| Desinfektion des Abnahmestutzens                                                                                |                                                              |                                                           |
| 190 ml wieder einlaufen lassen, aus den im Beutel verbliebenen 10 ml Probe entnehmen                            | Kanüle, Spritze                                              | Dialysat:<br>Harnstoff<br>Kreatinin<br>Glukose<br>Natrium |
| <i>Kennzeichnung Probe 0 min</i>                                                                                |                                                              |                                                           |
| Patient dekonnektieren                                                                                          | Verschlusskappe                                              | –                                                         |
| 60 min nach PET-Beginn Leerbeutel anschließen                                                                   | Leerbeutel                                                   | –                                                         |
| Dialysat komplett auslaufen lassen                                                                              | –                                                            | Ggf. BZ-Kontrolle beim Diabetiker                         |
| Dialysat wiegen, Menge notieren und sofort wieder einlaufen lassen                                              | Federwaage                                                   | –                                                         |
| 10 ml Dialysat im Beutel lassen und Probe entnehmen                                                             | Spritze, Kanüle                                              | Dialysat:<br>Harnstoff<br>Kreatinin<br>Glukose<br>Natrium |
| <i>Kennzeichnung Probe 60 min</i>                                                                               |                                                              |                                                           |
| Patient dekonnektieren                                                                                          | Verschlusskappe                                              | –                                                         |
| Serumprobe 60 min nach PET-Start                                                                                | Blutentnahmeset                                              | Blut:<br>Harnstoff<br>Kreatinin<br>Glukose                |
| <i>Kennzeichnung Serumprobe</i>                                                                                 |                                                              |                                                           |
| 240 min nach PET-Beginn neues Doppelkammersystem konnektieren                                                   | PD-Doppelkammerbeutel (nach Therapieregime)<br>Beutelklemmen | –                                                         |
| Dialysat komplett auslaufen lassen                                                                              | Infusionständer mit Federwaage                               |                                                           |
| Auslaufzeit messen, Dialysat wiegen und notieren                                                                |                                                              |                                                           |
| 10 ml Dialysat als Probe entnehmen                                                                              | Kanüle, Spritze                                              | Dialysat:<br>Harnstoff<br>Kreatinin<br>Glukose<br>Natrium |
| <i>Kennzeichnung Probe 240 min</i>                                                                              |                                                              |                                                           |
| Flush durchführen                                                                                               |                                                              |                                                           |
| Frische Dialyselösung einlaufen lassen                                                                          |                                                              |                                                           |
| Patient dekonnektieren                                                                                          | Verschlusskappe                                              | –                                                         |

PD Peritonealdialyse, BZ Blutzucker

## PET-Dokumentation und -Auswertung

Zur Dokumentation und Auswertung der PET-Ergebnisse haben sich die computerbasierten Programme RenalSoft (Baxter) und PatientOnLine (Fresenius) bewährt, da sie neben der Ermittlung des Transporttyps beim PET auch die Berechnung von Kt/V und Clearance sowie die Möglichkeit zur simulierten Modulation des PD-Regimes bieten. Hinweis: Die aktuell gebräuchlichen Software-Versionen rechnen u.a. mit Dialysatproben der Vorbehandlung (Nachtbeutel) und nach 120 min.

## Fehlerquellen bei der Durchführung des PET

### Falscher Zeitpunkt des PET

Die Durchführung des PET unmittelbar nach PD-Beginn kann zu falschen Ergebnissen führen, da sich die peritonealen Transporteigenschaften in den ersten Wochen nach PD-Beginn verändern [15]. Falls ein PET nach einer Peritonitis durchgeführt werden muss, sollte dieser frühestens 4 Wochen nach Ausheilung der Infektion erfolgen.

### Fehlerquelle Zusammensetzung des „overnight dwell“

Die Verwendung von Icodextrin und eine leere Peritonealhöhle unmittelbar vor dem PET führen zu falsch-hohen erhöhten peritonealen Transportraten [16, 17]. Die Verweilzeit vor dem PET („overnight dwell“) sollte laut Originalprotokoll von Twardowski 8–12 h dauern [1]. Eine kürzere Verweilzeit von Glukoselösungen vor dem PET (z. B. Beginn des PET nach APD) hat keinen signifikanten Einfluss auf die D/P Kreatinin.

### Fehler durch unvollständige Dialysatausläufe

Bei unvollständigem Auslauf des Dialysats vor dem PET („overnight dwell“), verbleibt ein intraperitoneales Residualvolumen. Dieses vermischt sich mit der beim PET frisch eingefüllten Dialyselö-

sung. Bei hohem Residualvolumen sind das Dialysatkreatinin und somit das D/P Kreatinin zum Zeitpunkt 0 höher als erwartet. Die Dialysatglukosekonzentration zum Zeitpunkt 0 ist in diesem Fall durch die Verdünnung des Dialysats niedriger als erwartet. Die  $D/D_0$  Glukose wird aber durch das Vorhandensein eines größeren Residualvolumens nicht beeinflusst, da zum Zeitpunkt 0 D und  $D_0$  identisch sind und der Quotient immer 1 ergibt. Zum Zeitpunkt 4 h sollte aber die D/P Kreatinin trotz des erhöhten Residualvolumens wieder den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen und mit der Glukosekurve übereinstimmen, da die Diffusion der kleinmolekularen Substanzen über einen mehrstündigen Zeitraum durch das Residualvolumen kaum beeinflusst wird.

### Fehler in der Einschätzung der Ultrafiltration durch Überfüllung („overflow“) der Beutel

Beutel mit Dialyselösung enthalten herstellerseitig etwas mehr Flüssigkeit als angegeben (das auf dem Beutel angegebene Volumen stellt lediglich eine Mindestfüllmenge dar). Wenn dieser „overflow“ nicht berücksichtigt wird und der komplette Beutel einläuft, werden entsprechend mehr Dialyselösung (als die gewünschten 2 l) intraperitoneal instilliert und die peritonealen Ultrafiltrationsvolumina während des PET möglicherweise zu hoch eingeschätzt. Das Volumen der abgenommenen Proben muss stets in die peritoneale Ultrafiltration mit einberechnet werden. Ausgedehnte körperliche Aktivitäten des Patienten während des PET sollten vermieden werden, da dadurch der intraperitoneale Druck gesteigert werden kann. Dies kann den lymphatischen Abfluss erhöhen und die peritoneale Ultrafiltration vermindern.

### Heterogenität zwischen Kreatinin- und Glukosekurve

Die Kreatininmessung im Dialysat wird durch die hohen Glukosekonzentrationen beeinflusst, sodass bei Verwendung nichtenzymatischer Messmethoden falsch-hohe Kreatininwerte resultieren. Auch Medikamente wie z. B.

Cephalosporine interferieren mit der Kreatininmessung im Dialysat und können die PET-Kreatinin-Kurve nach oben verschieben. Umgekehrt können sehr hohe Blutzuckerwerte während des PET die Glukosekurve nach unten verschieben, da der Konzentrationsgradient von Glukose zwischen Dialysat und Blut kleiner und die Diffusion daher verlangsamt wird [18].

### Fehler durch verzögerten Einlauf von Dialyselösung bzw. Dialysatauslauf (PET-Zeit)

Wenn der Einlauf der Dialyselösung oder der Dialysatauslauf beim PET verlangsamt sind, können durch die verlängerten Diffusionsraten höhere D/P-Ratios und niedrigere  $D/D_0$  sowie eine Beeinflussung der Ultrafiltration nach 4 h resultieren. Ebenso können sehr lange Ein- oder Auslaufzeiten die jeweils erhobenen Parameter beim Zwischenauslauf nach 1 h verfälschen. Falls Ein- bzw. Auslaufzeiten nicht adäquat sind (Einlauf: ca. 10 min, kompletter Auslauf: ca. 20 min), sollten zuerst die Katheterlage überprüft bzw. die Ursachen beseitigt werden [18].

### Abnahme- und Messfehler

Abnahmefehler (z. B. bei den Dialysatproben) können dazu führen, dass die Kreatinin- oder Glukosekurve unrealistisch ist (z. B. identische Werte durch Bestimmungen aus derselben Probe; [18]).

Wenn die ersten Proben aus dem Abnahmestutzen nicht verworfen werden, kann es zu fehlerhaften Messwerten zum Zeitpunkt 0 kommen.

Beim Natriumknicktest kann die Natriumausgangskonzentration falsch-niedrig bestimmt worden sein und zur irrigen Annahme eines fehlenden Natriumknicks bzw. einer Aquaporindysfunktion führen (die ersten ml aus dem Abnahmestutzen verwerfen).

Messfehler seitens des Labors können zu falschen Werten führen. Insbesondere für die korrekte Messung der Dialysatnatriumkonzentration muss eine adäquate Methodik (indirekte ionenselektive Elektrodentechnologie) eingesetzt werden [19]. Wenn zusätzlich das Natrium aus der frischen Dialyselösung (PET-Ein-

laufbeutel) abgenommen wird, kann die gemessene Natriumkonzentration mit der Herstellerangabe verglichen werden.

### Fazit für die Praxis

- Der PET sollte nicht nur zu Beginn der PD, sondern auch im zeitlichen Verlauf regelmäßig und insbesondere bei dialyseassoziierten Problemen wie z. B. Ultrafiltrationsproblemen durchgeführt und das individuelle Dialyseregime entsprechend angepasst werden.
- Der PET sollte standardisiert als modifizierter PET mit hochprozentiger Glukoselösung, kombiniert mit einem kompletten Zwischenauslauf nach 1 h, durchgeführt werden.
- Die Herausforderungen im klinischen Alltag liegen – insbesondere für PD-unerfahrene Zentren – in der Vermeidung von Fehlern bei der Vorbereitung und der praktischen Durchführung des PET.

### Korrespondenzadresse



**PD Dr. H. Bruck**  
Medizinische Klinik III, HELIOS  
Klinikum Krefeld und KfH-  
Nierenzentrum Krefeld  
Lutherplatz 40/56,  
47805 Krefeld, Deutschland  
heike.bruck@kfh-dialyse.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** H. Bruck, M. Haag-Weber, M. Hiß, H. Martin, W. Pommer und I. Quack erhielten Honorare für Vortrags- und Beratertätigkeit von den Firmen Baxter GmbH und Fresenius Medical Care. A. Vychtyl erhielt Honorare für Vortrags- und Beratertätigkeit von den Firmen Baxter GmbH, Fresenius Medical Care und Amgen und finanzielle Unterstützung für wissenschaftliche Projekte von der Firma Baxter GmbH. G. Ausobsky und I. Wiegand-Szramek geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

### Literatur

1. Twardowski ZJ, Nolph KD, Khanna R, Prowant BF, Ryan LP, Moore HL, Nielsen MP (1987) Peritoneal equilibration test. Perit Dial Bull 7:138–147
2. La Milla V (2010) Peritoneal transport testing. J Nephrol 23(06):633–647

3. Rumpsfeld M, McDonald SP, Johnson DW (2006) Higher peritoneal transport status is associated with higher mortality and technique failure in the Australian and New Zealand peritoneal dialysis patient populations. *J Am Soc Nephrol* 17:271–278
4. Johnson DW, Hawley CM, McDonald SP, Brown FG, Rosman JB, Wiggins KJ, Bannister KM, Badve SV (2010) Superior survival of high transporters treated with automated versus continuous ambulatory peritoneal dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 25:1973–1979
5. Mehrotra R et al (2015) Peritoneal equilibration test and patient outcomes. *Clin J Am Soc Nephrol* 10:1990–2001
6. Fried L, Hebah N, Finkelstein F, Piraino B (2008) Association of Kt/V and creatinine clearance with outcomes in anuric peritoneal dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 52:1122–1130
7. Van Biesen W, Williams JD, Covic AC et al (2011) Fluid status in peritoneal dialysis patients: the European Body Composition Monitoring (EuroBCM) study cohort. *PLOS ONE* 6(2):e17148
8. McCafferty K, Fan S, Davenport A (2013) Extracellular volume expansion, measured by multifrequency bioimpedance, does not help preserve residual renal function in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int* 85:151–157
9. Van Biesen W, Jörres A (2013) Fluid overload and residual renal function in peritoneal dialysis: the proof of the pudding is in the eating. *Kidney Int* 85:15–17
10. Mujais S, Nolph K, Gokal R, Blake P, Burkart J, Coles G, Kawaguchi Y, Kawanishi H, Korbet S, Krediet R, Lindholm B, Oreopoulos D, Rippe B, Selgas R (2000) Evaluation and management of ultrafiltration problems in peritoneal dialysis. International Society for Peritoneal Dialysis Ad Hoc Committee on Ultrafiltration Management in Peritoneal Dialysis. *Perit Dial Int* 20(Suppl 4):S5–S21
11. Gomes AM, Fontán MP, Rodríguez-Carmona A, Sastre A, Cambre HD, Muñiz AL, Falcón TG (2009) Categorization of sodium sieving by 2.27% and 3.86% peritoneal equilibration tests – a comparative analysis in the clinical setting. *Nephrol Dial Transplant* 24:3513–3520
12. Krediet RT, Lopes Barreto D, Struijk DG (2016) Can free water transport be used as a clinical parameter for peritoneal fibrosis in long-term PD patients? *Perit Dial Int* 36(2):124–128
13. Pérez-Fontán M, Rodríguez-Carmona A, Barreda D, López-Muñiz A, Blanco-Castro N, García-Falcón T (2010) Peritoneal protein transport during the baseline peritoneal equilibration test is an accurate predictor of the outcome of peritoneal dialysis patients. *Nephron Clin Pract* 116(2):c104–c113
14. Perl J, Huckvale K, Chellar M et al (2009) Peritoneal protein clearance and not peritoneal membrane transport status predicts survival in a contemporary cohort of peritoneal dialysis patients. *Clin J Am Soc Nephrol* 4:1201–1206
15. Johnson DW, Mudge DW, Blizzard S, Arndt M, O'Shea A, Watt R, Hamilton J, Cottingham S, Isbel NM, Hawley CM (2004) A comparison of peritoneal equilibration tests performed 1 and 4 weeks after PD commencement. *Perit Dial Int* 24:460–465
16. Lilaj T, Vychytil A, Schneider B, Hörl WH, Haag-Weber M (1999) Influence of the preceding exchange on peritoneal equilibration test results: a prospective study. *Am J Kidney Dis* 34:247–253
17. Lilaj T, Dittrich E, Puttinger H, Schneider B, Haag-Weber M, Hörl WH, Vychytil A (2001) A preceding exchange with polyglucose versus glucose solution modifies peritoneal equilibration test results. *Am J Kidney Dis* 38:118–126
18. Misra M, Khanna R (2014) The clinical interpretation of peritoneal equilibration test. *Semin Dial* 27:598–602
19. Aanen MC, Venturoli D, Davies SJ (2005) A detailed analysis of sodium removal by peritoneal dialysis: comparison with predictions from the three-pore model of membrane function. *Nephrol Dial Transplant* 20:1192–1200

Hier steht eine Anzeige.

