

Nilai Diagnostik dan Peran Pemeriksaan Indeks Kolapsibilitas Diameter Vena Kava Inferior dalam Menilai Berat Kering pada Pasien Hemodialisis

Diagnostic Value and the Role of Inferior Vena Cava Diameter Collapsibility Index to Evaluate Dry Weight in Hemodialysis Patients

Muhammad Artisto Adi Yussac¹, Dharmeizar², Murdani Abdullah³, Dono Antono⁴, Muhadi⁴

¹Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta

²Divisi Ginjal Hipertensi, Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta

³Divisi Gastro-enterologi, Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta

⁴Divisi Kardiologi, Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta

Korespondensi:

Dharmeizar. Divisi Ginjal Hipertensi, Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo. Jln. Pangeran Diponegoro 71, Jakarta 10430, Indonesia. email: dharmeizar@yahoo.com

ABSTRAK

Pendahuluan. Dalam praktek klinis, status cairan pada pasien hemodialisis (HD) sangat berkaitan dengan berat kering. Penentuan berat kering yang dilakukan secara klinis tidak akurat sehingga diajukan berbagai metode untuk menilai berat kering secara noninvasif diantaranya yaitu pemeriksaan analisis bioimpedansi dan pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui korelasi antara pengukuran indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior dan pemeriksaan analisis bioimpedansi. Sehingga, dapat diketahui peran pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior dalam mengevaluasi berat kering pada pasien dialisis.

Metode. Studi potong lintang dilakukan di unit HD Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo (RSCM) Jakarta pada bulan Juni 2011 dengan metode pengambilan sampel konsekutif. Berat kering dinilai dengan analisis bioimpedansi dan pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior dinilai dengan menggunakan USG.

Hasil. Dari 30 subyek penelitian dengan rentang usia 24-69 tahun dan rerata 52 tahun, 18 (60%) subyek di antaranya mengalami kelebihan cairan menurut analisis bioimpedansi, sedangkan menurut pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior didapatkan 21 orang kelebihan cairan. Terdapat korelasi negatif sedang antara pemeriksaan indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior dengan analisis bioimpedansi ($r = -0,597$, $p < 0,0001$). Nilai sensitivitas dan spesifisitas untuk pemeriksaan indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior yaitu 94,4% dan 66,7%. Pada kedua operator USG didapatkan nilai κ (kappa) sebesar 0,92, artinya memiliki kesesuaian yang sangat kuat.

Simpulan. Pemeriksaan indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior mempunyai peran sebagai alat skrining yang cukup baik dalam menilai berat kering pada pasien hemodialisis.

Kata kunci: analisa bioimpedansi, berat kering, hemodialisis, indekskolapsibilitas vena kava inferior, korelasi

ABSTRACT

Introduction. In daily clinical practice, fluid status in Hemodialysis (HD) patients is well correlated with dry weight calculation. Dry weight calculation is commonly practiced by clinical observation, which is not accurate. Because of these, few methods has been suggested to calculate the dry weight non-invasively. Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) is widely available in overseas but not readily available in all dialysis center in Indonesia, while inferior vena cava diameter is a relatively inexpensive method, and readily available in all dialysis center because it can be performed with ultrasonography (USG) instrument.

Methods. A cross-sectional study was performed in a group of regular HD patients at the Haemodialysis Unit, Cipto Mangunkusumo Hospital in Jakarta, June 2011. Dry weight was evaluated with bioelectrical impedance analysis, while the inferior vena cava collapsibility index was evaluated using USG performed by two different observer.

Results. We have recruited 30 HD patients, in which 18 (60%) of the subjects were overload according to the bioelectrical impedance analysis, while 21 (70%) were overload according to the inferior vena cava collapsibility index. The mean age of the subjects is 52 years old with the minimum 24 and maximum 69 years. In this research, we found negative correlation ($r = -0.957$, $P < 0.0001$) between inferior vena cava collapsibility index and BIA. We found a 94.4% sensitivity and 66.7% specificity for inferior vena cava collapsibility index. Both of USG operators showed a κ coefficient value of 0.92, which reflected a very strong agreement between them.

Conclusions. The inferior vena cava collapsibility index have a good role as a screening method in determining dry weight in dialysis patients.

Keywords: Hemodialysis, dry weight, bioelectrical impedance analysis, correlation, inferior vena cava collapsibility index.

PENDAHULUAN

Penyakit Ginjal Kronis (PGK), merupakan masalah kesehatan yang cukup penting dan prevalensinya di seluruh dunia semakin meningkat akhir-akhir ini. Data dari *Registro Lombardo Dialisi e Trapianto* (RLTD) menunjukkan bahwa pada akhir tahun 1997 prevalensi PGK tahap akhir sebesar 889/1.000.000 populasi dan insidennya sebesar 123/1.000.000 populasi. Angka tersebut meningkat sekitar 70% dibandingkan dekade terakhir.¹

Tingkat mortalitas pasien yang menjalani hemodialisis pada PGK mencapai 18% setiap tahunnya.² Analisis dari *United States Renal Data System* (USRDS) menunjukkan bahwa kematian selama perawatan di rumah sakit berkisar sekitar 8,7% untuk Gagal Jantung Kongestif (GJK), 4% untuk kelebihan volume cairan (*volume overload*) dan 6,6% untuk edema paru pada pasien-pasien yang menjalani hemodialisis. Tingkat kesintasan 5 tahun berkisar antara 12,5%, 20,2% dan 21,3%.³

Kelebihan cairan (*fluid overload*) merupakan komplikasi gagal ginjal yang sering ditemukan pada pasien hemodialisis. Terapi terhadap kelebihan cairan dapat berimplikasi kepada biaya yang mahal, walaupun komplikasi ini sebenarnya dapat dihindari. Dari sekitar 176.790 pasien hemodialisis di Amerika yang diikuti selama 2,5 tahun, didapatkan sebanyak 17.457 (10%) pasien mengalami setidaknya satu kali episode kelebihan cairan.⁴

Dalam praktek klinis sehari-hari, status cairan pada pasien hemodialisis sangat berkaitan dengan penentuan berat kering (*dry weight*). Berat kering ini menjadi dasar bagi penentuan volume dan kecepatan ultrafiltrasi, yang selanjutnya juga menentukan dosis hemodialisis.

Overestimasi dari berat kering dapat menyebabkan kelebihan cairan kronik, yang pada gilirannya dapat menginduksi terjadinya hipertensi, edema, hipertrofi ventrikel dan kongesti paru yang pada akhirnya akan meningkatkan mortalitas pada pasien hemodialisis.^{2,8}

Sementara itu, estimasi berat kering yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kekurangan cairan kronik yang ditandai dengan mual, pusing dan kram otot, serta

dapat meningkatkan risiko terjadinya hipotensi selama dialisis.⁹

Penilaian berat kering secara klinis dianggap tidak akurat, sehingga diperlukan cara pemeriksaan lain yang selain harus cukup akurat dalam menilai berat kering namun juga mudah dilakukan dan tersedia di berbagai pusat hemodialisis. Pemeriksaan bioimpedance analysis (BIA) atau analisis bioimpedansi merupakan metode non invasif yang cukup akurat untuk mengukur secara langsung kelebihan volume cairan ekstraselular dan untuk menilai berat kering (*dry weight*) pasien-pasien hemodialisis.¹⁰⁻¹³

Status hidrasi relatif yang ditentukan dengan menggunakan alat ini juga dapat memprediksi mortalitas pada pasien hemodialisis.¹⁴ Keterbatasan dari alat ini adalah tidak tersedia di semua rumah sakit atau pusat dialisis.

Pemetode penentuan berat kering lain adalah dengan menentukan indeks kolapsibilitas vena kava inferior yang dapat dilakukan dengan menggunakan alat ultrasonografi (USG) yang tersedia pada hampir semua rumah sakit.

Indeks kolapsibilitas vena kava inferior merupakan adalah rasio perubahan diameter selama ekspirasi dan inspirasi dibandingkan diameter saat ekspirasi. Indeks yang normal berkisar sekitar 50%, dengan rasio yang mendekati 0% menunjukkan kelebihan cairan.¹⁵

Diameter vena kava inferior telah dibuktikan sebagai metode yang baik dalam menentukan status cairan pada anak maupun orang dewasa yang menjalani hemodialisis.^{7,16-18}

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan korelasi nilai indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior dengan nilai BIA, serta menentukan nilai diagnostik indeks kolapsibilitas diameter vena kava inferior dalam menentukan berat kering pasien hemodialisis dengan menggunakan BIA sebagai baku emas.

METODE

Penelitian ini merupakan studi potong lintang pada pasien rawat jalan yang menjalani hemodialisis di unit dialisis Departemen Penyakit Dalam Rumah Sakit dr. Cipto Mangunkusumo (RSCM) Jakarta pada Juni 2011. Subyek

penelitian sebanyak 30 pasien yang memenuhi kriteria inklusi dan dipilih dengan metode *consecutive sampling*. Kriteria inklusi sampel yaitu: 1) pasien hemodialisis dewasa yang berusia ≥ 17 tahun; 2) telah menjalani hemodialisis minimal 3 bulan; dan 3) memiliki *interdialytic weight gain* $>5\%$ dari berat kering secara klinis. Sementara itu, kriteria eksklusi sampel yaitu: 1) sudah terdiagnosis gagal jantung sebelumnya; 2) pasien tidak sadar; atau 3) tidak bersedia ikut dalam penelitian.

Pasien yang memenuhi kriteria inklusi dan tidak memenuhi kriteria eksklusi kemudian dilakukan pemeriksaan analisis bioimpedansi dengan menggunakan alat *Maltron Bioscan 916 Analyzer*[®] dengan frekuensi tunggal 50 KHz setelah sesi dialisis selanjutnya. Kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan USG dengan menggunakan alat *Aloka Pro Sound 4000*[®] dengan transduser konveks berfrekuensi 2,8-3,6 MHz oleh 2 orang pemeriksa yang berbeda untuk menilai variasi perubahan diameter vena kava inferior. Selain itu juga dilakukan penimbangan berat badan dengan menggunakan timbangan digital (*Seca*[®]). Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 17.0 for windows. Untuk pengujian statistik korelasi antara berat kering menurut bioimpedansi dan indeks kolapsibilitas vena kava inferior dilakukan dengan menggunakan rumus *pearson correlation* apabila sebaran data normal dan rumus *spearman* bila tidak normal berdasarkan batas kemaknaan (α) sebesar 5%.

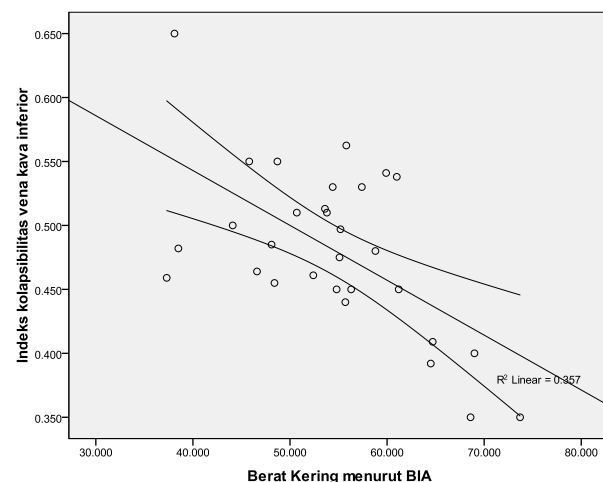
HASIL

Secara demografi, dari 30 orang subyek didapatkan, jumlah antara subyek laki-laki dan perempuan masing-masing 15 orang (50%). Rentang usia subyek berkisar antara 24-69 tahun dengan rerata usia 52 (simpang baku, SB 12,6) tahun. Usia subyek terbanyak berada dalam rentang usia pertengahan, yaitu 40-59 tahun sebanyak 50%. Berat badan subyek pasca dialisis sebagian besar ≥ 50 kg, dengan rerata 55,8 (SB 8,7) kg. Setengah dari subyek telah menjalani hemodialisis selama ≥ 4 tahun dengan median 4 tahun. Rerata ultrafiltrasi paling banyak yaitu <4 liter pada 70% subyek dengan rerata 3,57 liter. Sebagian besar subyek juga mengalami kejadian hipertensi pasca dialisis >10 kali dalam 2 bulan terakhir, yaitu 66,7% dengan rerata 10,93 kali kejadian. Didapatkan sebagian besar subyek memiliki bersihan kreatinin ≥ 5 mL/menit yaitu sebanyak 53,3% dengan median 5,55 mL/menit. Sebagian besar subyek (93,3%) menjalani hemodialisis 2 kali seminggu sementara 2 orang lainnya masing-masing sekali dan 3 kali seminggu. Karakteristik subyek selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik subjek penelitian

Karakteristik	N (%)
Jenis Kelamin	
Perempuan	15 (50)
Laki-laki	15 (50)
Kelompok Usia	
<40 tahun	5 (16,7)
40-59 tahun	15 (50)
≥ 60 tahun	10 (33,3)
Lama subyek telah menjalani hemodialisis	
<4 tahun	15 (50)
≥ 4 tahun	15 (50)
Status cairan menurut pemeriksaan BIA	
Berlebih (<i>Interdialytic weight gain</i> $>5\%$ berat kering)	18 (60)
Normal (<i>Interdialytic weight gain</i> $\leq 5\%$ berat kering)	12 (40)
Status cairan menurut pemeriksaan USG	
Berlebih (Indeks kolapsibilitas $< 40\%$)	21 (70)
Normal (Indeks kolapsibilitas 40-75%)	9 (30)

Uji korelasi *pearson* mendapatkan indeks kolapsibilitas vena kava inferior memiliki korelasi sedang ($r = -0,597$) dengan berat kering menurut pemeriksaan BIA dan korelasi ini bermakna secara statistik ($P < 0,0001$) (Gambar 1).



Gambar 1. Korelasi antara indeks kolapsibilitas vena kava inferior dengan berat kering menurut BIA

Berdasarkan penelitian oleh Cheriex, dkk.¹⁹ didapatkan bahwa kelebihan cairan didefinisikan sebagai indeks kolapsibilitas vena kava inferior yang $<40\%$, sedangkan indeks 40-75% dikatakan normal. Dari 21 subyek yang dinyatakan kelebihan cairan dengan pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava superior, 17 diantaranya dinyatakan kelebihan cairan pula dengan pemeriksaan BIA. Sementara dari 9 subyek yang dinyatakan status cairan normal dengan pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava superior, 8 subyek di antaranya dinyatakan normal pula dengan pemeriksaan BIA (Tabel 2).

Hasil perhitungan berdasarkan data dari Tabel 3 menghasilkan nilai sensitivitas sebesar 94,4% (IK 95%: 85,5%-100%), spesifisitas sebesar 66,7% (IK 95%: 49,9%-83,6%), prediksi positif sebesar 80,9% (IK 95%: 79,9%-81,9%) dan nilai prediksi negatif sebesar 88,8% (IK 95%: 77,5%-100%) untuk indeks kolapsibilitas vena kava inferior, serta prevalensi kelebihan cairan sebesar 60%.

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan USG vena kava inferior oleh 2 orang pemeriksa (observer) yang berbeda. Kesesuaian antara kedua orang pemeriksa tersebut dinilai melalui penentuan nilai *kappa*. Penentuan nilai tersebut dilakukan pada seluruh subjek penelitian.

Penentuan nilai *kappa* dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 3 tersebut dapat dilihat bahwa jumlah subyek yang kelebihan cairan menurut observer I lebih banyak dibandingkan menurut observer II (21 subyek dibandingkan 20 subyek). Nilai koefisien κ yang dihasilkan yaitu sebesar 0,923 yang menunjukkan kesesuaian yang sangat kuat.

Tabel 3 Perbandingan hasil pengukuran BIA dengan USG vena kava inferior

Vena Kava Inferior	Bioimpedansi		Jumlah
	Indeks Kolapsibilitas	Kelebihan cairan	
Kelebihan cairan		17	4
Normal		1	8
Jumlah		18	12
			30

Tabel 4 Kesesuaian pemeriksaan USG vena kava inferior

	Observer I			Jumlah
	Indeks Kolapsibilitas	Overload	Normal	
Observer II	Overload	20	0	20
	Normal	1	9	10
Jumlah		21	9	30

$\kappa = 0,923$

DISKUSI

Penelitian ini merupakan penelitian pertama yang mengevaluasi hubungan indeks kolapsibilitas vena kava superior dengan pemeriksaan BIA sebagai cara menentukan berat kering pada pasien hemodialisis di Indonesia. Walaupun kedua pemeriksaan tersebut telah banyak dievaluasi pada berbagai penelitian lain di luar negeri, namun karena karakteristik pasien hemodialisis di Indonesia yang berbeda, yaitu rerata usia yang lebih muda, rerata berat badan yang lebih rendah, serta rerata lama menjalani hemodialisis yang lebih singkat, maka parameter-parameter kedua pemeriksaan tersebut juga berbeda termasuk hubungannya. Selain itu pada penelitian ini juga dievaluasi berbagai parameter diagnostik indeks kolapsibilitas vena kava superior dalam menentukan berat

kering pasien hemodialisis, yang dapat membantu banyak klinisi di berbagai pusat hemodialisis.

Penelitian ini menunjukkan adanya korelasi negatif sedang antara pemeriksaan BIA dengan indeks kolapsibilitas vena kava superior ($r = -0,507$, $p < 0,0001$) dengan r^2 linear = 0,375 yang menunjukkan bahwa 35,7% dari variasi indeks kolapsibilitas vena kava inferior dapat dijelaskan oleh pemeriksaan BIA, sementara sisanya oleh faktor-faktor lain. Hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian Kouw, dkk.⁹ yang mendapatkan nilai $r = 0,78$ dengan $p < 0,0005$. Korelasi yang lebih tinggi mungkin dipengaruhi oleh penggunaan alat ekografi pada penelitian tersebut, sedangkan pada penelitian ini digunakan USG. Penyebab lain yang mungkin adalah pada penelitian tersebut digunakan alat BIA multifrekuensi, sementara pada penelitian ini alat yang digunakan adalah *single frequency* BIA. Sebagaimana diketahui, dari beberapa literatur didapatkan bahwa pengukuran dengan BIA multifrekuensi lebih akurat dibandingkan *single frequency* BIA.^{21,22}

Pada penelitian ini didapatkan prevalensi subyek yang kelebihan cairan sebesar 60% dan hal ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan data prevalensi di Amerika Serikat, yaitu sebesar 10%.⁴

Harus diingat bahwa kondisi Indonesia dengan iklim tropis dan suhu yang lebih tinggi serta makanan yang lebih banyak mengandung bumbu dan garam akan membuat orang Indonesia lebih cepat haus dibandingkan di Amerika. Selain itu, komposisi tubuh orang Indonesia belum tentu sama dengan di Amerika. Pengaruh pendidikan dan status sosial-ekonomi terhadap kepatuhan berobat juga harus menjadi perhatian dan sebaiknya dapat diteliti lebih lanjut.

Dari berbagai parameter diagnostik yang didapat maka peran pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior dalam menilai berat kering pada pasien hemodialisis di sini adalah sebagai pemeriksaan skrining, karena sensitivitas yang tinggi sementara spesifitas tidak terlalu tinggi. Hal ini dapat diartikan bahwa hasil pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior tidak dapat dijadikan penentu atau patokan hasil akhir mengenai status cairan pasien dialisis. Namun, perlu untuk tetap memperhatikan tanda-tanda klinis pasien yang bersangkutan dan bilamana hasilnya meragukan perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut dengan pemeriksaan yang spesifitasnya lebih tinggi. Walaupun demikian, pada tempat-tempat dengan fasilitas yang kurang memadai, pemeriksaan ini dapat dijadikan alat bantu untuk menentukan berat kering selain dengan kemampuan klinis.

Perlu juga diingat bahwa pemeriksaan diameter vena kava inferior dengan alat USG memiliki keterbatasan, yaitu

tidak dapat digunakan pada pasien tidak sadar, pasien dengan gagal jantung, adanya kesalahan interoperator dan variabilitas hasil yang cukup besar. Dua hal pertama telah dicoba untuk dihindari dengan memasukan pada kriteria eksklusi.⁵

Mengingat adanya variabilitas interoperator itulah, maka dilakukan pengujian untuk menilai kesesuaian antara kedua orang pemeriksa pada penelitian ini dan didapatkan nilai *kappa* sebesar 92,3%. Nilai tersebut berada di antara 0,81 sampai 1 sehingga dapat dianggap sangat kuat. Nilai *kappa* tersebut menunjukkan kesepakatan antara dua observer pada penelitian ini hampir sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior tetap merupakan pemeriksaan yang cukup dapat diandalkan apabila dikerjakan oleh orang yang terlatih.

Penelitian ini merupakan penelitian pertama di Indonesia yang meneliti tentang peran pemeriksaan indeks kolapsibilitas inferior untuk menentukan berat kering pada pasien hemodialisis. Penelitian ini memberikan gambaran faktor-faktor yang mempengaruhi berat kering yang tentunya juga tidak sama dengan penelitian di negara lain. Selain itu, jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini relatif lebih banyak dibanding penelitian serupa yang membandingkan antara pemeriksaan vena kava inferior dengan analisa bioimpedansi di luar negeri dan menggunakan alat USG, sehingga lebih mewakili kondisi ketersediaan fasilitas pada pusat-pusat dialisis di Indonesia dibandingkan penelitian serupa di luar negeri.^{7,9,18} Namun demikian, penelitian ini juga memiliki keterbatasan

Sebagaimana umumnya dijumpai pada penelitian potong lintang, penelitian ini sulit untuk melakukan penilaian hubungan sebab-akibat dan kemungkinan adanya bias insidens-prevalensi.

SIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan korelasi yang cukup baik antara pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior dengan berat kering menurut pemeriksaan analisa bioimpedansi pada pasien hemodialisis. Didapatkan nilai sensitifitas sebesar 94,4% dan spesifitas sebesar 66,7%, untuk pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior. Peran pemeriksaan tersebut dalam menilai berat kering pada pasien hemodialisis tanpa gagal jantung adalah sebagai alat uji skrining yang bersifat relatif sederhana dan murah. Oleh karena itu, pemeriksaan indeks kolapsibilitas vena kava inferior perlu dipertimbangkan pada semua pasien hemodialisis yang diduga kelebihan cairan, sehingga dapat digunakan pada pusat-pusat dialisis yang tidak memiliki

atau tidak tersedia pemeriksaan analisa bioimpedansi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Locatelli F, Marcelli D, Conte F, et al. Cardiovascular disease in chronic renal failure: the challenge continues. *Nephrol Dial Transplant*. 2000;15(Suppl 5):69-80.
2. Agarwal R. Hypervolemia is associated with increased mortality among hemodialysis patients. *Hypertension*. 2010;56(3):512-7.
3. Banarjee D, Ma J, Collins A, Herzog C. Long-term survival of incident hemodialysis patients who are hospitalized for congestive heart failure, pulmonary edema, or fluid overload. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2007;2(6):1186-90.
4. Qiu Y, Liu J, Ameson T, Gilbertson D, Collins A. Potentially avoidable fluid overload treatment in hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis*. 2009;53(4):B63.
5. Jaeger J, Mehta R. Assessment of dry weight in hemodialysis: an overview. *J Am Soc Nephrol*. 1999;10(2):392-403.
6. Charra B, Laurent G, Chazot E, et al. Clinical assessment of dry weight. *Nephrol Dial Transplant*. 1996;11(Suppl 2):16-9.
7. Krause I, Birk E, Davidovits M, et al. Inferior vena cava diameter: a useful method for estimation of fluid status in children on haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant*. 2001;16(6):1203-6.
8. Wang A, Sanderson J. Current perpectives on diagnosis of heart failure in long-term dialysis patients. *Am J Kidney Dis*. 2011;57(2):308-19.
9. Kouw P, Kooman J, Cheriex E, Olthof C, de Vries P, Leunissen K. Assessment of postdialysis dry weight: A comparison of techniques. *J Am Soc Nephrol*. 1993;4(1):98-104.
10. Lameire N. Did 20 years of technological innovations in hemodialysis contribute to better patient outcomes? *Clin J Am Soc Nephrol*. 2009;4(Suppl 1):S30-40.
11. Yu S, Kim D, Oh D, Yu S, Kang E. Assessment of fluid shifts of body compartments using both bioimpedance analysis and blood volume monitoring. *J Korean Med Sci*. 2006;21(1):75-80.
12. Wabel P, Moissl U, Chamney P, et al. Towards improved cardiovascular management: the necessity of combining blood pressure and fluid overload. *Nephrol Dial Transplant*. 2008;23(9):2965-71.
13. Machek P, Jirka T, Moissl U, Chamney P, Wabel P. Guided optimization of fluid status in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2010;25(2):538-44.
14. Wizemann V, Wabel P, Chamney P, et al. The mortality risk of overhydration in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*. 2009;24(5):1574-9.
15. Lyon M, Verma M. Ultrasound guided volume assessment using inferior vena cava diameter. *Open Emerg Med J*. 2010;3:22-4.
16. Dietel T, Filler G, Grenda R, Wolfish N. Bioimpedance and inferior vena cava diameter for assessment of dialysis dry weight. *Pediatr Nephrol*. 2000;14(1-11):903-7.
17. Ando Y, Tabei K, Shiina A, Asano Y, Hosoda S. Ultrasonographic evaluation of changes in the inferior vena cava configuration during hemodialysis: relationship between the amount of water removed and the diameter of the inferior vena cava. *Ther Apher Dial*. 1985;18(2):173-9.
18. Tetsuka T, Ando Y, Oono S, Asano Y. Change in inferior vena caval diameter detected by ultrasonography during and after hemodialysis. *ASAIO J*. 1995;41(1):105-10.
19. Cheriex E, Leunissen K, Janssen J, Mooy J, van Hooff J. Echography of the inferior vena cava is a simple and reliable tool for estimation of "dry weight" in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*. 1989;4(6):563-8.
20. Chan C, McIntyre C, Smith D, Spanel P, Davies S. Combining near-subject absolute and relative measures of longitudinal hydration in hemodialysis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2009;4(11):1791-8.
21. Kotanko P, Levin N, Zhu F. Current state of bioimpedance technologies in dialysis. *Nephrol Dial Transplant*. 2008;23(3):808-12.
22. Kyle U, Bosaeus I, Lorenzo A, et al. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*. 2004;23(5):1226-43.