

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.21.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230705.1608.008\(2023-07-05\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20230705.1608.008(2023-07-05))

透析模式对终末期肾病患者心血管结局影响的研究进展*

张 军,方 利,郑小玲,张 玲 综述,赵洪雯[△],申兵冰 审校
(陆军军医大学第一附属医院肾科,重庆 400038)

[摘要] 血液透析(HD)和腹膜透析(PD)是终末期肾脏病(ESRD)患者肾脏不完全替代治疗的两种模式,其患者的生存率大致相当。残余肾功能(RRF)的快速丧失、血流动力学不稳定导致的心肌和脑缺血、间歇性HD而不是毒素的持续清除等是导致HD患者心血管疾病死亡的危险因素。PD液中葡萄糖降解产物(GDPs)和糖基化终产物(AGEs)过度吸收引起的代谢问题、液体超载和常见的低钾血症是导致PD患者心血管疾病死亡的主要因素。该文结合相关文献,就两种透析模式对ESRD患者心血管疾病不良结局的影响进行了综述。

[关键词] 腹膜透析;血液透析;心血管疾病;不良结局;死亡;综述

[中图分类号] R459.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)21-3314-05

Effect of dialysis mode on cardiovascular outcomes in patients with end stage renal disease*

ZHANG Jun, FANG Li, ZHENG Xiaoling, ZHANG Ling, ZHAO Hongwen[△], SHEN Bingbing
(Department of Nephrology, First Affiliated Hospital of Army Military Medical University, Chongqing 400038, China)

[Abstract] Hemodialysis (HD) and peritoneal dialysis (PD) are two modes of incomplete kidney replacement therapy for the patients with end-stage renal disease (ESRD), and the survival rate of the patients is roughly equivalent. The rapid loss of residual renal function (RRF), myocardial and cerebral ischemia caused by blood flow dynamic instability, and intermittent HD instead of continuous removal of toxins are the risk factors that contribute to cardiovascular disease death in the patients undergoing HD. The metabolic problems caused by excessive absorption of glucose degradation products (GDPs) and glycation end products (AGEs) in PD fluid, fluid overload and common hypokalemia are the main factors leading to cardiovascular disease death in PD patients. This paper reviews the effects of two dialysis modes on the adverse cardiovascular disease outcomes in the patients with ESRD by combining with the related literature.

[Key words] peritoneal dialysis; hemodialysis; cardiovascular disease; poor outcome; death; review

终末期肾脏病(end stage renal disease, ESRD)患者在即将进入肾脏替代治疗时,都需要从血液透析(hemodialysis, HD)和腹膜透析(peritoneal dialysis, PD)中选择适合自己的治疗方式。患者的选择大多基于医疗机构、患者生活方式及家庭照护、行业及医保等多方面因素方面进行考虑。有研究提出,两种透析模式的患者的存活率大致相同^[1]。WONG等^[2]纳入加拿大安大略省7个地区透析中心的成年ESRD患者进行回顾性队列研究,比较了以门诊方式开始HD或PD的患者,发现两组患者的生存率无明显差异,佐证了上述观点。虽然PD和HD之间的心血管疾病发病率、生存率大致相似,但是PD和HD心血管发病的相关危险因素不同。基于此,本文旨在参考现有文

献,对ESRD患者在2种不同透析模式下发生心血管疾病及不良结局的影响因素进行综述。

1 与HD相关的因素

影响ESRD透析患者心血管疾病的因素是多方面的。除了传统危险因素(如高血压、血脂异常、肥胖、吸烟、久坐不动的生活方式及胰岛素抵抗)和非传统危险因素(如贫血、慢性容量超负荷、炎症、营养不良、高尿酸血症、矿物质代谢疾病及骨骼疾病),两种透析模式自身特点也有某些特定危险因素。

1.1 HD对心脑血管相关的影响

1.1.1 对心肌的影响

HD治疗期间的超滤量引起血压变化和血流动力学波动,可能是发生亚临床心肌缺血的主要驱动因

* 基金项目:重庆市科卫联合技术创新与应用发展项目(2020FYYX129);重庆市科卫联合医学科研项目(2021MSXM201)。 作者简介:张军(1980—),副主任医师,在读硕士研究生,主要从事肾内科方面的研究。 △ 通信作者, E-mail: zhaohw212@126.com。

素。透析诱导的心肌灌注不足可通过 N-氨正电子发射断层扫描^[3-4]和动脉 MRI^[5]直接可视化,也可通过超声心动图间接检测由此产生的局部左心室功能障碍。随着 HD 的反复进行,这种缺血性损伤随着时间的推移逐渐累积,可导致左心室收缩功能降低,最终增加心脏事件和致命风险,但一项针对 PD 的急性左心室功能变化研究中未观察到上述变化^[6]。因此,与 PD 相关的血流动力学变化更少,PD 较少导致亚临床心肌缺血。

1.1.2 对脑的影响

研究证实,大脑会因血流动力学波动而出现缺血,进而导致认知功能障碍^[7]。此时,可通过改变透析中血流动力学方式来改善脑灌注的短期血流减少,以及皮质和白质的长期缺血性损伤^[8]。

1.2 HD 残余肾功能(residual renal function, RRF)下降速率

RRF 是患者生存率的重要预测指标,有助于容量状态的维持,较好的 RRF 与较低的左室肥厚率相关^[9]。开始 HD 的患者比开始 PD 的患者会更快失去 RRF。在 NECOSAD-2 研究中,研究人员对 522 例 HD 和 PD 患者进行了 1 年多的前瞻性随访,并通过尿素/肌酐清除率开展了一系列 RRF 评估,结果表明 PD 治疗的患者 RRF 更高,这种差异随着时间的推移表现得更加明显^[10]。TERUEL-BRIONES 等^[11]研究透析次数与 RRF 的关系,比较 PD 和每周 2/3 次 HD 对 RRF 的影响,结果显示,接受每周 2 次 HD 治疗的患者 RRF 减少率与 PD 患者相同。HTAY 等^[12]的研究纳入 161 例患者,平均年龄(57.9±14.1)岁,44% 为女性,33% 为糖尿病患者,平均随访(19.5±6.6)个月。在 24 个月时,患者 RRF 从基线时的(7.5±2.9) mL·min⁻¹·1.73 m⁻² 下降到(3.3±2.8) mL·min⁻¹·1.73 m⁻²。通过男性、较高的基线 RRF、较高的收缩压变异率、生物相容性更好(中性 pH、低葡萄糖降解产物)的腹膜透析液、较低的腹膜超滤和较低的透析液葡萄糖暴露能预测更好的 RRF。生物相容性溶液可使 RRF 保存效果提高 27%。腹膜超滤每增加 1 L/d 与 RRF 保存不良的 8% 相关($P=0.007$),透析液葡萄糖暴露每增加 10 g/d 与 RRF 保存不良的 4% 相关($P<0.001$)。RRF 不能通过 BMI、糖尿病、肾素血管紧张素系统抑制剂、腹膜溶质转运率或 PD 模式独立预测,在残余尿量方面也观察到了类似的结果。虽然有许多潜在因素可以解释 HD 导致 RRF 丢失更快,但治疗期间快速的容量变化和血压波动可能是关键。

1.3 HD 与透析间歇期

HD 的透析模式为 3 次/周,这种间歇性的透析模式可能是诱发心血管疾病的重要因素^[13]。液体、尿毒症毒素和电解质在透析间歇期进行性积累是心血管疾病风险增加的重要因素。前瞻性研究表明,透析间

歇期体重增加较多与透析前血压升高、超滤率较高、有症状的透析期低血压和心血管死亡风险升高有关^[14]。高超滤率与亚临床心悸眩晕和微血管缺血有关,这些因素可促进不良心脏重塑,这解释了为何过度超滤本身也与心血管事件风险增加有关^[15]。电解质和酸碱平衡的波动也可能与心血管事件风险有关,较长透析间歇期的血钾水平波动与严重心律失常和猝死有关^[16]。同时,HD 患者在较长透析间歇期后血清碳酸氢盐水平明显降低,透析前极低和极高的碳酸氢盐水平与患者较高的死亡风险有关。此外,与透析间隔 2 d 比较,间隔 3 d 血清钙和磷酸盐水平明显更高,这可能与 HD 中血清钙和磷酸盐水平的逐期变化有关。透析间歇期内液体过负荷可导致左室肥厚、心肌细胞纤维化,这与更差的临床结局相关^[17]。有研究表明这种关联也受到营养状况相互作用的影响^[18],透析间歇期血压的变异程度^[19]及较长的透析间歇期与 HD 患者心源性猝死率增加有关,表明血压波动和尿毒症毒素的积累都可导致更高的死亡率^[20]。英国肾脏注册数据库的数据显示,长透析间歇期的 HD 患者大多数在透析前发生死亡,也证实液体/尿毒症毒素积累是导致患者死亡的重要原因之一^[21]。LEE 等^[22]一项回顾性队列研究显示,接受 2 次/周或较少频次的维持性血液透析患者可能需要采用更高的超滤率以维持液体平衡,但这会导致 RRF 丧失更快,生存期更短。

2 与 PD 相关的因素

2.1 PD 与心脑血管相关的危险因素

2.1.1 葡萄糖降解产物对心血管疾病的影响

腹膜对葡萄糖的吸收是引起 PD 心血管疾病的强有力依据,其可导致严重的代谢改变,使糖尿病患者血糖不易控制,甚至可能产生肥胖。PD 液中的葡萄糖降解产物(Glucose degradation products, GDPs)也可能是不良后果的潜在驱动因素。GDPs 是在含葡萄糖透析液的热杀菌过程中形成,当被身体吸收后,会在体内形成糖基化终产物(advanced glycation end products, AGEs),GDPs 和 AGEs 可引起腹膜的解剖和功能改变,包括间皮细胞损伤、炎症、纤维化和通透性增加。随着透析时间的延长,AGEs 在腹膜间皮质、血管壁和结缔组织中积聚,最终可能降低 PD 的长期生存能力。有研究认为,AGEs 与细胞外基质的蛋白(如胶原和弹性蛋白)交联,改变其结构和功能特性,从而导致血管僵硬增加和内皮功能障碍^[23]。AGEs 还通过与诱导氧化应激和全身炎症的 AGEs 受体结合来加剧血管组织损伤^[24]。有研究认为,与标准透析液比较,低 GDPs 的透析液可以保护 RRF^[25];也有研究认为,低 GDPs 溶液可能可以减少结构性心血管改变,如左心室肥厚和内皮功能障碍^[26]。

2.1.2 PD 对脑的影响

有学者研究 PD 患者中脑血流量(cerebral blood

flow, CBF) 与认知障碍的关系^[27]: PD 前 ESRD 患者的 CBF 增加与认知功能较差有关, 主要表现在左海马体 CBF 增加; PD 后 ESRD 患者在某些认知测试领域的表现优于 PD 前。一项前瞻性队列比较了 PD 和 HD 的 ESRD 患者和非透析 ESRD 患者的 CBF 变化情况^[28]: 与健康对照组比较, 所有 ESRD 患者组的全脑区域、灰质和白质 CBF 升高($P < 0.001$); 与非透析 ESRD 患者比较, PD 和 HD 患者双侧额叶和前扣带皮质中均存在广泛区域的 CBF 下降, 而 PD 和 HD 患者 CBF 比较无明显差异; 在所有 ESRD 患者中, 全脑区域、灰质和白质的平均 CBF 与 Hb 水平呈负相关。

2.2 其他因素对 PD 患者心血管疾病的影响

除了从 PD 液中吸收 GDPs 之外, AGEs 可以在皮肤中沉积。其沉积量可通过皮肤自发荧光进行测量, 与透析液 AGEs 水平呈较低正相关, 与白人种族呈独立正相关^[29]。组织沉积还由多种因素引起, 包括饮食摄入、吸烟、高血糖和氧化应激^[30]。组织沉积与 HD 和 PD 较高心血管事件和全因死亡率相关^[31]。在透析患者中, 血清白蛋白降低 1 g/dL 与 HD 患者 47% 的死亡风险和 PD 患者 38% 的死亡风险相关。有研究显示, HD 和 PD 患者的液体超负荷 (fluid overload, FO) 患病率相似^[32-33], 这与评估 FO 合并多频生物电阻抗分析的大型回顾性队列研究 (MONDO Initiative) 报道结果一致, 即 HD 患者 FO 相关的死亡风险更高^[34]。此外, HD 患者更常见低钾血症, 患病率超过 PD 患者的 25%^[35], 这可能与饮食摄入减少^[36]、持续的钾清除、结肠钾分泌增加和腹腔葡萄糖负荷增加引起血浆胰岛素水平升高有关。低钾血症也与更低的存活率密切相关^[37], 可能与低钾血症会诱发心源性猝死, 导致腹膜炎发病率较高有关。

2.3 葡萄糖的吸收及对代谢的影响

PD 最不利的因素之一是腹膜对葡萄糖的吸收。在 PD 患者中, 每天透析液总葡萄糖负荷为 128~168 g/d, 每天葡萄糖吸收为 55~64 g/d^[38], 即使患者没有糖尿病, 也会导致高血糖和高胰岛素血症。在糖尿病患者中, 葡萄糖吸收会使糖尿病的血糖不易控制。葡萄糖吸收增加可能导致餐后高血糖和血脂异常, 较高的糖化血红蛋白水平与更差的结局有关^[39]。在某些患者中, 葡萄糖吸收可能有助于肥胖发展^[40]。在一项单中心、前瞻性、观察性队列研究中^[41], 纳入 PD 与代谢综合征相关指标预测心血管疾病、全因和心血管死亡率。结果显示, 患者全因死亡率和心血管死亡率在所有患者中明显上升, 非糖尿病患者的心血管死亡率明显上升。调整混杂因素后, COX 回归分析结果显示, 代谢综合征在所有患者 ($HR = 2.21, 95\% CI: 1.12 \sim 4.36, P = 0.022$) 和非糖尿病患者 ($HR = 2.60, 95\% CI: 1.07 \sim 6.35, P = 0.036$) 中与较高的心血管死亡率明显相关。但对于上述结论, 部分学者持否定观点^[42]。对于 PD 患者的降糖方案, 有研究纳入

两项 RCT 共 251 例糖尿病患者进行综合分析, 比较标准血糖和低血糖方案^[43], 结果显示, 干预组的糖化血红蛋白、甘油三酯、极低密度脂蛋白和载脂蛋白 B 水平明显降低, 表明有可能减少腹膜葡萄糖吸收, 并可改善接受 PD 的糖尿病患者代谢参数。

3 小结与展望

对于 ESRD 患者而言, PD 和 HD 提供不同的透析模式。从保护 RRF 和血流动力学方面而言, PD 较 HD 更有优势, 可作为肾脏替代方式的首选; 在清除尿毒症毒素方面, PD 在连续性清除与治疗时间相关毒素方面比 HD 更有优势, PD 表现出较好的早期生存率。而随着时间的推移, 随着 RRF 逐渐丢失, 容量超负荷, GDPs 和 AGEs 累积暴露量不断增加, 导致腹膜超滤衰竭, 最终影响 PD 患者的生存期。ESRD 患者在面对肾脏替代治疗时, 可根据以上因素和患者个人偏好进行权衡, 选择适合自身的替代治疗方式。

参考文献

- [1] TRINH E, CHAN C T, PERL J. Dialysis modality and survival: done to death[J]. *Semin Dial*, 2018, 31(4): 315-324.
- [2] WONG B, RAVANI P, OLIVER M J, et al. Comparison of patient survival between hemodialysis and peritoneal dialysis among patients eligible for both modalities[J]. *Am J Kidney Dis*, 2018, 71(3): 344-351.
- [3] LEE J M, HWANG D, PARK J, et al. Exploring coronary circulatory response to stenosis and its association with invasive physiologic indexes using absolute myocardial blood flow and coronary pressure[J]. *Circulation*, 2017, 136(19): 1798-1808.
- [4] ASSA S, KUIPERS J, ETTEMA E, et al. Effect of isolated ultrafiltration and isovolemic dialysis on myocardial perfusion and left ventricular function assessed with (13)N-NH3 positron emission tomography and echocardiography[J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2018, 314(3): 445-452.
- [5] BUCHANAN C, MOHAMMED A, COX E, et al. Intradialytic cardiac magnetic resonance imaging to assess cardiovascular responses in a short-term trial of hemodiafiltration and hemodialysis[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2017, 28(4): 1269-1277.
- [6] SELBY N M, MCINTYRE C W. Peritoneal dialysis is not associated with myocardial stunning[J]. *Perit Dial Int*, 2011, 31(1): 27-33.

- [7] FINDLAY M D, DAWSON J, DICKIE D A, et al. Investigating the relationship between cerebral blood flow and cognitive function in hemodialysis patients[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2019, 30(1):147-158.
- [8] POLINDER-BOS H A, GARCIA D V, KUIPERS J, et al. Hemodialysis induces an acute decline in cerebral blood flow in elderly patients[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2018, 29(4):1317-1325.
- [9] SHAFI T, JAAR B G, PLANTINGA L C, et al. Association of residual urine output with mortality, quality of life, and inflammation in incident hemodialysis patients: the choices for healthy outcomes in caring for end-stage renal disease(CHOICE) study[J]. *Am J Kidney Dis*, 2010, 56(2):348-358.
- [10] JANSEN M A, HART A A, KOREVAAR J C, et al. Predictors of the rate of decline of residual renal function in incident dialysis patients[J]. *Kidney Int*, 2002, 62(3):1046-1053.
- [11] TERUEL-BRIONES J L, FERNANDEZ-LUCAS M, RIVERA-GORRIN M, et al. Progression of residual renal function with an increase in dialysis: haemodialysis versus peritoneal dialysis[J]. *Nefrologia*, 2013, 33(5):640-649.
- [12] HTAY H, CHO Y, PASCOE E M, et al. Predictors of residual renal function decline in peritoneal dialysis patients: the *balANZ* trial[J]. *Perit Dial Int*, 2017, 37(3):283-289.
- [13] ZHANG S, MORGENSTERN H, ALBERTUS P, et al. Emergency department visits and hospitalizations among hemodialysis patients by day of the week and dialysis schedule in the United States [J]. *PLoS One*, 2019, 14(8):e220966.
- [14] FLYTHE J E, CURHAN G C, BRUNELLI S M. Disentangling the ultrafiltration rate-mortality association: the respective roles of session length and weight gain [J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2013, 8(7):1151-1161.
- [15] FLYTHE J E, KIMMEL S E, BRUNELLI S M. Rapid fluid removal during dialysis is associated with cardiovascular morbidity and mortality[J]. *Kidney Int*, 2011, 79(2):250-257.
- [16] RHEE C M. Serum potassium and the long interdialytic interval: minding the gap[J]. *Am J Kidney Dis*, 2017, 70(1):4-7.
- [17] WONG M M, MCCULLOUGH K P, BIEBER B A, et al. Interdialytic weight gain: trends, predictors, and associated outcomes in the international dialysis outcomes and practice patterns study (DOPPS) [J]. *Am J Kidney Dis*, 2017, 69(3):367-379.
- [18] KURITA N, HAYASHINO Y, YAMAZAKI S, et al. Revisiting interdialytic weight gain and mortality association with serum albumin interactions: the Japanese dialysis outcomes and practice pattern study[J]. *J Ren Nutr*, 2017, 27(6):421-429.
- [19] SARAFIDIS P A, MALLAMACI F, LOUTRADIS C, et al. Prevalence and control of hypertension by 48-h ambulatory blood pressure monitoring in haemodialysis patients: a study by the European cardiovascular and renal medicine(EURECA-m) working group of the ERA-EDTA[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2018, 33(10):1872.
- [20] RHEE C M, KALANTAR-ZADEH K. Implications of the long interdialytic gap: a problem of excess accumulation vs. excess removal? [J]. *Kidney Int*, 2015, 88(3):442-444.
- [21] FOTHERINGHAM J, FOGARTY D G, EL N M, et al. The mortality and hospitalization rates associated with the long interdialytic gap in thrice-weekly hemodialysis patients[J]. *Kidney Int*, 2015, 88(3):569-575.
- [22] LEE Y J, OKUDA Y, SY J, et al. Ultrafiltration rate, residual kidney function, and survival among patients treated with reduced-frequency hemodialysis[J]. *Am J Kidney Dis*, 2020, 75(3):342-350.
- [23] MAC-WAY F, COUTURE V, UTESCU M S, et al. Advanced glycation end products, aortic stiffness, and wave reflection in peritoneal dialysis as compared to hemodialysis[J]. *Int Urol Nephrol*, 2014, 46(4):817-824.
- [24] ARSOV S, GRAAFF R, VAN OEVEREN W, et al. Advanced glycation end-products and skin autofluorescence in end-stage renal disease: a review[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2014, 52(1):11-20.
- [25] HTAY H, JOHNSON D W, WIGGINS K J, et al. Biocompatible dialysis fluids for peritoneal dialysis[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 10:D7554.
- [26] GRANTHAM C E, HULL K L, GRAHAM-BROWN M, et al. The potential cardiovascular

- benefits of low-glucose degradation product, biocompatible peritoneal dialysis fluids; a review of the literature[J]. *Perit Dial Int*, 2017, 37(4):375-383.
- [27] CHENG B C, CHEN P C, CHEN P C, et al. Decreased cerebral blood flow and improved cognitive function in patients with end-stage renal disease after peritoneal dialysis; an arterial spin-labelling study[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(3):1415-1424.
- [28] JIANG X L, WEN J Q, ZHANG L J, et al. Cerebral blood flow changes in hemodialysis and peritoneal dialysis patients; an arterial-spin labeling MR imaging[J]. *Metametab Brain Dis*, 2016, 31(4):929-936.
- [29] VONGSANIM S, FAN S, DAVENPORT A. Comparison of skin autofluorescence, a marker of tissue advanced glycation end-products in peritoneal dialysis patients using standard and biocompatible glucose containing peritoneal dialysates[J]. *Nephrology (Carlton)*, 2019, 24(8):835-840.
- [30] RABBANI N, THORNALLEY P J. Advanced glycation end products in the pathogenesis of chronic kidney disease[J]. *Kidney Int*, 2018, 93(4):803-813.
- [31] VIRAMONTES H D, SELBY N M, TAAL M W. Skin autofluorescence and malnutrition as predictors of mortality in persons receiving dialysis; a prospective cohort study[J]. *J Hum Nutr Diet*, 2020, 33(6):852-861.
- [32] VRTOVSNIK F, VERGER C, VAN BIESEN W, et al. The impact of volume overload on technique failure in incident peritoneal dialysis patients[J]. *Clin Kidney J*, 2021, 14(2):570-577.
- [33] VAN BIESEN W, VERGER C, HEAF J, et al. Evolution over time of volume status and PD-related practice patterns in an incident peritoneal dialysis cohort[J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2019, 14(6):882-893.
- [34] DEKKER M, KONINGS C, CANAUD B, et al. Pre-dialysis fluid status, pre-dialysis systolic blood pressure and outcome in prevalent haemodialysis patients; results of an international cohort study on behalf of the MONDO initiative[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2018, 33(11):2027-2034.
- [35] SZETO C C, CHOW K M, KWAN B C, et al. Hypokalemia in Chinese peritoneal dialysis patients: prevalence and prognostic implication[J]. *Am J Kidney Dis*, 2005, 46(1):128-135.
- [36] VIROJANAWAT M, PUAPATANAKUL P, CHUENG SAMAN P, et al. Hypokalemia in peritoneal dialysis patients in Thailand: the pivotal role of low potassium intake[J]. *Int Urol Nephrol*, 2021, 53(7):1463-1471.
- [37] LEE S, KANG E, YOO K D, et al. Lower serum potassium associated with increased mortality in dialysis patients: a nationwide prospective observational cohort study in Korea[J]. *PLoS One*, 2017, 12(3):e171842.
- [38] BERNARDO A P, OLIVEIRA J C, SANTOS O, et al. Insulin resistance in nondiabetic peritoneal dialysis patients; associations with body composition, peritoneal transport, and peritoneal glucose absorption[J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2015, 10(12):2205-2212.
- [39] DUONG U, MEHROTRA R, MOLNAR M Z, et al. Glycemic control and survival in peritoneal dialysis patients with diabetes mellitus[J]. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2011, 6(5):1041-1048.
- [40] SEVINC O E, ASCI G, KIRCELLI F, et al. Relationship between glucose exposure via peritoneal dialysis solutions and coronary artery calcification in non-diabetic peritoneal dialysis patients[J]. *Int Urol Nephrol*, 2012, 44(6):1847-1853.
- [41] GU W, YI C, YU X, et al. Metabolic syndrome and mortality in continuous ambulatory peritoneal dialysis patients; a 5-year prospective cohort study[J]. *Kidney Blood Press Res*, 2019, 44(5):1026-1035.
- [42] JIANG N, QIAN J, LIN A, et al. Initiation of glucose-based peritoneal dialysis is associated with increased prevalence of metabolic syndrome in nondiabetic patients with end-stage renal disease[J]. *Blood Purif*, 2008, 26(5):423-428.
- [43] LI P K, CULLETON B F, ARIZA A, et al. Randomized, controlled trial of glucose-sparing peritoneal dialysis in diabetic patients[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2013, 24(11):1889-1900.