· 临床研究 ·

生物电阻抗矢量分析在血液透析患者中的应用价值

刘若晴[1]　王德光[2]　谢晖[1]　杨先军[3]　孙怡宁[3]　许杨[3]

[1]蚌埠医科大学护理学院，蚌埠 233000；[2]安徽医科大学第二附属医院肾脏内科，合肥 230601；[3]中国科学院合肥物质科学研究院，合肥 230031

通信作者：许杨，Email：yxu@hfcas. ac. cn

【摘要】 目的　探究生物电阻抗矢量分析（bioelectrical impedance vector analysis，BIVA）在不同年龄、不同性别血液透析（hemodialysis，HD）患者临床容量负荷和营养评估中的价值。**方法**　采用横断面研究，纳入 353 名受试者，其中 HD 患者 106 例、健康成年人 247 名。使用 InBody770 仪器获取 BIVA 参数（电阻、电抗、相位角），收集 HD 患者白蛋白、前白蛋白、血肌酐等生化指标；使用 Hotelling T^2 检验、马氏距离等方法，比较不同年龄（老年组≥65 岁、非老年组＜65 岁）、不同性别（男、女）HD 患者 95%*CI* 置信椭圆在健康人群容受椭圆（50%、75%、95%）中位置差异，同时使用独立样本 t 检验和卡方检验对比不同年龄和性别的 HD 患者生化指标、构建多元线性回归模型分析生化指标及透析信息与 BIVA 指标之间的关联。**结果**　不同性别和年龄段 HD 患者 BIVA 矢量分布存在显著差异（P＜0. 05）；HD 患者偏向健康人群容受椭圆右下方，老年 HD 患者超出 75% 比例高于非老年患者（56. 67% 比 44. 74%），老年男性 HD 患者位于 50% 容受椭圆右下边界附近；在调整性别、年龄、体重指数及原发病后，多元线性回归分析显示白蛋白、血肌酐等指标是 BIVA 参数的独立影响因素（P＜0. 05）。**结论**　BIVA 可能成为一种更加直观、全面的 HD 患者容量和营养状态评估方法。由于不同年龄和性别 HD 患者的容量和营养状态差异，临床 HD 管理需进行更为精准的容量控制与营养干预。

【关键词】　血液透析；身体成分；生物电阻抗矢量分析；水合状态；营养评估

基金项目：合肥市 2022 年度第三批市关键共性技术研发项目（GJ2022SM04）；蚌埠医科大学 2024 年度研究生科研创新计划项目（HLYC2405）

DOI：10. 3969/j. issn. 1671-2390. 2026. 09. 007

Clinical value of bioelectrical impedance vector analysis in hemodialysis patients

Liu Ruo-qing[1], *Wang De-guang*[2], *Xie Hui*[1], *Yang Xian-jun*[3], *Sun Yi-ning*[3], *Xu Yang*[3]

[1]*School of Nursing, Bengbu Medical University, Bengbu* 233000, *China*; [2]*Department of Nephrology, the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei* 230601, *China*; [3]*Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei* 230031, *China*

Corresponding author: *Xu Yang*, *Email*: *yxu@hfcas. ac. cn*

【Abstract】 Objective　To investigate the value of bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) in assessing clinical volume status and nutritional status in hemodialysis (HD) patients of different ages and sexes. **Methods**　A cross-sectional study was conducted, enrolling 353 participants, including 106 HD patients and 247 healthy adults. BIVA parameters (resistance, reactance, and phase angle) were obtained using the InBody770 device, and biochemical indicators such as albumin, prealbumin, and serum creatinine were collected from HD patients. Hotelling's T^2 test and Mahalanobis distance were used to compare the positional differences of the 95% confidence ellipses of HD patients across different age groups (elderly group ≥65 years, non-elderly group ＜65 years) and sexes (male, female), as well as their positions within the healthy reference tolerance ellipses (50%, 75%, and 95%). In addition, independent-samples t tests and chi-square tests were used to compare biochemical indicators between

HD patients of different ages and sexes. A multivariate linear regression model was constructed to analyze the associations between biochemical indicators, dialysis information, and BIVA parameters. **Results** There were significant differences in BIVA vector distribution among HD patients of different sexes and age groups ($P<0.05$). HD patients tended to be located in the lower-right area of the healthy tolerance ellipse. The proportion of elderly HD patients outside the 75% ellipse was higher than that of non-elderly patients (56.67% *vs* 44.74%), and elderly male HD patients were located near the lower-right boundary of the 50% tolerance ellipse. After adjustment for sex, age, body mass index, and primary disease, multivariate linear regression analysis showed that albumin, serum creatinine, and other indicators were independent factors affecting BIVA parameters ($P<0.05$). **Conclusion** BIVA may serve as a more intuitive and comprehensive method for assessing volume and nutritional status in HD patients. Because volume and nutritional status differ by age and sex in HD patients, more precise volume control and nutritional intervention are needed in clinical HD management.

【Key words】 Hemodialysis; Body composition; Bioelectrical impedance vector analysis; Hydration status; Nutrition assessment

Fund program: Hefei City's Key Common Technology Research and Development Project for the Third Batch of 2022 (GJ2022SM04); Bengbu Medical University 2024 Graduate Student Scientific Research Innovation Program Project (HLYC 2405)

DOI: 10.3969/j.issn.1671-2390.2026.09.007

在环境污染与人口老龄化的双重压力下，中国终末期肾病患者数量逐年增加，因其导致的血液透析（hemodialysis，HD）人数截至2023年12月已逾91.66万例[1]。HD患者残肾功能的丧失及透析治疗引发以体液失衡为核心的诸多体成分改变，直接影响透析充分性与临床结局。美国国家肾脏基金会于2020年更新的慢性肾脏病临床实践指南指出HD患者至少每月进行1次体成分评估[2]，但当前评估金标准——双能X线吸收法及同位素稀释法因成本高昂、操作复杂等不足难以在临床普及。因此，亟需推广准确、可重复且适用于常规诊疗场景的替代技术，以填补指南与临床实践间的空白。

生物电阻抗矢量分析（bioelectrical impedance vector analysis，BIVA）基于生物电阻抗测量获得的电阻（resistance，R）和电抗（reactance，Xc）并结合身高绘制容受椭圆，实现容量状态与营养评估的同步可视化[3]。综合相位角（phase angle，PhA）、矢量长度（vector length，VL）的优势，突破传统生物电阻抗对经验方程的依赖，无需将阻抗数据转换为身体隔间，在体成分评估的准确性已被Stagi等[4]和Campa等[5]验证。BIVA已应用于疾病状态的定性分析及干体重调整等定量研究[6]。然而，Campa等[7]基于4367名健康成年人进行的BIVA显示，不同年龄段两性体液分布及其他体成分均存在显著差异。因此，在基于BIVA进行调整时，若忽视年龄与性别的影响，可能导致干预措施与个体生理特征不匹配，从而影响干预效果。本研究旨在通过系统分析不同年龄段男女性HD患者的BIVA矢量图偏移特征，为基于BIVA的精准容量管理及营养干预提供线索。

对象与方法

一、研究对象

1. HD患者　连续纳入2024年11月27日至2025年3月7日在安徽医科大学第二附属医院接受HD治疗的患者。纳入标准：（1）20岁以上；（2）HD≥3个月；（3）确诊为终末期肾病；（4）每周透析3次，每次4 h；（5）签署知情同意书。排除标准：（1）恶性肿瘤；（2）身体有不可去除的金属；（3）生化信息不完整。

2. 健康人群　2025年1月17日至5月21日在合肥地区开展健康人群生物电阻抗测量。排除标准：（1）年龄<18岁；（2）妊娠或哺乳期；（3）代谢性疾病（如甲状腺疾病、糖尿病）；（4）存在高血压、心脑血管疾病、肺部疾病、恶性肿瘤、电解质紊乱或炎症性疾病；（5）体内植入电子医疗器械；（6）其他不适合测量者。所有受试者均签署知情同意书。

本研究经蚌埠医科大学伦理委员会批准（伦科批字〔2025〕第195号），遵循《赫尔辛基宣言》伦理原则。

二、研究方法

1. 分组方法　根据年龄将受试者分为老年组（≥65岁）和非老年组（<65岁）。健康人群中老年

组 87 名、非老年组 160 名；HD 患者中老年组 30 例、非老年组 76 例。健康人群男 122 例、女 125 例，HD 患者男 55 例、女 51 例。

2. 人体成分测量　使用校准的超声波身高测量仪测量到最接近的 0.1 cm；采用 InBody 770 多频生物电阻抗分析仪（InBody Co.，Ltd.，韩国首尔）进行生物电阻抗测量，对于 HD 患者于透析结束后 15 min 内进行测量。所有受试者测量前禁食 4 h 以上，在测量前 12 h 内避免中度至高强度的身体活动和饮酒，测量前排空膀胱，测量指标包括电阻、Xc、PhA。

三、资料收集

收集的数据如下：(1)临床资料，包括年龄、性别、身高、原发病、干体重、体重指数(body mass index，BMI)、超滤量、血压、静脉压、血流量、脉搏；(2)透析后实验室检测结果：白蛋白、前白蛋白、总蛋白、尿素清除率、胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、血红蛋白、血肌酐、尿素氮等；(3)电阻、Xc、PhA。

四、生物电阻抗矢量图绘制

将 50 kHz 全身阻抗经身高标准化后得到电阻/身高、Xc/身高，以其为横纵坐标在 BIVA 软件（BIVA 2002）[8]绘制 50%、75%、95% 容受椭圆（健康人群）。PhA 计算公式为：PhA＝arctan(Xc/电阻)×180°/π，arctan 为反正切函数。

五、统计学方法

采用 SPSS 27.0、BIVA 软件，对比老年组与非老年组 HD 患者相关资料。符合正态分布的计量资料使用 $\bar{x}\pm s$ 表示，采用独立样本 t 检验；不符合正态分布的计量资料用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示，组间比较采用曼-惠特尼 U 检验；计数资料用例(%)表示，组间比较采用 χ^2 检验。为控制年龄差异可能造成的影响，采用年龄匹配进行敏感性分析，并在匹配样本中重复相关检验，确定健康人群与 HD 患者年龄无统计学差异。使用双样本 Hotelling T^2 检验评估 HD 不同组别间差异，采用 Mahalanobis 距离描述两组 BIVA 矢量均值之间的多变量距离。使用 Spearman 分析年龄与生化指标及电测量值的相关性。构建多元线性回归模型以检验生化指标、透析信息等变量与电阻/身高、Xc/身高和 PhA 的关联，调整因素包括年龄、性别、原发病和 BMI，均为双侧检验，$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结　果

一、一般资料及生化指标

共纳入 353 名受试对象，其中健康人群 247 名，年龄(58.70±10.17)岁，非老年组 160 名，年龄(51.92±4.58)岁，男 79 例、女 81 例；老年组 87 名，年龄(71.17±3.75)岁，男 43 例，女 44 例。HD 患者 106 例，年龄(57.75±12.07)岁，非老年组 76 例，年龄(52.33±9.28)岁，老年组 30 例，年龄(71.47±5.73)岁。健康人群与 HD 患者年龄比较，差异无统计学意义($P>0.05$)。(表 1)

二、年龄差异

老年 HD 患者前白蛋白、血肌酐、PhA、Xc/身高低于非老年组($P<0.05$)，其他指标差异无统计学意义($P>0.05$)。(表 2)

年龄与多项生化及电测量指标之间的相关性分析结果显示，年龄与前白蛋白(r=-0.262，P=0.007)、血肌酐(r=-0.311，P=0.001)、甲状旁腺激素(r=-0.208，P=0.001)、PhA(r=-0.468，$P<0.001$)以及 Xc/身高(r=-0.324，$P<0.001$)均呈显著负相关。(表 3)

表 1　健康人群与 HD 患者年龄及性别比较

Tab 1　Comparison of age and sex between the healthy population and HD patients

组别	例数	年龄(岁，$\bar{x}\pm s$)	男性[例(%)]	年龄比较 P 值	性别比较 P 值
全体样本				0.477	0.754
HD 患者	106	57.75±12.07	55(51.9)		
健康人	247	58.70±10.17	122(49.4)		
非老年(<65 岁)				0.716	0.743
HD 患者	76	52.33±9.28	40(52.6)		
健康人	160	51.92±4.58	79(49.4)		
老年(≥65 岁)				0.794	>0.999
HD 患者	30	71.47±5.73	15(50.0)		
健康人	87	71.17±3.75	43(49.4)		

注：HD 为血液透析。

表2　老年与非老年HD患者一般资料及生物电阻抗指标（n=106）

Tab 2　General characteristics and bioelectrical impedance indicators of elderly and non-elderly HD patients（n=106）

项目	老年HD组（n=30）	非老年HD组（n=76）
年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）	71.47±5.73	52.33±9.28[c]
身高（m，$\bar{x}\pm s$）	1.62±0.06	1.65±0.07
性别[例（%）]		
男性	15（50.0）	40（52.6）
女性	15（50.0）	36（47.4）
原发病[例（%）]		
糖尿病肾脏疾病	6（20.0）	11（14.5）
高血压肾病	14（46.7）	26（34.2）
肾小球肾炎	5（16.7）	29（38.2）
多囊肾病	1（3.3）	2（2.6）
其他	4（13.3）	8（10.5）
透析史（月，$\bar{x}\pm s$）	68.20±60.56	85.60±71.47
干体重[kg，$M(Q_1,Q_3)$]	59.40（51.00，67.10）	61.00（51.63，68.98）
上机收缩压（mmHg，$\bar{x}\pm s$）	144.47±23.07	135.51±20.34
上机舒张压（mmHg，$\bar{x}\pm s$）	76.73±11.37	78.08±10.27
静脉压[mmHg，$M(Q_1,Q_3)$]	107.5（93.0，128.0）	115.5（95.8，135.0）
血流量（mL/min，$\bar{x}\pm s$）	259.00±18.45	264.34±14.91
上机脉搏（次/min，$\bar{x}\pm s$）	77.30±10.77	78.96±10.27
BMI（kg/m^2，$\bar{x}\pm s$）	23.76±8.96	25.52±8.83
透析量（mL，$\bar{x}\pm s$）	2390.00±1002.88	2564.97±830.81
白蛋白[g/L，$M(Q_1,Q_3)$]	41.05（39.10，43.13）	42.11（41.50，43.90）
前白蛋白[mg/L，$M(Q_1,Q_3)$]	288.5（247.00，300.10）	300.12（281.50，324.50）[a]
总蛋白[g/L，$M(Q_1,Q_3)$]	67.62（64.50，71.40）	67.62（66.03，71.10）
高密度脂蛋白[mmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	0.95（0.82，1.12）	0.95（0.79，0.95）
总胆固醇[mmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	4.01（3.43，4.81）	4.11（3.57，4.46）
三酰甘油[mmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	1.75（1.31，2.49）	2.27（1.50，6.80）
血肌酐[μmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	307.50（208.00，319.90）	319.86（285.50，359.30）[b]
尿酸[μmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	98.5（75.0，107.2）	107.2（85.5，112.0）
尿素清除率[%，$M(Q_1,Q_3)$]	70.70（70.64，74.05）	70.70（68.67，73.31）
血尿素氮[mmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	7.48（5.57，7.73）	7.73（6.67，8.22）
甲状旁腺激素[ng/L，$M(Q_1,Q_3)$]	276.5（174.0，338.7）	338.7（191.5，426.5）
PhA（°，$\bar{x}\pm s$）	4.65±0.89	5.54±1.06[c]
R/H（ohm/m，$\bar{x}\pm s$）	392.96±81.87	402.15±80.98
Xc/H（ohm/m，$\bar{x}\pm s$）	31.21±8.55	37.65±8.80[c]
C反应蛋白[mg/L，$M(Q_1,Q_3)$]	5.5（1.3，8.6）	3.2（1.2，8.6）
低密度脂蛋白[mmol/L，$M(Q_1,Q_3)$]	2.15（1.87，2.46）	2.15（1.89，2.23）

注：HD为血液透析；BMI为体重指数；PhA为相位角；R/H为身高标准化电阻；Xc/H为身高标准化电抗。1 mmHg=0.133 kPa；[a]P<0.05；[b]P<0.01；[c]P<0.01。

图2显示，与健康人群参考分布相比，HD患者的阻抗矢量整体向右下方偏移。表4分析显示，老年与非老年HD患者以及男性与女性HD患者的BIVA矢量分布均差异存在统计学意义（P<0.05）。老年HD患者超出75%容受椭圆边界的比例高于非老年HD患者（56.67%比44.74%），分别为17例和34例。

三、性别相关差异

男性身高、血流量、透析量、C反应蛋白、血肌酐、尿酸、血尿素氮、PhA均显著高于女性（P<0.05），总胆固醇、低密度脂蛋白、尿素清除率、电阻/身高、Xc/身高显著低于女性（P<0.05），其他指标差异无统计学意义。（表5）

在HD患者平均阻抗矢量图中，除老年男性HD患者靠近50%容受椭圆右下边界外（均值矢量为330.38，27.62），老年女性（455.54，34.81）、非老年女性（456.48，41.12）和非老年男性（353.26，34.51）的平均矢量均位于健康人群50%椭圆范围内。男女老年组的平均矢量均比非老年组更偏向右侧。老年男性的平均矢量沿长轴偏向下方。

表3　HD患者年龄与生化指标及BIVA相关指标的相关性分析

Tab 3　Correlations of age with biochemical indicators and BIVA-related parameters in HD patients

指标	男性r(n=55)	女性r(n=51)	全部(n=106)
白蛋白(g/L)	-0.231	-0.034	-0.102
前白蛋白(mg/L)	-0.300[a]	-0.262	-0.262[a]
总蛋白(g/L)	-0.014	-0.026	0.004
C反应蛋白(mg/L)	0.145	0.056	0.082
甲状旁腺激素(ng/L)	-0.284[a]	-0.112	-0.208[a]
血红蛋白(g/L)	-0.068	-0.124	-0.090
三酰甘油(mmol/L)	-0.181	-0.188	-0.160
血肌酐(μmol/L)	-0.328[a]	-0.288[a]	-0.311[a]
尿酸(mmol/L)	0.121	-0.284[a]	-0.119
低密度脂蛋白(mmol/L)	0.087	-0.075	0.038
总胆固醇(mmol/L)	0.114	-0.232	-0.024
高密度脂蛋白(mmol/L)	0.013	0.084	0.047
尿素清除率(%)	0.210	0.103	0.197
血尿素氮(mmol/L)	-0.096	-0.200	-0.157
PhA(°)	-0.493[a]	-0.452[a]	-0.468[a]
R/H(ohm/m)	-0.004	-0.195	-0.018
Xc/H(ohm/m)	-0.373[a]	-0.402[a]	-0.324[a]
VL(ohm/m)	-0.078	-0.229	-0.071

注：表中数据为Spearman相关系数(r)；PhA为相位角；R/H为身高标准化电阻；Xc/H为身高标准化电抗；VL为矢量长度；[a]表示相关性具有统计学意义。

表4　HD患者不同亚组阻抗矢量分布的差异分析

Tab 4　Comparative analysis of impedance vector distribution in different subgroups of HD patients

组别	例数	T^2	F值	D	P值
HD老年组与HD非老年组	106	16.8	8.3	0.88	＜0.001
HD老年男性组与HD非老年男性组	55	8.8	4.3	0.90	0.018
HD老年女性组与HD非老年女性组	51	8.6	4.2	0.90	0.021
HD男性组与HD女性组	106	91.4	45.2	1.86	＜0.001

注：HD为血液透析；T^2为Hotelling T^2检验统计量；F值为F统计量；D为马氏距离。

四、多元线性回归结果

在调整性别、年龄、BMI及原发病等混杂因素后，多元线性回归分析结果显示，白蛋白、尿素清除率及血肌酐水平均与PhA呈正相关，转铁蛋白与PhA负相关。上机脉搏和血红蛋白与电阻/身高呈正相关，而性别与电阻/身高呈负相关；白蛋白和尿素清除率与Xc/身高呈正相关，而年龄和性别与Xc/身高呈负相关；血红蛋白及上机脉搏与VL呈正相关，而性别、BMI、血肌酐与VL呈负相关，上述差异均具有统计学意义(P＜0.05)。(表6)

讨　论

目前临床评估HD患者容量状况主要依赖于血压监测、透析间期体重变化及水肿观察等传统方式。血压监测因其快速、低廉的特点被作为透析过程中不可或缺的指标，但近年来的研究中对其在容量评估上的可靠性提出质疑[9]。Moissl等[10]发现，容量超负荷的HD患者中仅部分伴高血压，仍有相当比例血压正常或偏低，提示血压与容量状态并不完全一致，且血压单独用于指导容量状态及干体重调整存在局限，过度脱水还可能增加容量不足及相关不良结局的风险[11]。临床上依赖透析间期体重增长来估算目标超滤量[12]，准确性和灵敏度较低，增加心血管并发症风险，而传统水肿评估手段无法识别隐匿性水肿。在营养评估中，传统指标白蛋白半衰期长[13]、主观营养综合评估主观性强。相较之下，BIVA具有无创、可重复、客观、准确性高等优势，可同时评估细胞完整性和水化状态，能早期识别水肿发生，已广泛应用于HD患者容量和营养管理[6]。Piccoli等[14]将健康人群75%、50%容受椭圆作为正常水化和营养状态标准，Nieves等[6]据此调整干重和营养补充方案，6个月后患者状态显著改善。此外，作为BIVA中反映细胞结构和功能的重要参数，PhA已被证实能有效预测早期营养不良[15]。

本研究结果显示，HD患者的阻抗矢量整体偏向健康人群容受椭圆的右下方，提示部分患者可能存在水合状态增加及软组织细胞量减少的特征。两性在Xc/身高、PhA和VL上的差异与既往研究一致[16]，这主要是由于男女脂肪与肌肉组成的不同。

进一步分析发现，老年HD患者的阻抗矢量偏移更为明显，同时伴随PhA、前白蛋白和血肌酐水平下降。低PhA与心血管事件、住院等不良预后密切相关[17-18]，而老年HD患者的矢量偏移特征与Piccoli等[19]提出的容量超负荷和营养不良模式一致，其原因可能在于老年患者在炎症、氧化应激、代谢性酸中毒及营养摄入不足综合影响下肌肉合成减少、分解增加，脂肪比例增加[20-21]，引起细胞外水比例升高[22]，使得矢量向恶病质水肿方向偏移。

此外，在老年组内部存在明显性别差异。老年男性阻抗矢量显著向下偏移，提示容量超负荷与营养不良风险并存，而老年女性的矢量主要向右偏移，较非老年组更为明显，反映其营养不良风险更高，与以往研究一致[23]。老年男性出现更明显的矢量下移可能由临床评估局限性与生理病理因素共同作

表5　男性与女性HD患者一般资料及生物电阻抗指标比较(n=106)

Tab 5　General characteristics and bioimpedance parameters of male and female hd patients(n=106)

指标	男性HD患者(n=55)	女性HD患者(n=51)
年龄(岁,$\bar{x}\pm s$)	56.67±11.60	58.90±12.56
身高[m,$M(Q_1,Q_3)$]	1.68(1.65,1.72)	1.59(1.56,1.63)[c]
原发病[例(%)]		
糖尿病肾脏疾病	11(20.0)	6(11.8)
高血压肾病	23(41.8)	17(33.3)
肾小球肾炎	16(29.1)	18(35.3)
多囊肾病	5(9.1)	7(13.7)
其他	0(0.0)	3(5.9)
透析史(月,$\bar{x}\pm s$)	82.47±62.34	77.76±70.20
干体重[kg,$M(Q_1,Q_3)$]	66.00(60.40,75.00)	56.00(48.75,61.00)[c]
上机收缩压(mmHg,$\bar{x}\pm s$)	139.22±22.62	137.14±20.53
上机舒张压(mmHg,$\bar{x}\pm s$)	79.35±11.03	75.78±9.99
静脉压[mmHg,$M(Q_1,Q_3)$]	120.0(100.0,134.0)	110.0(89.5,129.5)
血流量[mL/min,$M(Q_1,Q_3)$]	260.00(260.00,280.00)	260.00(260.00,260.00)[b]
上机脉搏(次/min,$\bar{x}\pm s$)	79.05±9.65	77.88±11.20
BMI(kg/m^2,$\bar{x}\pm s$)	24.15±8.82	26.62±8.13
透析量(mL,$\bar{x}\pm s$)	2773.27±929.97	2220.41±739.36[b]
白蛋白[g/L,$M(Q_1,Q_3)$]	42.11(40.95,43.80)	42.11(40.50,44.05)
前白蛋白[mg/L,$M(Q_1,Q_3)$]	300.12(272.50,306.00)	300.12(277.00,319.00)
总蛋白[g/L,$M(Q_1,Q_3)$]	67.54(64.95,70.20)	68.60(67.27,72.10)
血红蛋白[g/L,$M(Q_1,Q_3)$]	109.38(104.00,113.50)	111.00(105.00,119.50)
C反应蛋白[mg/L,$M(Q_1,Q_3)$]	5.6(1.7,10.2)	3.3(1.1,8.6)[a]
低密度脂蛋白[mmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	2.15(1.80,2.15)	2.15(2.00,2.59)[a]
高密度脂蛋白[mmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	0.95(0.79,0.95)	0.95(0.81,1.09)
总胆固醇[mmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	3.94(3.41,4.15)	4.24(3.85,4.91)[b]
三酰甘油[mmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	1.80(1.23,4.79)	2.22(1.56,4.65)
血肌酐[μmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	319.86(319.86,392.5)	297.00(201.50,319.90)[c]
尿酸[μmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	107.23(97.00,116.50)	101.00(76.00,107.20)[b]
尿素清除率[%,$M(Q_1,Q_3)$]	70.70(66.46,70.70)	72.83(70.70,77.75)[c]
血尿素氮[mmol/L,$M(Q_1,Q_3)$]	7.73(7.34,8.55)	7.73(5.43,7.73)[b]
甲状旁腺激素[ng/L,$M(Q_1,Q_3)$]	338.70(165.50,431.50)	338.70(224.00,365.00)
PhA(°,$\bar{x}\pm s$)	5.50±1.14	5.06±0.99[a]
R/H(ohm/m,$\bar{x}\pm s$)	347.02±56.22	457.53±63.12[c]
Xc/H(ohm/m,$\bar{x}\pm s$)	32.63±8.24	39.20±9.11[c]

注：1 mmHg=0.133 kPa；HD为血液透析；BMI为体重指数；PhA为相位角；R/H为身高标准化电阻；Xc/H为身高标准化电抗；与男性HD患者比较，[a]P<0.05；[b]P<0.01；[c]P<0.001。

用：传统容量评估指标灵敏度有限，难以反映隐匿的容量变化[9]；肌肉流失加速[24]导致细胞外液比例升高，加剧慢性容量超负荷。此外，糖尿病肾脏疾病比例偏高[25]，也可能促成这一明显偏移。

本研究的多元线性回归分析进一步证实了BIVA在HD患者容量与营养评估中的应用价值。在控制性别、年龄、BMI及原发病等关键混杂因素后，BIVA相关参数与生化指标之间的关联仍保持统计学稳定性，提示其作为HD患者容量与营养评估工具具有良好的独立性与可靠性。该方法在一定程度上克服了血压、血清白蛋白等单一传统指标在隐匿性容量异常和早期营养不良识别中的局限，为临床综合评估及分层管理提供了更具信息量和可操作性的客观依据。在Piccoli等的基础上，本研究进一步比较了本地区不同年龄段及性别HD患者的阻抗矢量状态，为制定更具针对性的个体化治疗和管理方案提供了数据支持。基于以上发现，为降低HD患者病死率、改善生存质量，应加强体成分检测

表 6　HD 患者生物电阻抗矢量指标与一般资料的多元线性回归分析

Tab 6　Multivariate linear regression analysis of bioelectrical impedance vector indicators and general characteristics

因素	PhA			R/H			Xc/H			VL		
	β值	SE值	P值	β值	SE值	P值	β值	SE值	P值	β值	SE值	P值
年龄	-0.021	0.012	0.071	-0.974	0.737	0.190	-0.216	0.098	0.030	-1.494	1.154	0.199
性别	0.038	0.210	0.856	-72.542	13.351	<0.001	-5.748	1.768	0.002	-88.417	20.897	<0.001
原发病	0.049	0.100	0.626	4.121	6.393	0.521	0.454	0.846	0.593	5.852	10.006	0.560
BMI	0.036	0.028	0.197	-6.914	1.783	<0.001	-0.350	0.236	0.142	-11.137	2.790	<0.001
透析史	0.002	0.001	0.247	-0.014	0.087	0.871	0.011	0.012	0.347	-0.006	0.137	0.967
上机收缩压	0.002	0.005	0.684	-0.526	0.337	0.122	-0.037	0.045	0.411	-0.783	0.527	0.141
上机舒张压	-0.007	0.010	0.465	-0.388	0.634	0.542	-0.090	0.084	0.290	-0.678	0.992	0.496
静脉压	-0.003	0.003	0.223	0.057	0.175	0.745	-0.021	0.023	0.364	0.172	0.274	0.533
血流量	0.009	0.006	0.146	0.116	0.402	0.774	0.061	0.053	0.256	0.412	0.629	0.514
上机脉搏	-0.009	0.010	0.404	1.792	0.650	0.007	0.075	0.086	0.385	3.041	1.017	0.004
总蛋白	0.000	0.012	0.979	0.011	0.766	0.989	0.009	0.101	0.926	0.126	1.198	0.916
白蛋白	0.136	0.032	<0.001	-2.360	2.067	0.257	0.760	0.274	0.007	-4.304	3.236	0.187
前白蛋白	0.003	0.002	0.120	0.036	0.119	0.763	0.028	0.016	0.082	0.115	0.190	0.539
转铁蛋白	-0.087	0.036	0.017	2.096	2.273	0.360	-0.473	0.301	0.120	4.095	3.558	0.253
血清铁蛋白	-0.001	0.001	0.221	-0.084	0.043	0.053	-0.008	0.006	0.143	-0.126	0.067	0.064
三酰甘油	0.001	0.001	0.302	-0.022	0.077	0.770	0.004	0.010	0.681	-0.043	0.120	0.721
低密度脂蛋白	-0.251	0.229	0.275	-8.803	14.564	0.547	-1.760	1.928	0.364	-18.870	22.795	0.410
总胆固醇	0.061	0.156	0.696	7.591	9.948	0.448	0.926	1.317	0.484	14.321	15.569	0.361
高密度脂蛋白	-0.164	0.369	0.658	-9.346	23.487	0.692	-1.861	3.109	0.551	-13.880	36.760	0.707
尿素清除率	0.041	0.021	0.050	2.126	1.316	0.110	0.453	0.174	0.011	2.594	2.059	0.212
血红蛋白	-0.007	0.007	0.299	1.051	0.455	0.024	0.032	0.060	0.602	1.535	0.712	0.034
血尿素氮	-0.045	0.078	0.563	7.300	4.967	0.146	0.216	0.658	0.743	14.433	7.774	0.067
血肌酐	0.006	0.002	0.002	-0.211	0.119	0.079	0.022	0.016	0.165	-0.414	0.186	0.029
C反应蛋白	0.004	0.008	0.660	-0.351	0.535	0.514	-0.039	0.071	0.587	-0.643	0.837	0.445
甲状旁腺激素	0.000	0.000	0.743	0.019	0.024	0.444	0.002	0.003	0.580	0.037	0.038	0.327
尿酸	-0.002	0.002	0.350	-0.121	0.153	0.432	-0.026	0.020	0.209	-0.197	0.239	0.412

注：BMI为体重指数；PhA为相位角；R/H为身高标准化电阻；Xc/H为身高标准化电抗；VL为矢量长度；β为回归系数；SE为标准误；*P*值均为双侧检验结果，保留3位小数。

与干体重管理，结合BIVA结果调整治疗方案，并配合合理运动和营养补充，延缓肌肉流失，改善营养状况，同时应在诊疗路径中融入分层、分年龄段、分性别的管理理念，借助BIVA辅助实现个体化精准医疗。此外，未来还需聚焦以下方向：首先，构建透析量与阻抗矢量位移的动态关系以优化透析处方；其次，扩大样本量制定适用于不同人群的BIVA参考标准，提高其适用性；最后，深入分析药物和透析模式等干扰因素对矢量分布的影响，以全面提高BIVA在临床监测中的准确性与可靠性。

利益冲突　所有作者均声明没有利益冲突

参　考　文　献

[1] 中国医师协会肾脏内科医师分会. 中国医师协会肾脏内科医师分会2024年学术年会[C]. 太原, 2024.
Chinese Medical Doctor Association, Chinese Nephrologist Association. Annual Meeting of Chinese Nephrologist Association 2024[C]. Taiyuan, 2024.

[2] Ikizler TA, Burrowes JD, Byham-Gray LD, et al. KDOQI clinical practice guideline for nutrition in CKD: 2020 update[J]. Am J Kidney Dis, 2020, 76(3 Suppl 1): S1-S107. DOI: 10.1053/j.ajkd.2020.05.006.

[3] Piccoli A, Codognotto M, Piasentin P, et al. Combined evaluation of nutrition and hydration in dialysis patients with bioelectrical impedance vector analysis (BIVA)[J]. Clin Nutr, 2014, 33(4): 673-677. DOI: 10.1016/j.clnu.2013.08.007.

[4] Stagi S, Irurtia A, Rosales Rafel J, et al. Segmental body composition estimated by specific BIVA and dual-energy X-ray absorptiometry[J]. Clin Nutr, 2021, 40(4): 1621-1627. DOI: 10.1016/j.clnu.2021.02.043.

[5] Campa F, Matias CN, Marini E, et al. Identifying athlete body fluid changes during a competitive season with bioelectrical impedance vector analysis[J]. Int J Sports Physiol Perform, 2020, 15(3): 361-367. DOI: 10.1123/ijspp.2019-0285.

[6] Nieves-Anaya I, Várgas MB, García OP, et al. Effect of oral nutritional supplementation combined with impedance vectors

for dry weight adjustment on the nutritional status, hydration status and quality of life in patients on chronic hemodialysis: a pilot study[J]. Clin Nutr ESPEN, 2023, 54: 23-33. DOI: 10.1016/j.clnesp.2022.12.023.

[7] Campa F, Coratella G, Cerullo G, et al. New bioelectrical impedance vector references and phase angle centile curves in 4, 367 adults: The need for an urgent update after 30 years[J]. Clin Nutr, 2023, 42(9): 1749-1758. DOI: 10.1016/j.clnu.2023.07.025.

[8] Piccoli A, Pastori G. BIVA Software[M]. Department of Medical and Surgical Sciences, University of Padova, Padova, Italy, 2002.

[9] 李勰家, 袁芳, 刘虹. 血液透析患者容量评估新进展[J]. 中南大学学报(医学版), 2021, 46(7): 759-766. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200783.
Li XJ, Yuan F, Liu H. Progress in volume assessment for the hemodialysis patients[J]. J Cent South Univ Med Sci, 2021, 46(7): 759-766. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7347.2021.200783.

[10] Moissl U, Fuentes LR, Hakim MI, et al. Prevalence of fluid overload in an urban US hemodialysis population: a cross-sectional study[J]. Hemodial Int, 2022, 26(2): 264-273. DOI: 10.1111/hdi.12986.

[11] Lazarus B, Davies SJ, Polkinghorne KR. Volume assessment in patients undergoing long-term dialysis[J]. J Am Soc Nephrol, 2025, 36(6): 1184-1196. DOI: 10.1681/ASN.00000 00724.

[12] 国家卫生健康委办公厅. 血液净化标准操作规程(2021 版): 国卫办医函〔2021〕552 号[Z]. 2021.
General Office of National Health Commission. Standard operating procedures for blood purification (2021 edition): Guo Wei Ban Yi Han [2021] No. 552 [Z]. 2021.

[13] El Alami El Hassani N, Akrichi MA, Bajit H, et al. Investigation of accordance between nutritional assessment tools, and bio-electrical impedance-derived phase angle, with the global leadership initiative on malnutrition criteria in hemodialysis patients[J]. Clin Nutr ESPEN, 2024, 62: 260-269. DOI: 10.1016/j.clnesp.2024.05.027.

[14] Piccoli A, Rossi B, Pillon L, et al. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph[J]. Kidney Int, 1994, 46(2): 534-539. DOI: 10.1038/ki.1994.305.

[15] Torregrosa PP, Llanos AC, Torralbo AD, et al. #3116 Energy protein wasting syndrome and phase angle: a predictive binomial of morbidity and mortality in hemodialysis[J]. Nephrol Dial Transplant, 2025, 40(Supplement_3): gfaf116.1778. DOI: 10.1093/ndt/gfaf116.1778.

[16] Pillon L, Piccoli A, Lowrie EG, et al. Vector length as a proxy for the adequacy of ultrafiltration in hemodialysis[J]. Kidney Int, 2004, 66(3): 1266-1271. DOI: 10.1111/j.1523-1755.2004.00881.x.

[17] Zeng Y, Xu Y, Zhang B, et al. Clinical prognostic role of bioimpedance phase angle in diabetic and non-diabetic hemodialysis patients[J]. Asia Pac J Clin Nutr, 2022, 31(4): 619-625. DOI: 10.6133/apjcn.202212_31(4).0005.

[18] Beberashvili I, Azar A, Sinuani I, et al. Bioimpedance phase angle predicts muscle function, quality of life and clinical outcome in maintenance hemodialysis patients[J]. Eur J Clin Nutr, 2014, 68(6): 683-689. DOI: 10.1038/ejcn.2014.67.

[19] Piccoli A, Brunani A, Savia G, et al. Discriminating between body fat and fluid changes in the obese adult using bioimpedance vector analysis[J]. Int J Obes, 1998, 22(2): 97-104. DOI: 10.1038/sj.ijo.0800551.

[20] Zicarelli M, Duni A, Leivaditis K, et al. Comprehensive insights into sarcopenia in dialysis patients: mechanisms, assessment, and therapeutic approaches[J]. Medicina (Kaunas), 2025, 61(3): 449. DOI: 10.3390/medicina61030449.

[21] Deger SM, Hung AM, Gamboa JL, et al. Systemic inflammation is associated with exaggerated skeletal muscle protein catabolism in maintenance hemodialysis patients[J/OL]. JCI Insight, 2017, 2(22): e95185. DOI: 10.1172/jci.insight.95185.

[22] Wang J, Pierson RN. Disparate hydration of adipose and lean tissue require a new model for body water distribution in man[J]. J Nutr, 1976, 106(12): 1687-1693. DOI: 10.1093/jn/106.12.1687.

[23] Chen ZQ, Luo L, Chen XX, et al. Dietary nutrient intake and nutritional status in maintenance hemodialysis patients: a multicenter cross-sectional survey[J]. Ren Fail, 2024, 46(2): 2363589. DOI: 10.1080/0886022X.2024.2363589.

[24] Zhou HY, Xie G, Luo LY, et al. Age- and sex-related trends in body composition among Beijing adults aged 20 - 60years: a cross-sectional study[J]. BMC Public Heal, 2023, 23(1): 1519. DOI: 10.1186/s12889-023-16459-0.

[25] 徐缘钊, 祁爱蓉, 徐彩, 等. 糖尿病肾脏疾病血液透析患者与非糖尿病肾脏疾病血液透析患者人体成分测定分析[J]. 临床肾脏病杂志, 2019, 19(6): 392-395. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2390.2019.06.002.
Xu YZ, Qi AR, Xu C, et al. Assessment of body composition in hemodialysis patients with DKD and hemodialysis patients with non-DKD[J]. J Clin Nephrol, 2019, 19(6): 392-395. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2390.2019.06.002.

（收稿日期：2025-09-29）