· 论著 ·

# 离心式及膜式双重血浆分子吸附系统联合低剂量血浆置换治疗肝衰竭的对比分析

胡艳[1] 朱帮强[1] 王海婧[1] 杨鹏[1] 许伟[1] 卞茂红[1] 张骏飞[2] 达珍[3] 刁玉洁[1]

(1. 安徽医科大学第一附属医院 输血科,安徽 合肥 230032;2. 安徽医科大学第一附属医院 感染科,安徽 合肥 230032;3. 西藏山南市人民医院 检验科,西藏 山南,856000)

**摘要:目的** 探究离心式及膜式双重血浆分子吸附系统(DPMAS)联合低剂量血浆置换在肝衰竭中的应用效果和安全性。**方法** 回顾性分析 2024 年 4 月至 2025 年 6 月本院收治的肝衰竭患者共 60 例,根据血浆分离方式不同,分为离心式 DPMAS 组(30 例)和普通膜式 DPMAS 组(30 例)。比较 2 组运行参数、实验室指标及不良反应等方面的区别。**结果** 在吸附及置换相同血浆量的条件下($P$ 均>0.05),离心式组总循环血量、全血流速和治疗时间均低于膜式组[10 794(9 532,12 637) *vs.* 19 000(19 000,21 000) mL,60(60,65) *vs.* 125(120,130) mL/min,169(141,193) *vs.* 207(183,210) min,$P$ 均<0.001];离心式组中心静脉导管穿刺率更低[(24/30,80.00%) *vs.* (30/30,100.00%),$P$=0.024];离心式组使用枸橼酸钠溶液抗凝,需要补充更多钙剂[6(6,8) *vs.* 2(2,2) g,$P$<0.001]。离心式组治疗前后 WBC、Hb、HCT 和 PLT 均未见明显变化($P$ 均>0.05);膜式组治疗前后 WBC 无统计学差异($P$=0.199),但治疗后 Hb、HCT 和 PLT 值较治疗前均有明显下降[106.50(102.75,126.75) *vs.* 123.00(109.75,132.00) g/L,33.20(29.90,34.92) *vs.* 34.85(31.55,37.52)%,85.00(43.25,139.50) *vs.* 93.00(61.50,145.00)×$10^9$/ L,$P$ 均<0.05]。离心式组治疗前后凝血功能指标均无统计学差异($P$ 均>0.05);膜式组 Fib 在治疗后下降[1.50(1.20,1.60) *vs.* 1.60(1.25,1.80) g/L,$P$=0.033]。2 组患者治疗后 TBil、DBil 均显著下降[离心式:194.70(107.50,276.00) *vs.* 239.15(173.00,304.17) μmol/L,101.00(64.00,182.30) *vs.* 157.00(101.00,195.00) μmol/L;膜式:211.50(118.00,240.00) *vs.* 263.50(204.75,314.00) μmol/L,188.00(122.75,232.25) *vs.* 219.00(178.50,267.25) μmol/L,$P$ 均<0.05]。离心式组患者导管相关并发症发生率较低[(2/30,6.67%) *vs.* (8/30,26.67%),$P$=0.038]。**结论** 离心式 DPMAS 组具有血流速度要求低、治疗耗时短、对血小板影响小、不良事件发生率低等优点,具有较好的应用前景。

**关键词:**肝衰竭;双重血浆分子吸附系统;离心;膜;血浆置换

**中图分类号:**R575.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-549X(2026)7-0859-08

DOI:10.13303/j.cjbt.issn.1004-549x.2026.07.007

**Comparative analysis of centrifugal and membrane double plasma molecular adsorption systems combined with low-dose plasma exchange in the treatment of liver failure**

*HU Yan*[1], *ZHU Bangqiang*[1], *WANG Haijing*[1], *YANG Peng*[1], *XU Wei*[1], *BIAN Maohong*[1], *ZHANG Junfei*[2], *DA Zhen*[3], *DIAO Yujie*[1].

1. *Department of Blood Transfusion, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei* 230032, *China*; 2. *Infectious Diseases Department, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei* 230032, *China*; 3. *Shannan People's Hospital, Clinical Laboratory, Shannan* 856000, *China*.

*Co-corresponding authors: DIAO Yujie, Email: yfy*1271997@*fy.ahmu.edu.cn*; *DA Zhen, Email*: 1391148630@*qq.com*

**Abstract: Objective** To investigate the efficacy and safety of centrifugal and membrane double plasma molecular adsorption systems (DPMAS) combined with low-dose plasma exchange in the treatment of liver failure. **Methods** A retrospective analysis was performed on 60 patients with liver failure treated in our hospital from April 2024 to June 2025. Based on different plasma separation methods, they were divided into the centrifugal DPMAS group ($n$=30) and the conventional membrane DPMAS group ($n$=30). The operational parameters, laboratory indicators, and adverse reactions were compared between the two groups. **Results** Under the same plasma volume for adsorption and exchange ($P$>0.05), the centrifugal

**基金项目:**西藏自治区自然科学基金组团式援藏医学项目[XZZR202402010(W)]

**第一作者简介:**胡艳(1991-),女,主治医师,Email:yfyz00299@fy.ahmu.edu.cn;**共同通信作者:**刁玉洁,Email:yfy1271997@fy.ahmu.edu.cn;达珍,Email:1391148630@qq.com

group showed lower total circulating blood volume, total blood flow rate, and treatment duration compared to the membrane group [10 794(9 532,12 637) *vs* 19 000(19 000,21 000)mL, 60(60,65) *vs* 125(120,130)mL/min, 169(141,193) *vs* 207(183,210)min, $P<0.001$]. The centrifugal group also had a lower rate of central venous catheter use[(24/30, 80.00%) *vs* (30/30,100.00%), $P=0.024$] and required more calcium supplementation due to sodium citrate anticoagulation [6(6,8) *vs* 2(2,2)g, $P<0.001$]. No significant changes were observed in WBC, Hb, HCT, and PLT levels before and after treatment with the centrifugal group ($P>0.05$). There was no statistically significant difference in WBC levels before and after membrane group treatment ($P=0.199$), but the values of Hb, HCT, and PLT showed significant decreases post-treatment compared to pre-treatment [106.50(102.75,126.75) *vs* 123.00(109.75,132.00)g/L, 33.20(29.90, 34.92) *vs* 34.85(31.55,37.52)%, 85.00(43.25,139.50) *vs* 93.00(61.50,145.00)×$10^9$/L, $P<0.05$]. There was no significant difference in coagulation function indexes before and after treatment with centrifugal group ($P>0.05$). The membrane group showed reduction in fibrinogen (Fib) levels post-treatment [1.50(1.20,1.60) *vs* 1.60(1.25,1.80)g/L, $P=0.033$]. Both groups demonstrated significant decreases in total bilirubin (TBil) and direct bilirubin (DBil) levels after treatment (centrifugal group:194.70(107.50,276.00) *vs* 239.15(173.00,304.17)μmol/L, 101.00(64.00,182.30) *vs* 157.00(101.00,195.00)μmol/L; membrane group:211.50(118.00,240.00) *vs* 263.50(204.75,314.00) μmol/L, 188.00(122.75,232.25) *vs* 219.00(178.50,267.25) μmol/L, $P<0.05$]. The incidence of catheter-related complications was lower in the centrifugal group [(2/30,6.67%) *vs* (8/30,26.67%), $P=0.038$]. **Conclusion** The centrifugal DPMAS system demonstrates advantages such as lower blood flow velocity requirements, shorter treatment duration, minimal impact on platelets, and reduced adverse event rates, indicating promising clinical applications.

**Key words**:liver failure; double plasma molecular adsorption system; centrifugation; membrane; plasma exchange

双重血浆分子吸附系统(double plasma molecular adsorption system,DPMAS)是肝衰竭患者的重要支持治疗,其分离血浆方式一般分为膜滤过式和离心式两种[1]。传统 DPMAS 是采用膜滤过式血浆分离技术,通过空心纤维滤器实现血浆分离,可滤过血浆中的高分子量蛋白,不能滤过血细胞成分,这种方式要达到一定的跨膜压力才能满足血浆滤过的需求,患者需建立中心静脉置管通道,并且血浆提取率低,溶血、滤器凝血等并发症发生率较高。而离心式 DPMAS 是根据血液中血细胞与血浆成分密度比重差异,利用梯度离心原理将血浆和血细胞分离,避免了膜滤过式分离血浆造成的风险[2]。

目前,DPMAS 治疗大多采用的是传统膜式血浆分离技术[3],对于离心式 DPMAS 联合低剂量血浆置换在国内外均罕有文献报道。本文通过回顾性分析对比离心式及膜式 DPMAS 联合低剂量血浆置换在对肝衰竭患者血常规、凝血功能、生化功能及不良反应等方面的差异,从治疗效果、时效性、安全性等方面综合评价离心式 DPMAS 的优势,为此项新技术临床应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

本研究为一项回顾性队列分析。回顾 2024 年 4 月至 2025 年 6 月在本院行 DPMAS 治疗的肝功能衰竭患者 60 例,其中男 39 例,女 21 例。根据血浆分离方式不同将患者分为 2 组:离心式 DPMAS 联合低剂量血浆置换组患者 30 例,其中男 18 例,女 12 例,中位年龄为 54 岁;膜式 DPMAS 联合低剂量血浆置换组患者 30 例,其中男 21 例,女 9 例,中位年龄为 59 岁。离心式 DPMAS 组是用血细胞分离机分离血浆后进行胆红素吸附和血液灌流,膜式 DPMAS 组是用血浆分离器分离出血浆后进行胆红素吸附和血液灌流,之后均再联合低剂量血浆置换治疗。纳入标准:1)符合肝衰竭诊治指南 2024 年版[4]中肝衰竭诊断标准;2)接受 DPMAS 治疗。排除标准:1)精神疾病患者,无法配合正常治疗;2)因不耐受治疗过程中途停止者;3)存在严重活动性出血者;4)血流动力学不稳定者。

### 1.2 试剂与仪器

肝素注射液(上海上药第一生化药业有限公司,2 mL:12 500 U,批号:2402106)、10%葡萄糖酸钙注射液(山东齐都药业有限公司,批号:1H24080702)、氯化钠注射液(广东大冢制药有限公司,批号:23E0602)、抗凝血用 4%枸橼酸钠溶液(四川南格尔生物技术有限公司,200 mL:8g)。血细胞分离机(美国泰尔茂,型号:Spectra Optia),血液净化机(珠海健帆,型号 DX-10),一次性使用血细胞分离器(美国泰尔茂,型号:10226),一次性使用血液回路导管(天津哈娜好医材有限公司,型号:

BLS-701K-ZY10),膜型血浆分离器(日本旭化成医疗公司,型号:PE-08),一次性使用血浆胆红素吸附器(健帆生物科技集团股份有限公司,型号:BS330),一次性使用血液灌流器(健帆生物科技集团股份有限公司,型号:HA330-Ⅱ),一次性使用无菌血液透析用中心静脉导管(广东百合医疗科技股份有限公司,型号:双腔 11.5Fr-18cm),一次性使用动静脉穿刺针(大连澳华医用高分子器材有限公司,型号:16 G),一次性使用防针刺静脉留置针(苏州林华医疗器械股份有限公司,型号:18 G)。

**1.3** 方法

**1.3.1** 膜式 DPMAS

DX-10 机选择血浆吸附程序,安装管路,将膜型血浆分离器置于第 1 个夹持器上,将 BS330 与 HA330-Ⅱ串联置于第 2 个夹持器上。3 000 mL 肝素生理盐水预冲管路,设置吸附目标量为 5 000 mL、肝素泵中肝素浓度为 625 U/mL,首剂量 62.5~125.0 U/kg 静脉注射,维持剂量 1 250~2 500 U/h 泵入,温度为 37.5℃,分浆比 FP/BP 设定为 0.2~0.3,血泵速度为 100~130 mL/min 等。连接病人置管的动静脉端,开始治疗[5]。待吸附到 5 000 mL 目标血浆量后,打开弃浆通路,夹闭吸附通路,用新鲜冰冻血浆作为置换液进行低剂量血浆置换。

**1.3.2** 离心式 DPMAS

Spectra Optia 血细胞分离机选择血浆置换程序,安装血细胞分离管路,用 250 mL 生理盐水预冲管路。夹闭弃浆通路,将分离出血浆的通路旋钮拧开,接入用肝素生理盐水预冲好的 BS330 与 HA330-Ⅱ串联吸附柱,再将吸附处理后的血浆作为置换液输入患者体内。连接病人置管的动静脉端,开始治疗。设置全血流速 50~70 mL/min,抗凝剂与全血比例 1∶(12~14),待吸附到 5 000 mL 目标血浆量后,打开弃浆通路,夹闭吸附通路,用新鲜冰冻血浆作为置换液进行低剂量血浆置换。治疗全程常规静脉滴注 10%葡萄糖酸钙 6 g 预防低钙血症。

**1.4** 分析指标

**1.4.1** 一般情况资料

比较 2 组患者在性别、年龄、病程、疾病类型及病情严重程度(Child-Pugh 评分)等方面的差异。

**1.4.2** 运行参数

总血浆量(total plasma volume,TPV)= 0.065×体重(kg)×(1−血细胞比容),血浆处理 TPV 倍数=(吸附血浆量+去除血浆量)/TPV。比较 2 组治疗方式在吸附血浆量、置换血浆量、总循环血量、血浆处理 TPV 倍数、全血流速、治疗时间、血管通路方式、抗凝剂类型及补钙量等方面的差异。

**1.4.3** 实验室指标

患者治疗前后检验标本的采血时间均不超过 2 h。比较 2 组患者治疗前后在血常规(白细胞 WBC、血红蛋白 Hb、血细胞比容 HCT、血小板 PLT),凝血功能(凝血酶原时间 PT、国际标准化比值 PT-INR、活化部分凝血活酶时间 APTT、纤维蛋白原含量 Fib),生化(总蛋白 TP、白蛋白 ALB、球蛋白 GLO、总胆红素 TBil、直接胆红素 DBil、间接胆红素 IBil、碱性磷酸酶 ALP、γ-谷氨酰转移酶 GGT、钙 Ca)等方面差异。

**1.4.4** 不良反应

比较 2 组出现导管相关并发症(穿刺部位血肿、局部感染、血栓形成等)、破膜、溶血、低血压、低钙血症及过敏等不良反应发生率的差异。

**1.5** 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。正态性检验采用 Shapiro-Wilk 检验,方差齐性检验采用 Levene 检验。对于正态分布满足方差齐性的计量资料用($\bar{x}\pm s$)表示,2 组之间比较采用两独立样本 $t$ 检验,组内治疗前后比较采用配对 $t$ 检验。对于非正态分布计量资料用中位数(四分位数间距)$M$($P_{25}$,$P_{75}$)表示,2 组之间(包括变化幅度)比较采用 Wilcoxon Mann-Whitney $U$ 检验,组内治疗前后比较采用配对 Wilcoxon 符号秩和检验;计数资料用率(%)表示,2 组之间比较采用 $\chi^2$ 检验或 Fisher 确切概率法。$P<0.05$ 时差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1** 基本情况比较

2 组患者在性别、年龄、疾病类型及病情严重程度(Child-Pugh 评分)等方面差异均无统计学意义($P$ 值均>0.05)(表 1)。

**2.2** 2 组患者运行参数比较

离心式组和膜式组患者胆红素吸附和血浆置换的血浆量基本相同,血浆处理 TPV 倍数差异无统计学意义($P$ 值均>0.05);在吸附及置换相同血浆的条件下,离心式组总循环血量、全血流速和治疗时间均较膜式组更低($P$ 值均<0.001);离心式组中有 6 例(20.00%)治疗使用了外周静脉穿刺,较膜式组中心静脉导管使用率更低,差异有统计学

意义($P$=0.024);膜式组使用肝素注射液抗凝,用量 14(12.5,16)mL,而离心式组使用枸橼酸钠溶液抗凝,用量 825(728,997)mL,治疗中需要进行更多的钙剂补充($P$<0.001)(表 2)。

**表 1　2 组患者基本情况资料比较**

**Table 1　Comparison of basic information of patients between two groups**

| | 总病例数 | 离心式组 | 膜式组 | 统计值 | $P$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 性别(男/女) | 39/21 | 18/12 | 21/9 | 0.659* | 0.417 |
| 年龄(岁) | 56(41.75,65.75) | 54(38.5,64.75) | 59(47.25,66) | −0.622Δ | 0.534 |
| 病程(d) | 10(7,19) | 10(5,120) | 10(7,15) | −0.041Δ | 0.967 |
| 疾病类型($n$,%) | | | | | 0.137# |
| 急性肝衰竭 | 21(35.00) | 14(46.67) | 7(23.33) | | |
| 慢加急性肝衰竭 | 34(56.67) | 13(43.33) | 21(70.00) | | |
| 亚急性/慢性肝衰竭 | 5(8.33) | 3(10.00) | 2(6.67) | | |
| Child-Pugh 评分(分) | 8.40±1.15 | 8.26±1.01 | 8.53±1.28 | −0.894& | 0.375 |

*$\chi^2$ 检验,统计值为 $\chi^2$ 值;# Fisher 确切概率法;ΔWilcoxon Mann-Whitney $U$ 检验,统计值为 $Z$ 值;& 独立样本 $t$ 检验,统计值为 $t$ 值。

**表 2　2 组患者治疗参数比较**

**Table 2　Comparison of treatment parameters between the two groups**

| | 离心式组 | 膜式组 | 统计值 | $P$ 值 |
|---|---|---|---|---|
| 吸附血浆量(mL) | 5 000(4 100,5 412) | 5 000(5 000,5 000) | −0.514Δ | 0.607 |
| 置换血浆量(mL) | 1 000(918,1 000) | 1 000(925,1 000) | −0.099Δ | 0.921 |
| 去除血浆量(mL) | 1 073(1 000,1 334) | 1 075(987,1 100) | −1.468Δ | 0.142 |
| 血浆处理 TPV 倍数 | 2.19(2.07,2.30) | 2.21(2.04,2.30) | −0.193Δ | 0.847 |
| 总循环血量(mL) | 10 794(9 532,12 637) | 19 000(19 000,21 000) | −6.682Δ | <0.001 |
| 全血流速(mL/min) | 60(60,65) | 125(120,130) | −6.762Δ | <0.001 |
| 治疗时间(min) | 169(141,193) | 207(183,210) | −4.613Δ | <0.001 |
| 血管通路方式($n$,%) | | | | 0.024# |
| 中心静脉导管 | 24(80.00) | 30(100.00) | | |
| 外周静脉穿刺 | 6(20.00) | 0(0.00) | | |
| 抗凝剂类型($n$,%) | | | | <0.001# |
| 枸橼酸钠 | 30(100.00) | 0(0.00) | | |
| 肝素 | 0(0.00) | 30(100.00) | | |
| 葡萄糖酸钙量(g) | 6(6,8) | 2(2,2) | −7.198Δ | <0.001 |

# Fisher 确切概率法;ΔWilcoxon Mann-Whitney $U$ 检验,统计值为 $Z$ 值。

**2.3**　2 组患者治疗前后实验室指标比较

在血常规方面:离心式组 WBC、Hb、HCT 和 PLT 治疗前后均未见明显变化($P$ 值均>0.05);膜式组治疗前后 WBC 无变化($P$=0.199),但 Hb、HCT 和 PLT 较治疗前均明显下降($P$ 值均<0.05)(表 3)。在凝血功能方面:离心式组治疗前后凝血功能所有指标差异均无统计学意义($P$ 值均>0.05);膜式组治疗后 Fib 较治疗前明显下降($P$=0.033)(表 4)。在生化指标方面:2 组患者治疗后 TP、ALB、TBil、DBil、ALP 和 GGT 均显著下降($P$ 值均<0.05),且下降幅度比较差异无统计学意义($P$ 值均>0.05);2 组患者血钙水平治疗前后无差异($P$ 值均>0.05)(表 5)。

**表 3　2 组患者治疗前后血常规指标比较**

**Table 3　Comparison of complete blood counts before and after treatment between the two groups**

| | 离心式组 | | $Z$ 值 | $P$ 值 | 膜式组 | | $Z$ 值 | $P$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 治疗前 | 治疗后 | | | 治疗前 | 治疗后 | | |
| WBC(×10⁹/L) | 10.52(6.47,13.12) | 10.17(7.50,15.50) | −1.718 | 0.086 | 7.10(5.05,10.17) | 6.85(4.87,13.32) | −1.286 | 0.199 |
| Hb(g/L) | 87.50(71.75,102.00) | 82.00(66.00,99.00) | −1.629 | 0.103 | 123.00(109.75,132.00) | 106.50(102.75,126.75) | −3.015 | 0.003 |
| HCT(%) | 25.75(21.50,27.95) | 24.00(20.55,28.80) | −1.925 | 0.054 | 34.85(31.55,37.52) | 33.20(29.90,34.92) | −3.190 | 0.001 |
| PLT(×10⁹/L) | 77.50(31.75,121.50) | 77.00(48.00,104.00) | −0.281 | 0.779 | 93.00(61.50,145.00) | 85.00(43.25,139.50) | −3.261 | 0.001 |

**表 4　2 组患者治疗前后凝血功能比较**

**Table 4　Comparison of coagulation function between the two groups of patients before and after treatment**

| | 离心式组 | | $Z$ 值 | $P$ 值 | 膜式组 | | $Z$ 值 | $P$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 治疗前 | 治疗后 | | | 治疗前 | 治疗后 | | |
| PT(s) | 20.15(16.60,23.95) | 20.30(17.00,23.50) | −1.006 | 0.314 | 19.20(16.30,27.40) | 21.10(17.15,25.75) | −0.319 | 0.750 |
| PT-INR | 1.77(1.32,2.13) | 1.76(1.39,2.02) | −1.202 | 0.230 | 1.45(1.10,2.10) | 1.45(1.30,2.05) | −0.391 | 0.696 |
| APTT(s) | 41.95(37.50,54.15) | 42.20(38.57,50.75) | −0.144 | 0.886 | 43.90(35.75,48.50) | 45.15(39.85,62.40) | −1.409 | 0.159 |
| Fib(g/L) | 1.56(1.29,2.43) | 1.63(1.14,2.35) | −1.697 | 0.090 | 1.60(1.25,1.80) | 1.50(1.20,1.60) | −2.129 | 0.033 |

**表 5 2 组患者治疗前后生化指标比较**

**Table 5 Comparison of biochemical indicators between the two groups of patients before and after treatment**

| | 离心式组 | | Z 值 | P 值 | 膜式组 | | Z 值 | P 值 | 2 组变化幅度比较 Z 值 | 2 组变化幅度比较 P 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 治疗前 | 治疗后 | | | 治疗前 | 治疗后 | | | | |
| TP(g/L) | 51.75 (46.97,57.95) | 50.80 (44.00,54.00) | −1.996 | 0.046 | 53.20 (45.75,57.25) | 48.50 (43.75,53.25) | −2.850 | 0.004 | −0.030 | 0.976 |
| ALB(g/L) | 30.00 (27.00,35.40) | 29.00 (26.92,32.00) | −2.207 | 0.027 | 29.00 (27.10,31.20) | 27.30 (22.00,30.20) | −2.879 | 0.004 | −0.961 | 0.336 |
| GLO(g/L) | 20.00 (16.00,27.20) | 21.25 (18.00,25.15) | −0.097 | 0.922 | 22.90 (16.80,28.30) | 21.50 (17.75,25.00) | −0.647 | 0.518 | − | − |
| TBil(μmol/L) | 239.15 (173.00,304.17) | 194.70 (107.50,276.00) | −2.898 | 0.004 | 263.50 (204.75,314.00) | 211.50 (118.00,240.00) | −4.752 | <0.001 | −1.789 | 0.074 |
| DBil(μmol/L) | 157.00 (101.00,195.00) | 101.00 (64.00,182.30) | −2.763 | 0.006 | 219.00 (178.50,267.25) | 188.00 (122.75,232.25) | −4.185 | <0.001 | −0.911 | 0.362 |
| IBil(μmol/L) | 34.00 (18.50,69.00) | 29.00 (12.40,44.00) | −1.512 | 0.130 | 22.00 (16.20,28.25) | 21.50 (17.75,25.00) | −0.647 | 0.518 | − | − |
| ALP(U/L) | 123.50 (98.00,256.75) | 112.50 (85.00,154.75) | −2.726 | 0.006 | 175.00 (107.75,203.00) | 135.50 (96.75,202.00) | −2.898 | 0.004 | −0.251 | 0.802 |
| GGT(U/L) | 121.00 (65.25,226.00) | 84.00 (49.50,157.00) | −3.826 | <0.001 | 107.50 (65.75,188.00) | 93.00 (53.75,131.25) | −3.979 | <0.001 | −1.064 | 0.287 |
| Ca(mmol/L) | 2.00 (1.90,2.10) | 2.10 (1.90,2.10) | −0.998 | 0.318 | 2.00 (1.89,2.10) | 2.00 (1.89,2.00) | −0.524 | 0.600 | − | − |

### 2.4 不良反应

离心式组导管相关并发症(穿刺部位血肿、局部感染、血栓形成等)发生率低于膜式组,差异有统计学意义($P=0.038$)。2 组在破膜、溶血、低血压、低钙反应和过敏反应等不良反应率方面差异无统计学意义($P$ 值均>0.05)(表 6)。

**表 6 2 组治疗方式不良反应比较**

**Table 6 Comparison of adverse reactions between the two groups**

| | 离心式组(n,%) | 膜式组(n,%) | $\chi^2$ 值 | P 值 |
|---|---|---|---|---|
| 导管相关并发症 | 2(6.67) | 8(26.67) | 4.320* | 0.038 |
| 破膜、溶血 | 0(0.00) | 3(10.00) | | 0.237# |
| 低血压 | 2(6.67) | 2(6.67) | | 1.000# |
| 低钙反应 | 4(13.33) | 1(3.33) | | 0.353# |
| 过敏反应 | 2(6.67) | 3(10.00) | | 1.000# |

*$\chi^2$ 检验,统计值为 $\chi^2$ 值;# Fisher 确切概率法。

## 3 讨论

肝衰竭治疗包括内科治疗、人工肝支持治疗和肝移植。内科治疗虽有一定的临床疗效,但不能快速有效清除体内有毒物质;肝移植难以找到匹配的肝源且移植费用极其昂贵,所以人工肝 DPMAS 技术在临床上得到了广泛应用[4,6]。传统膜式 DPMAS 是用高分子聚合物制成的膜型血浆分离器分离血浆,可滤过高分子量蛋白,不能滤过血细胞成分;离心式 DPMAS 是利用血细胞离心分离技术作为一级血浆分离方式,用离心式血细胞分离机代替膜型血浆分离器,利用血液成分的密度差异,通过梯度离心原理把全血分离成血浆和血细胞,实现血浆分离、细胞分层[7]。两种方法分离出的血浆随即进入阴离子交换树脂 BS330 胆红素吸附柱和中性大孔树脂 HA-330 血液灌流器处理,其他有效成分如白蛋白等回输到患者体内,之后再联合低剂量血浆置换补充凝血因子[8]。胆红素吸附柱能特异性吸附胆红素、胆汁酸,改善肝功能指标,明显缓解临床症状;血液灌流器能特异性吸附炎性介质、细胞因子等毒素。离心式 DPMAS 的临床适应证同膜式 DPMAS,适用于各种原因导致的肝功能衰竭、重度高胆红素血症、高胆汁酸血症、肝性脑病、肝移植围术期治疗及合并严重肝损伤的脓毒症、MODS 等患者[9]。

本研究中 2 组患者在一般情况资料(性别、年龄、疾病类型、Child-Pugh 评分)等方面基本一致,因部分离心式组患者病程时间过长,所以用中位数表示代表性有限。结果发现,在吸附联合序贯置换相同血浆量的情况下,离心式组的总循环血量、全血流速和耗时都会更少。离心式组采用血细胞分离机分离血浆,可最大限度将血浆与血细胞分开,分浆效率可达 83.2%,从而获得更高的血浆流量[10],而膜式组血浆分离器分浆效率仅为 20%~30%,血浆分离率较低。离心式组对全血流速要求低,减少了不必要的中心静脉导管留置,对于血管条件佳的患者仅需 16G 动静脉穿刺针在肘正中静脉等外周血管穿刺即可建立通路,满足治疗的血流要求,医护人员操作更加便捷[11]。

本研究结果显示,离心式组 WBC、Hb、HCT 和 PLT 治疗前后均未见明显变化,但膜式组治疗后 Hb、HCT 和 PLT 明显下降。有文献报道[12],离心式分离的血小板下降幅度显著低于膜式分离(中位数:10.4%比 17.0%;$P=0.003$),这可能与离心式血浆分离的低剪切力特性,减少对红细胞和血小板的机械性损伤有关[13],膜式组依赖膜型血浆分离器滤膜分离血浆,通过特定孔径滤膜截留细胞成分实现分离,组织相容性较差,在滤过过程中高剪切力环境易破坏血细胞形态和结构,对血液成分 Hb 和 PLT 的损耗更大[14],而且膜式组应用肝素抗凝不仅会抑制血小板聚集,还可能会潜在诱导血小板减少,增加危重患者出血风险,如皮肤瘀斑、鼻衄及肺出血等[15]。临床上选择 DPMAS 治疗血浆分离方式时,应充分考虑对血液成分产生的影响,严密监测血常规变化,对于本身 Hb、HCT 或 PLT 减低的患者,更加倾向于选择离心式血浆分离方式下的 DPMAS 治疗,尽量减少血液成分的丢失。离心式组对系统性抗凝需求低,采用单纯 4%枸橼酸体外循环抗凝即可完成治疗过程,代谢速度快,对体内正常凝血功能状态影响较小,降低出血风险[16]。Keklik 等[17]研究发现,离心式血浆置换术前术后患者的全血细胞计数和凝血功能指标均未见显著变化,这与本文研究结果相互支持。本研究还发现,膜式组治疗后 Fib 含量较治疗前下降,离心式组前后变化不明显,这可能与膜型血浆分离器膜表面或膜孔隙中吸附了 Fib,或非特异性截留了 Fib 等大分子蛋白,造成 Fib 含量下降有关,Ohkubo 等[18]的研究也证实了这一点;但因膜式组 Fib 含量的中位数仅从 1.60 g/L 降至 1.50 g/L,变化微小,在样本量不大的情况下可出现差异显著,今后还需扩大样本量证实此结果。2 组患者治疗后 TP 和 ALB 均发生相同幅度的下降,表明 2 种治疗方式均可能导致一定程度的总蛋白和白蛋白丢失;由于离心式组 TP 中位数下降幅度仅 0.95 g/L,ALB 中位数下降幅度 1g/L,虽有统计学差异,但绝对变化小,临床影响可能有限。2 组患者治疗后 TBil 和 DBil 水平均显著下降,且 TBil 下降幅度无明显差异,表明不同血浆分离方式不会对 TBil 和 DBil 等致病性物质的清除效果产生差异[19]。

本研究中,离心式组中 20%的患者采用外周静脉直接穿刺而未留置中心静脉导管,减少了中心静脉透析导管穿刺率,降低了因中心静脉导管置管引起的并发症,如穿刺部位血肿、局部感染或血管血栓栓塞狭窄等。本研究结果发现,膜式组破膜/溶血等并发症发生率为 10%,一是红细胞变形能力强,在压力下可能会穿过滤膜导致渗漏溶血,降低血浆纯度[20];二是血浆分离器分离血浆时,血栓形成造成膜内压升高或体外循环血量不足所导致的[21]。本研究中离心式组有 4 例患者出现口周或四肢远端麻木感、手足搐搦等低钙反应临床表现,这与枸橼酸抗凝剂螯合钙离子,导致血清离子钙浓度降低有关,另外序贯血浆置换补充的新鲜冰冻血浆中含有枸橼酸成分,更可能增加低钙血症的发生概率[22]。在治疗过程中一旦患者主诉出现低钙反应症状时,立即加快静脉输注葡萄糖酸钙注射液的速度,必要时加大剂量,所有患者的不适症状均可快速好转[23],治疗后复查血钙水平与治疗前相比持平,且未观察到因低钙而发生或加重肝性脑病的病例。因此在离心式 DPMAS 治疗过程中需严密监测血钙、适量补充钙剂,以提高治疗安全性。

离心式 DPMAS 技术作为新型 DPMAS 模式临床可行,具有明显技术优势和经济学效益,包括血流量要求低、血浆分离效率高、治疗用时短、红细胞不易破坏、血小板损耗低、系统性抗凝需求低、不良反应少及治疗耗材费用低(不使用昂贵的血浆分离器)等,且具有与膜式 DPMAS 相当的总胆红素清除效率,弥补了现有膜式分离技术的不足,从而更好地为临床服务,具有一定的推广应用价值。然而本研究尚存在一定局限性,本文为单中心回顾性、非随机对照研究,部分患者资料不全,样本量不大,可能存在混杂因素在组间分布不均衡的问题,或存在选择偏倚而影响结果;本研究更多的是从技术层面及短期临床疗效来比较两种方式的不同,今后需进行多中心前瞻性对照研究,扩大样本量进一步验证本文结论,从长期临床疗效来分析两者在改善患者总体预后及生存时间等方面是否存在差异,以及在其他疾病领域的应用价值。医务人员需充分评估患者血管条件、实验室指标、不良反应、操作性和经济性等多方面因素,综合考虑后选择最适合患者的 DPMAS 模式。

**利益冲突说明/Conflict of Interests**

所有作者均声明不存在利益冲突。

**伦理批准及知情同意/Ethics Approval and Patient Consent**

本研究通过经安徽医科大学第一附属医院伦理委员会(伦理审批号:PJ2025-12-42)。本研究纳入的所有患者,其本人及家属均签署了知情同意书。

**作者贡献/Authors' Contribution**

胡艳:数据采集与统计、论文初稿撰写;朱帮强、王海婧:治疗操作与护理;杨鹏、许伟:研究方案设计;卞茂红、张骏飞:论文修改;达珍、刁玉洁:论文终审与校对。

## [参考文献]


[1] WAITZ G, ATIYE S, GAULY A, et al. Comparison of plasma separation using centrifugation or filtration for MONET lipoprotein apheresis in patients with cardiovascular disease and severe dyslipidemia[J]. Ther Apher Dial, 2022, 26(6):1281-1288.

[2] MARLU R, NACIRI BENNANI H, SEYVE L, et al. Comparison of three modalities of plasmapheresis on coagulation: centrifugal, single-membrane filtration, and double-filtration plasmapheresis[J]. J Clin Apher, 2021, 36(3):408-419.

[3] YAO J, LI S, ZHOU L, et al. Therapeutic effect of double plasma molecular adsorption system and sequential half-dose plasma exchange in patients with HBV-related acute-on-chronic liver failure[J]. J Clin Apher, 2019, 34(4):392-398.

[4] 中华医学会肝病学分会重型肝病与人工肝学组,中华医学会感染病学分会肝衰竭与人工肝学组. 肝衰竭诊治指南(2024 年版)[J]. 临床肝胆病杂志, 2024, 40(12):2371-2387.
Liver Failure and Artificial Liver Group, Chinese Society of Infectious Diseases, Chinese Medical Association, Severe Liver Disease and Artificial Liver Group, Chinese Society of Hepatology, Chinese Medical Association. Guideline for diagnosis and treatment of liver failure (2024 version)[J]. J Clin Hepatol, 2024, 40(12):2371-2387.

[5] 中华医学会感染病学分会肝衰竭与人工肝学组,中华医学会感染病学分会肝衰竭与人工肝专家委员会,国家感染性疾病临床医学研究中心,等. 人工肝血液净化系统治疗指南(2023 年版)[J]. 中华临床感染病杂志, 2023, 16(6):401-411.
Liver Failure and Artificial Liver Group, Chinese Society of Infectious Diseases, Chinese Medical Association, et al. Guidelines on application of artificial liver blood purification system (version 2023)[J]. Chin J Clin Infect Dis, 2023, 16(6):401-411.

[6] TANDON R, FROGHI S. Artificial liver support systems[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2021, 36(5):1164-1179.

[7] ZHU X F, LI J Q, LIU T T, et al. A single center retrospective study:comparison between centrifugal separation plasma exchange with ACD-A and membrane separation plasma exchange with heparin on acute liver failure and acute on chronic liver failure[J]. J Clin Apher, 2024, 39(1):e22103.

[8] XU W, ZHU S, YANG L, et al. Safety and efficacy of double plasma molecular adsorption system with sequential low-volume plasma exchange in intermediate-stage hepatitis B virus-related acute-on-chronic liver failure[J]. J Med Virol, 2023, 95(3):e28650.

[9] 中国肝炎防治基金会双重血浆分子吸附系统临床应用及操作技术规范专家组. 双重血浆分子吸附系统的临床应用及操作技术规范[J]. 中华肝脏病杂志, 2024, 32(12):1073-1085.
Expert Group of Double Plasma Molecular Adsorption System for the Clinical Application and Operational Specifications in Chinese Foundation for Hepatitis Prevention and Control. Clinical application and technical operation specification of dual plasma molecular adsorption system[J]. Chin J Hepatol, 2024, 32(12):1073-1085.

[10] LAMBERT C, GERICKE M, SMITH R, et al. Plasma extraction rate and collection efficiency during therapeutic plasma exchange with Spectra Optia in comparison with Haemonetics MCS+[J]. J Clin Apher, 2011, 26(1):17-22.

[11] DONG J, HUANG L, LI C, et al. Clinical efficacy of centrifugal-membranous hybrid double filtration plasmapheresis and membranous double filtration plasmapheresis on severe lupus nephritis[J]. Lupus, 2023, 32(9):1066-1074.

[12] 李园,卢晓莲,许万藏,等. 双重血浆分子吸附系统的人工肝治疗:离心式和膜式血浆分离的有效性和安全性比较[J]. 中华肝脏病杂志, 2024, 32(12):1109-1115.
LI Y, LU X L, XU W C, et al. Comparison of the effectiveness and safety profile of centrifugal and membrane plasma separation in artificial liver therapy with a dual plasma molecular adsorption system[J]. Chin J Hepatol, 2024, 32(12):1109-1115.

[13] 周丽华,匡祖颖,叶锦龙,等. 离心式血浆分离模式下的蛋白 A 免疫吸附治疗视神经脊髓炎谱系疾病的疗效及安全性[J]. 中国神经免疫学和神经病学杂志, 2025, 32(4):291-295.
ZHOU L H, KUANG Z Y, YE J L, et al. Efficacy and safety of centrifugal plasma separation combined with protein A immunoadsorption in neuromyelitis optica spectrum disorder:a clinical analysis[J]. Chin J Neuroimmunol Neurol, 2025, 32(4):291-295.

[14] NIU L, ZHOU J, ZHAO N, et al. Safety and efficacy of DPMAS in patients with acute-on-chronic liver failure based on different platelet count levels[J]. J Clin

Apher, 2025, 40(1):e70006.

[15] MALICEV E, KOZAK M, ROZMAN P. Evaluation of a flow cytometric assay for the confirmation of heparin-induced thrombocytopenia[J]. Int J Lab Hematol, 2016, 38(3):240-245.

[16] DENG Y, XING J, TAN Z, et al. Clinical application of 4% sodium citrate and heparin in the locking of central venous catheters (excluding dialysis catheters) in intensive care unit patients:a pragmatic randomized controlled trial[J]. PLoS One, 2023, 18(7):e0288117.

[17] KEKLIK M, CELIK S, YILDIZHAN E. Comparison of centrifugal and membrane filtration modalities on therapeutic plasma exchange[J]. J Clin Apher, 2022, 37(3):217-222.

[18] OHKUBO A, OKADO T, MIYAMOTO S, et al. Fibrinogen reduction during selective plasma exchange due to membrane fouling[J]. Ther Apher Dial, 2017, 21(3):232-237.

[19] XIANG Y, LI R, CAI J, et al. Three artificial liver models of treatment of acute-on-chronic liver failure[J]. Ther Clin Risk Manag, 2024, 20:731-740.

[20] BOISSON C, NADER E, RENOUX C, et al. Shear-stress-gradient and oxygen-gradient ektacytometry in sickle cell patients at steady state and during vaso-occlusive crises[J]. Cells, 2022, 11(3):585.

[21] 潘寒寒,孟园园,王亚红,等. 急性肝衰竭人工肝系统支持发生血浆分离器破膜危险因素分析[J]. 医学理论与实践, 2023, 36(10):1739-1741.
PAN H H, MENG Y Y, WANG Y H,et al. Analysis of risk factors for plasma separator rupture in artificial liver system support for acute liver failure[J]. J Med Theory Pract, 2023, 36(10):1739-1741.

[22] BAI M, YU Y, ZHAO L, et al. Regional citrate anticoagulation versus no anticoagulation for CKRT in patients with liver failure with increased bleeding risk[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2024, 19(2):151-160.

[23] DHIR H, KUMAR D, SHAH D, et al. Efficacy of oral vs. intravenous calcium supplementation for continuation therapy in hypocalcemic seizures: a randomized, controlled trial[J]. Indian J Pediatr, 2023, 90(5):433-437.

(2026-01-05 收稿,04-21 修回,04-28 接收)

本文编辑:李宜蔓

(上接第 845 页)

[17] 赵敏. 血浆与红细胞悬液上清液中抗体效价及血浆蛋白的含量研究[J]. 中国医疗前沿, 2012, 7(24):53-54.
ZHAO M. Content research on antibody titer and plasma protein of plasma and red blood cell suspension supernatant fluid[J]. National Medical Frontiers of China, 2012, 7(24):53-54.

[18] 杨梦娇,周利,曹兴明,等. 正常 O 型人血清 ABO 血型抗体主要类别的分析[J]. 中国实验诊断学, 2013, 17(4):697-699.
YANG M J, ZHOU L, CAO X M, et al. Analysis of the major ABO blood group antibody class in type O human serum[J]. Chin J Lab Diagn, 2013, 17(4):697-699.

[19] CHEN G Y, ZHU L G, WANG S F, et al. Study on the immunological safety of universal plasma in the Chinese population in vitro[J]. Transfus Apher Sci, 2017, 56(2):171-174.

[20] 齐清,李兆杰,吴琼,等. 储存条件对长期保存 PRP 生长因子的影响[J]. 中国输血杂志, 2025, 386):759-765.
QI Q, LI Z J, WU Q, et al. Effect of storage conditions on long-term preservation of PRP growth factors[J]. Chin J Blood Transfusion, 2025, 386):759-765.

(2025-12-11 收稿,2026-03-30 修回,05-08 接收)

本文编辑:李宜蔓