

## • 临床研究 •

## 2 种不同面积培养皿对人脐带间充质干细胞收获量和生物学特性的影响

李华丽, 阳 莉, 林惠珠, 卢建溪<sup>△</sup>

(中山大学附属第三医院生物治疗中心, 广东 广州 510000)

**[摘要]** **目的** 探讨 2 种不同面积培养皿对人脐带间充质干细胞(hUC-MSCs)收获量和生物学特性的影响。**方法** 采集 4 条新鲜脐带, 采用组织块法分离脐带组织, 分别用底面直径 15 cm(A 组)和底面直径 10 cm(B 组)的培养皿进行贴壁培养, 收集原代细胞, 比较 2 组平均面积原代细胞收获量。每株细胞实验重复 5 次, 取中间 3 个实验结果计算平均值。分别收集细胞培养至 P1 代和 P2 代, 统计 2 组细胞收获量并绘制增殖曲线, 检测表面标志物、三系分化潜能和免疫调节能力。**结果** A 组单位面积收获的原代细胞量 $[(29\ 030.00 \pm 568.30)\text{cm}^{-2}]$ 明显高于 B 组 $[(14\ 799.25 \pm 409.30)\text{cm}^{-2}]$ , 差异有统计学意义( $P < 0.001$ )。A、B 组 T 淋巴细胞增殖[分别为 $(3.05 \pm 0.90)\%$ 、 $(3.00 \pm 1.23)\%$ ]均低于对照组 $[(13.36 \pm 2.11)\%]$ , 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。A、B 组 P2 代次的 Th1 型细胞因子 TNF- $\alpha$  比例[分别为 $(9.96 \pm 4.45)\%$ 、 $(9.91 \pm 3.36)\%$ ]均低于对照组 $[(37.84 \pm 11.51)\%]$ , 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。A、B 组 Th1 细胞分泌的细胞因子 IFN- $\gamma$ [分别为 $(0.72 \pm 0.18)\%$ 、 $(0.78 \pm 0.32)\%$ ]均低于对照组 $[(3.09 \pm 0.70)\%]$ , 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。A、B 组 P2 代次的 Th17 型细胞因子 IL-17A[分别为 $(0.21 \pm 0.13)\%$ 、 $(0.20 \pm 0.08)\%$ ]均低于对照组 $[(1.88 \pm 0.37)\%]$ , 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。A、B 组 CD4<sup>+</sup>CD25<sup>+</sup>FoxP3<sup>+</sup> 细胞比例[分别为 $(2.41 \pm 0.32)\%$ 、 $(2.69 \pm 0.40)\%$ ]均高于对照组 $[(0.51 \pm 0.10)\%]$ , 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。**结论** 相同接种密度条件下, 直径 15 cm 培养皿单位面积收获的原代细胞量更多, 优化了培养过程的效率和经济性, 减少了塑料制品的消耗, 保护了环境。

**[关键词]** 人脐带间充质干细胞; 培养皿面积; 细胞收获量; 生物学功能; 免疫调节能力

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2026.03.022

中图法分类号:R329.2;Q813.1+1

文章编号:1009-5519(2026)03-0590-07

文献标识码:A

### Effects of two different culture dish areas on the harvest volume and biological characteristics of mesenchymal stem cells

LI Huali, YANG Li, LIN Hui Zhu, LU Jianxi<sup>△</sup>

(Biotherapy Center, The Third Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510000, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the effects of two different area culture dishes on the harvest volume and biological characteristics of human umbilical cord mesenchymal stem cells (hUC-MSCs). **Methods** Four fresh umbilical cords were collected, and umbilical cord tissues were isolated via the tissue block method, and the primary cells were subjected to adherent culture in culture dishes with a bottom diameter of 15 cm(Group A) and 10 cm(Group B), respectively, and the primary cell harvest volume per unit area was compared between the two groups. Each cell experiment was repeated five times, and the average was calculated from the remaining three experimental results. Cells were collected and cultured to P1 and P2 generations, respectively. The cell harvest volume of the two groups was counted, proliferation curves were plotted, and surface markers, trilineage differentiation potential, and immunomodulatory capacity were detected. **Results** The amount of primary cells harvested per unit area of Group A  $[(29\ 030.00 \pm 568.30)\text{cm}^{-2}]$  was significantly higher than that of Group B  $[(14\ 799.25 \pm 409.30)\text{cm}^{-2}]$  and the difference was statistically significant ( $P < 0.001$ ). The proliferation rates of T lymphocytes in Group A and Group B were  $(3.05 \pm 0.90)\%$  and  $(3.00 \pm 1.23)\%$ , respectively, both of which were lower than that in the control group  $[(13.36 \pm 2.11)\%]$ , and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The proportions of Th1-type cytokine TNF- $\alpha$  in P2

作者简介:李华丽(1991—),本科,技师,主要从事干细胞培养方面的工作。 <sup>△</sup> 通信作者, E-mail:lujianxi@mail.sysu.edu.cn。

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20251223.1552.003\(2025-12-24\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20251223.1552.003(2025-12-24))

generation cells of Group A and Group B were  $(9.96 \pm 4.45)\%$  and  $(9.91 \pm 3.36)\%$ , respectively, which were significantly lower than that in the control group  $[(37.84 \pm 11.51)\%]$ , with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). The levels of IFN- $\gamma$  secreted by Th1 cells in Group A and Group B were  $(0.72 \pm 0.18)\%$  and  $(0.78 \pm 0.32)\%$ , respectively, both lower than that in the control group  $[(3.09 \pm 0.70)\%]$ , and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The levels of Th17-type cytokine IL-17A in P2 generation cells of Group A and Group B were  $(0.21 \pm 0.13)\%$  and  $(0.20 \pm 0.08)\%$ , respectively, which were significantly lower than that in the control group  $[(1.88 \pm 0.37)\%]$ , with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). The proportions of CD4<sup>+</sup>CD25<sup>+</sup>FoxP3<sup>+</sup> cells in Group A and Group B were  $(2.41 \pm 0.32)\%$  and  $(2.69 \pm 0.40)\%$ , respectively, both higher than that in the control group  $[(0.51 \pm 0.10)\%]$ , and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Under the same seeding density, the amount of primary cells harvested per unit area of 15 cm diameter dish is larger, which optimizes the efficiency and economy of the culture process, and reduces plastic product consumption, and contributes to environmental protection.

**[Key words]** Human umbilical cord mesenchymal stem cells; Culture dish area; Cell harvest volume; Biological characteristics; Immunomodulatory capacity

随着再生医学的发展,干细胞治疗在多种疾病的治疗研究中展现出巨大潜力。人脐带间充质干细胞(hUC-MSCs)是具有自我更新、免疫调节、抗炎等特性的成体干细胞<sup>[1]</sup>。MSCs易于获取,具有自我复制和再生能力强、免疫原性低、有多项分化潜能等特性,以及促进损伤修复功能和免疫调节等功能,在药物治疗方面具有巨大的发展潜能<sup>[2-3]</sup>。目前,培养hUC-MSCs成本较高,实验室如何在有限条件下使细胞产量更高,从而节省成本,并且为临床提供足够数量的细胞成了亟待解决的问题。不同培养体系对干细胞的增殖能力有影响,而且不同培养皿和培养瓶对干细胞的增殖也有影响,单位面积细胞的生产力决定了细胞生产工艺的效率<sup>[4]</sup>。本研究采用2种不同的培养皿,在原代培养过程中按相同的密度接种华通氏胶,比较细胞的形态、单位面积原代细胞收获量、细胞扩增倍数、表面标志物表达比例、免疫调节功能及成骨、成脂、成软骨分化能力的差异,旨在筛选出最佳面积的培养皿,从而提高细胞的产量,降低耗材的使用成本,为干细胞治疗降本增效提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 研究对象** 采集本院产科足月健康剖宫产新生儿新鲜脐带,采集脐带前核对电子病例和纸质版病例,确保供体符合入选标准(无不良过去史,无不良遗传史,无传染病史;无各类肝炎病毒、HIV、CMV、EB病毒、梅毒),产妇和家属均签署知情同意书。本研究已通过本院医学伦理委员会审批(RG2024-148-01)。

**1.1.2 仪器与试剂耗材** 无血清培养基及配套的温和消化酶均购自北京友康生物科技有限公司;MSCs三系分化诱导试剂购自广州Cyagen公司;CytoFLEX流式细胞分析仪和流式荧光标记抗体CD11b、CD19、CD34、CD45、CD73、CD90、CD105、HLA-DR均购自美国Beckman Coulter公司;RPMI 1640培养基购自美国Gibco公司;淋巴细胞分离液购自碧云天生物技

术有限公司;免疫调节试剂盒均购自美国BD公司;显微镜购自德国Leica公司;二氧化碳培养箱150i、台式冷冰离心机和羧基荧光素二醋酸盐琥珀酰亚胺脂(CFSE)试剂盒均购自美国Thermo Fisher Scientific公司;培养皿(100 mm×20 mm、150 mm×25 mm)均购自美国Corning公司;225 cm<sup>2</sup>培养瓶购自美国Corning公司;电子天平购自梅特勒-托利多仪器有限公司。

### 1.2 方法

**1.2.1 原代细胞的分离与培养** 采集4株新鲜脐带,分别分离脐带华通氏胶,并剪碎成2~3 mm<sup>3</sup>组织块,分别称取2.25 g和1.00 g组织块,按约1 cm<sup>2</sup>1个组织块贴于底面直径15 cm培养皿(面积为176.625 cm<sup>2</sup>,作为A组)和底面直径10 cm培养皿(面积为78.5 cm<sup>2</sup>,作为B组),直径15 cm培养皿加22.5 mL培养基,直径10 cm培养皿加10 mL培养基,使培养基与组织块投入之比及与培养皿底面积之比均为2.25倍,培养11 d。拍照记录细胞形态,收集细胞,标记为原代,采用台盼蓝染色法进行细胞计数,比较2组培养皿单位面积的原代细胞收获量。每株细胞重复实验5次,取中间3个实验结果计算平均值。

**1.2.2 传代培养** 收集原代细胞,继续传代培养,以8 000 cm<sup>-2</sup>的密度接种于已添加hUC-MSCs无血清培养基的225 cm<sup>2</sup>培养瓶中,消化细胞培养3 d后,生理盐水洗涤1次,加入温和消化酶消化,对比2组原代到P1代的细胞扩增倍数,按上述传代方法继续传代培养和收集细胞,对比2组原代到P2代的细胞扩增倍数。

**1.2.3 hUC-MSCs表型鉴定** 分别收集2组P2代次hUC-MSCs,取8管流式上机试管,每管加入100  $\mu$ L( $2 \times 10^5$ 个细胞)已稀释的细胞液,在试管上分别做好8个荧光抗体标记,按试管标记分别添加5  $\mu$ L流式荧光标记抗体轻微震荡、混匀,置于冰箱冷藏室避光孵育半小时;按上机前常规处理洗涤和重悬,

CytoFLEX 机器检测, 分析结果。

### 1.2.4 hUC-MSCs 的免疫调节功能

**1.2.4.1 提取外周血单个核细胞** 采集健康人外周血 35 mL, 将全血缓慢铺于淋巴细胞分离液表面, 离心后, 提取单个核细胞, PBS 重悬并用 CD3 纳米磁珠分选后, 用 FITC-CD3 流式抗体标记, 上 CytoFLEX 机器检测纯度。

**1.2.4.2 细胞增殖标记** 将 CFSE 加入分选好的外周血 T 淋巴细胞 ( $1 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ ), 室温避光孵育 0.5 h; 取出预先配备好的 RPMI1640 培养液, 预冷后, 加入标记的 T 淋巴细胞, 混匀, 冰浴 5 min, 生理盐水充分洗涤后, 重悬。

**1.2.4.3 2 种细胞共培养, 检测 T 淋巴细胞增殖差异** 取 hUC-MSC 与步骤 1.2.4.2 标记的 T 淋巴细胞共培养, 使得 hUC-MSC 与标记 T 淋巴细胞之比为 1:5, 分别加入 CD28、CD3 单克隆抗体和 IL-2 激活 T 淋巴细胞, 同时设 T 淋巴细胞单独培养孔作为对照孔, 培养 96 h, 收集和上机前常规处理后, CytoFLEX 机器检测。

**1.2.4.4 2 种细胞共培养, 检测 T 细胞免疫调节功能差异** 按照 1.2.4.3 步骤按 1:5 培养 2 种细胞,

96 h 后, 按说明刺激活化 and 收集细胞, 用 FITC-CD3、APC-CD8 和 FITC-CD8 标记、破膜, 分别进行 IFN- $\gamma$  (PE-Cy7)、TNF- $\alpha$  (PE) 和 IL-17 A (APC) 染色; 调节性 T 细胞检测; 按试剂盒说明书指示标记细胞; CytoFLEX 机器分别检测 T 细胞亚群分泌细胞因子和 Treg 细胞比例。

**1.2.5 hUC-MSCs 体外三系潜能诱导分化** 收集 P2 代细胞, 以  $8\ 000 \text{ cm}^{-2}$  的密度接种于 12 孔板中, 待细胞生长密度达到诱导前 (80%~90%) 的密度, 分别更换成脂、成骨或成软骨诱导分化培养基, 诱导培养 4 周左右, 4% 多聚甲醛固定 1 h, 成骨成脂实验孔分别加入油红 O 染液及茜素红染色, 镜下观察。软骨组织切片后, 用甲苯胺蓝染色, 镜下观察。

**1.3 统计学处理** 采用 GraphPad Prism 8.0.2, 进行数据分析, 计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用 *t* 检验和单因素方差分析。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结 果

**2.1 hUC-MSCs 的细胞形态** 2 组细胞贴壁生长 (原代细胞沿着脐带组织块周围爬出, P1 和 P2 代细胞均匀分布于培养瓶底部), 形态均为扁平长梭形细胞。见图 1。

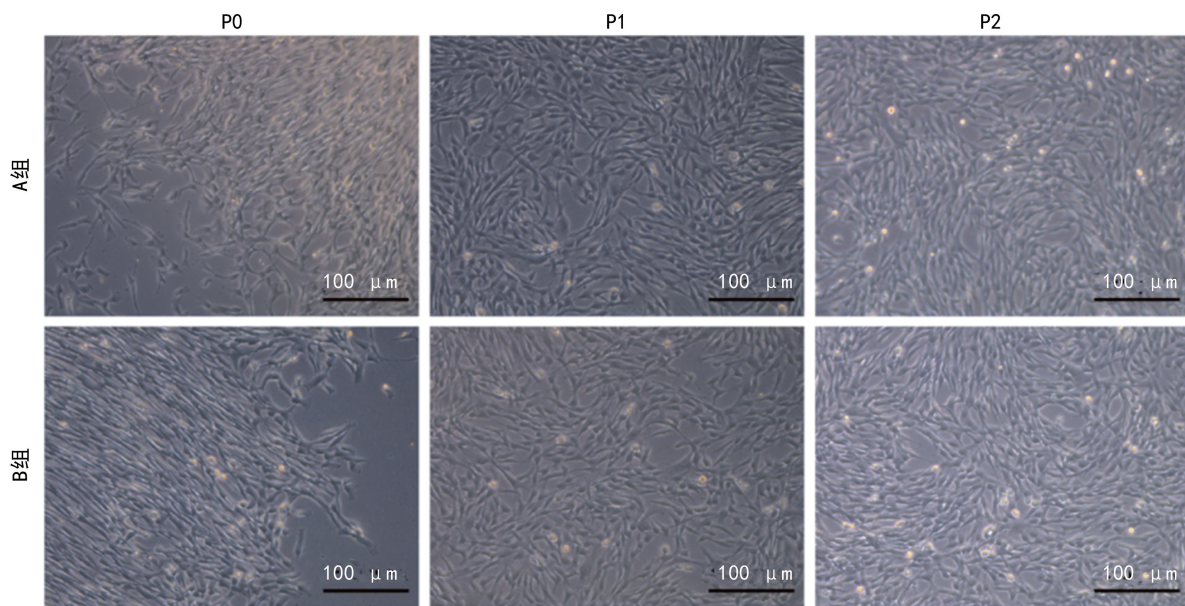


图 1 2 组培养皿 hUC-MSCs 细胞形态 (100 $\times$ )

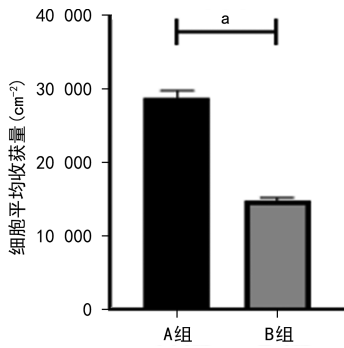
**2.2 单位面积原代细胞收获数量** A 组单位面积收获的原代细胞量 [ $(29\ 030.00 \pm 568.30) \text{ cm}^{-2}$ ] 明显高于 B 组 [ $(14\ 799.25 \pm 409.30) \text{ cm}^{-2}$ ], 差异有统计学意义 ( $P < 0.001$ )。见图 2。

**2.3 hUC-MSCs 增殖能力 (扩增倍数) 比较** A、B 组原代到 P1 代扩增倍数分别为  $(9.75 \pm 0.22)$ 、 $(10.27 \pm 0.14)$  倍, 2 组比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。A、B 组原代到 P2 代扩增倍数分别为  $(99.00 \pm 1.35)$ 、 $(106.25 \pm 2.27)$  倍, 2 组比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见图 3。

**2.4 hUC-MSCs 表面标志物表达比较** 2 组流式细胞术检测 P2 代 hUC-MSC 表面标志物表达特征得到确认, 其阳性率与阴性率均满足国际标准 (阳性标志物均  $\geq 95\%$ , 阴性标志物均  $\leq 2\%$ )。见图 4。

**2.5 T 淋巴细胞的免疫调节作用**

**2.5.1 hUC-MSCs 抑制 T 淋巴细胞增殖** A、B 组 T 淋巴细胞增殖 [分别为  $(3.05 \pm 0.90)\%$ 、 $(3.00 \pm 1.23)\%$ ] 均低于对照组 [ $(13.36 \pm 2.11)\%$ ], 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。但 A、B 组比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见图 5。



注:与B组比较,\* $P < 0.001$ 。

图 2 2组培养皿平均单位面积细胞收获量

**2.5.2 hUC-MSCs 抑制 Th1 细胞分泌细胞因子** A、B组 P2 代次的 Th1 型细胞因子 TNF- $\alpha$  比例 [分别为(9.96 $\pm$ 4.45)%、(9.91 $\pm$ 3.36)%]均低于对照组[(37.84 $\pm$ 11.51)%],差异均有统计学意义( $P <$

0.05)。但 A、B 组比较,差异无统计学意义( $P >$  0.05)。A、B 组 Th1 细胞分泌的细胞因子 IFN- $\gamma$  [分别为(0.72 $\pm$ 0.18)%、(0.78 $\pm$ 0.32)%]均低于对照组 [(3.09 $\pm$ 0.70)%],差异有统计学意义( $P <$  0.05)。但 A、B 组比较,差异无统计学意义( $P >$  0.05)。见图 6。

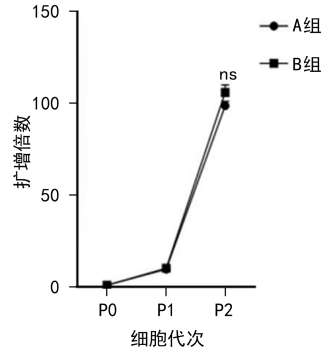
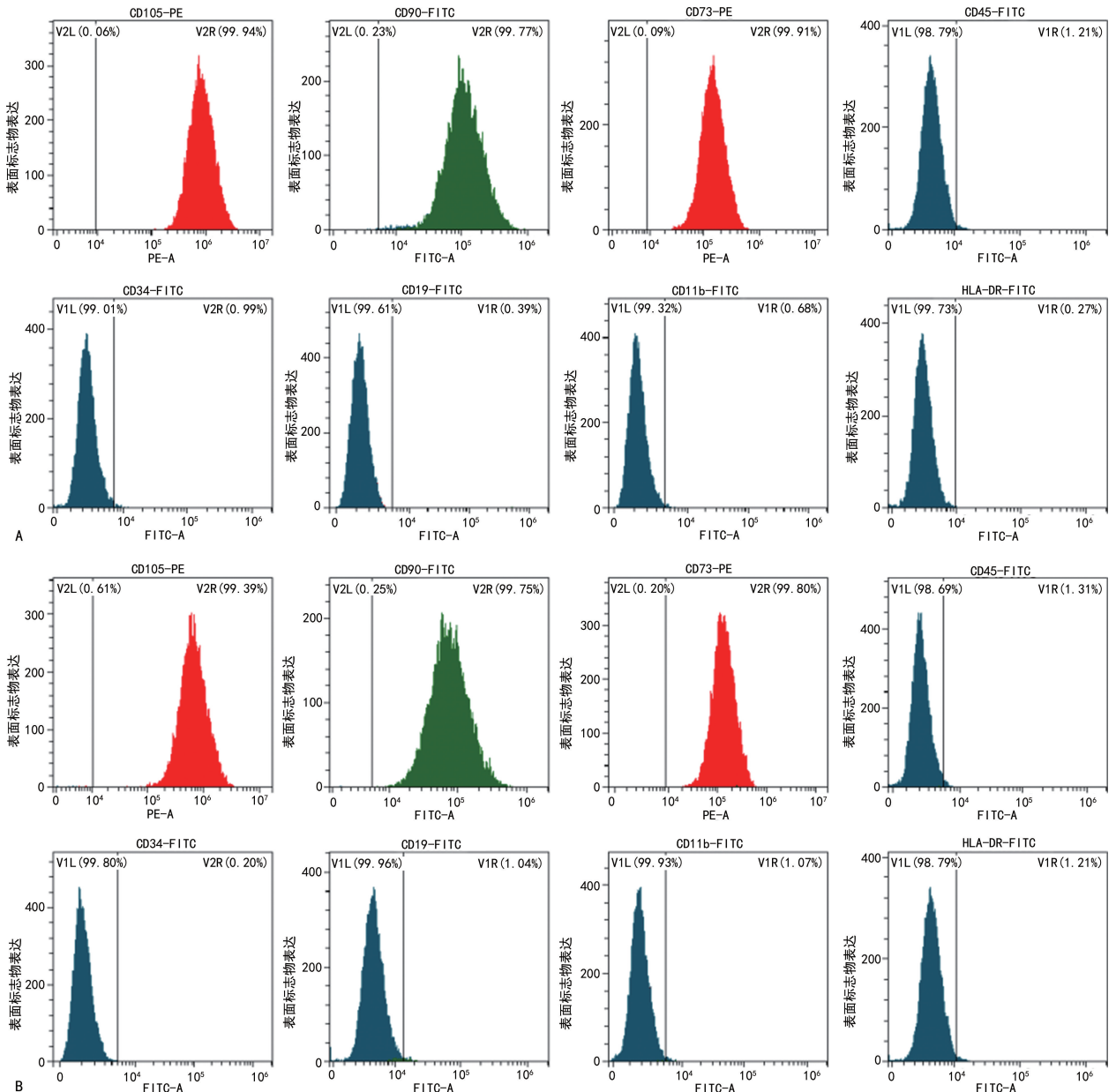


图 3 2组培养皿 hUC-MSCs 增殖能力比较



注:A. A组;B. B组。

图 4 培养皿 hUC-MSCs 表面标志物结果

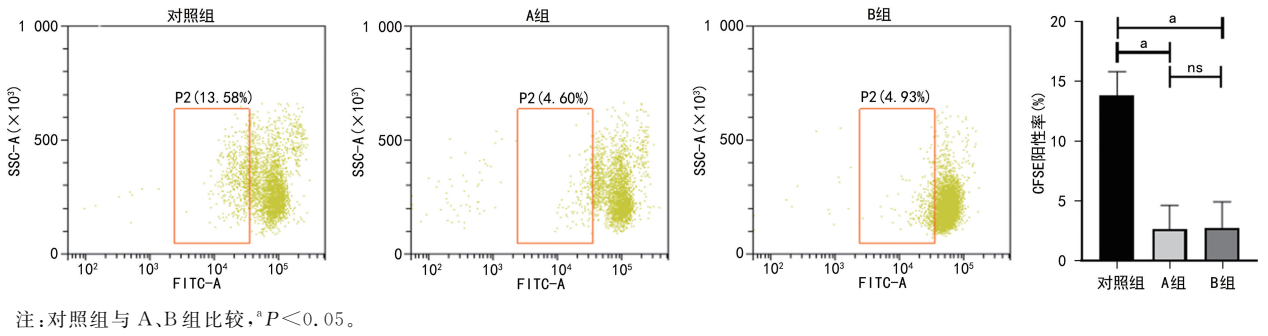


图 5 hUC-MSCs 抑制 T 淋巴细胞增殖

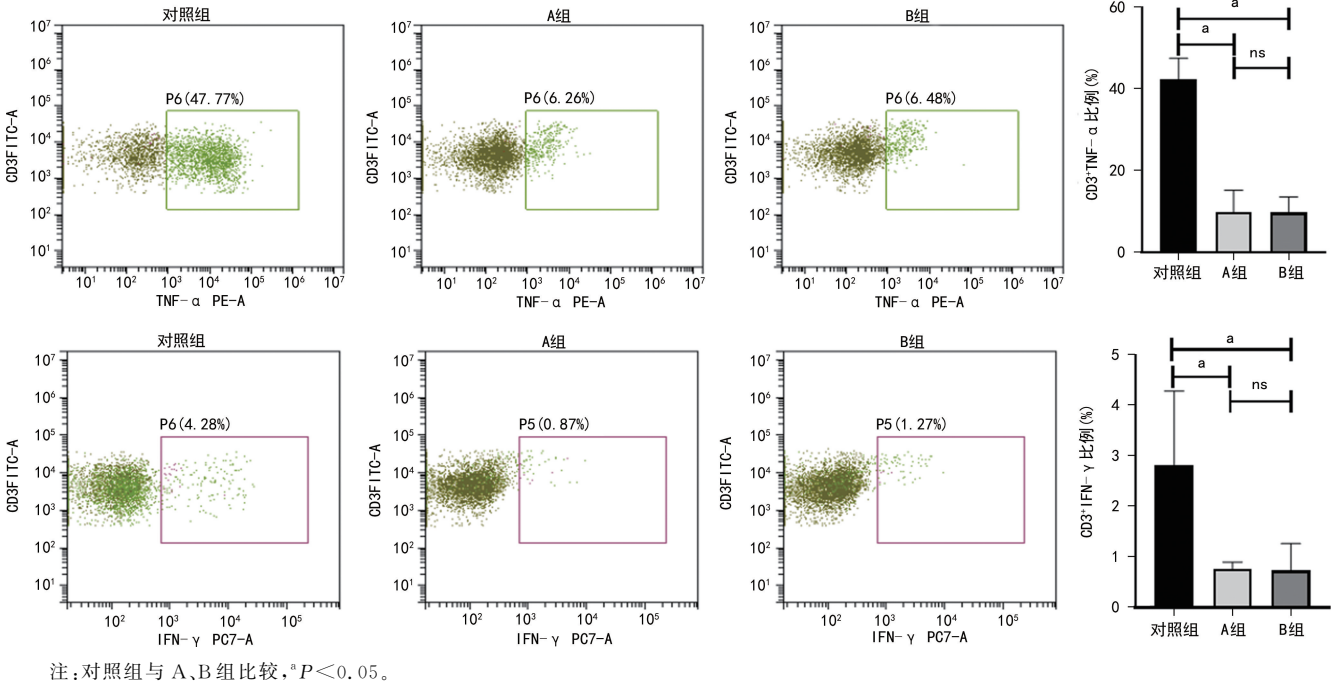


图 6 hUC-MSCs 抑制 Th1 细胞分泌细胞因子

**2.5.3 hUC-MSCs 抑制 Th17 细胞分泌细胞因子** A、B 组 P2 代次的 Th17 型细胞因子 IL-17A [分别为  $(0.21 \pm 0.13)\%$ 、 $(0.20 \pm 0.08)\%$ ] 均低于对照组 [ $(1.88 \pm 0.37)\%$ ], 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。但 A、B 组比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见图 7。

**2.5.4 hUC-MSCs 促进 Terg 细胞生成** A、B 组  $CD4^+ CD25^+ FoxP3^+$  细胞比例 [分别为  $(2.41 \pm 0.32)\%$ 、 $(2.69 \pm 0.40)\%$ ] 均高于对照组 [ $(0.51 \pm 0.10)\%$ ], 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。但 A、B 组

比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见图 8。

**2.6 hUC-MSCs 的三系分化能力** A、B 组 hUC-MSCs 成脂诱导 4 周左右, 经油红 O 染色, 镜下见大量橘黄色脂滴分布于细胞内外, 较小脂滴易聚集成环形, 较大脂滴散在分布, 见图 9A。成骨诱导 4 周左右, 成骨细胞矿化结节, 被茜素红染成红色, 散在分布, 见图 9B。成软骨诱导 4 周左右切片观察, 结果可见成软骨细胞外基质被甲苯胺蓝染色染成阳性的蓝紫色, 见图 9C。

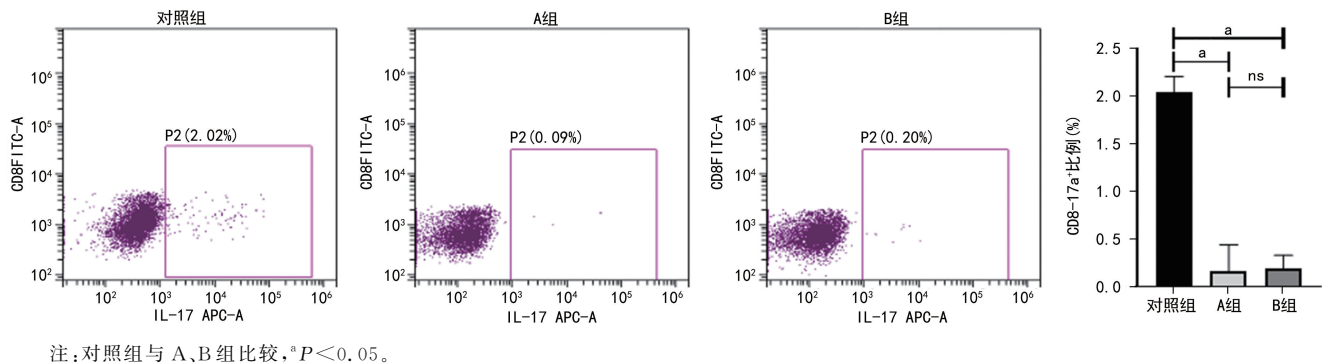


图 7 hUC-MSCs 抑制 Th17 分泌细胞因子

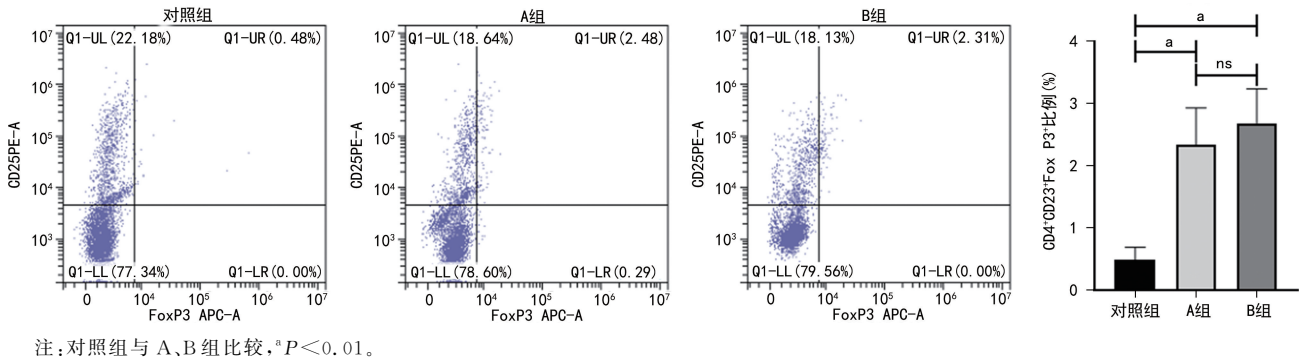
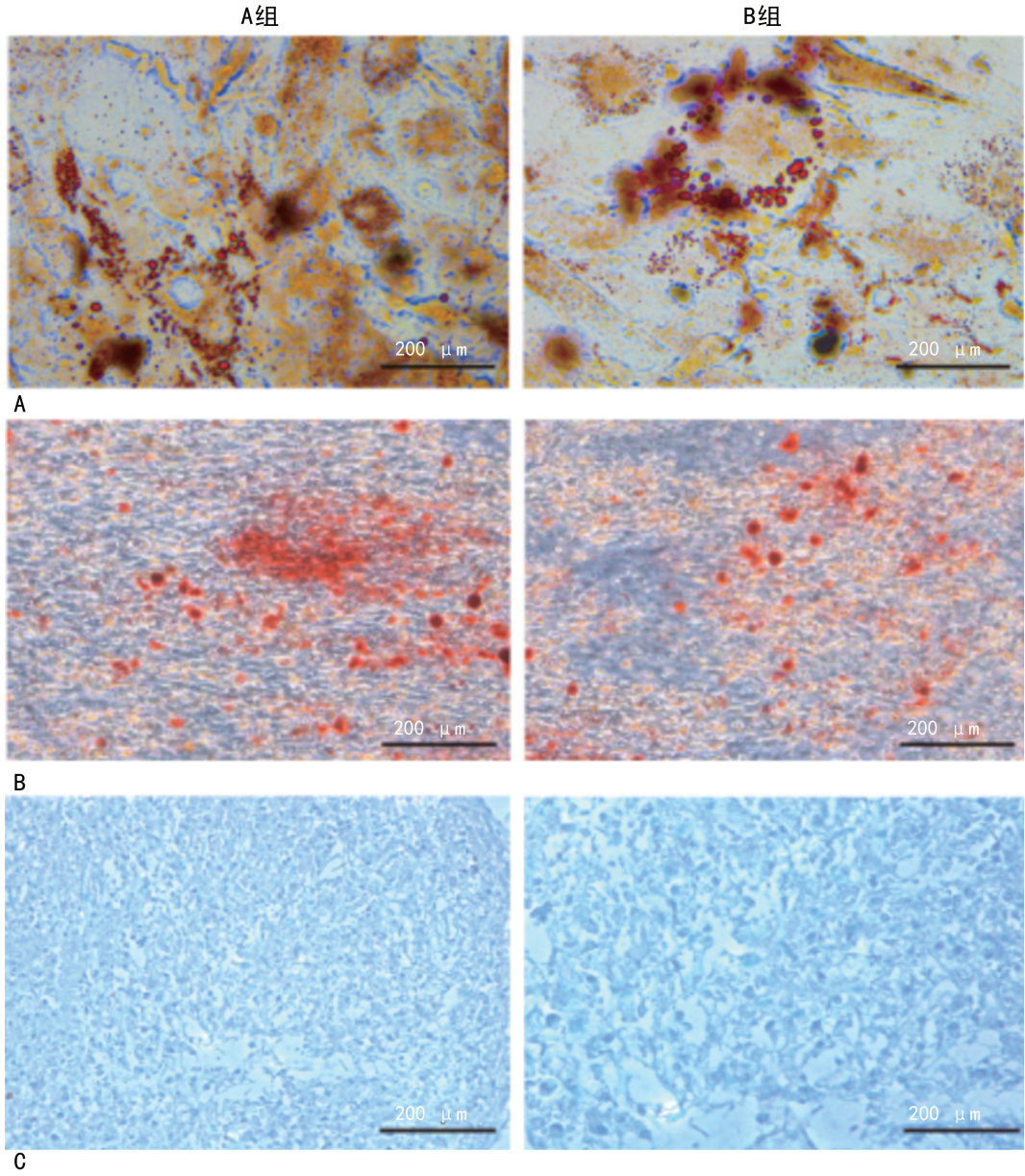


图 8 hUC-MSCs 促进 Terg 细胞生成



注: A. hUC-MSCs 成脂诱导分化后经红 O 染色的结果; B. hUC-MSCs 成骨诱导分化后经茜素红染色的结果; C. hUC-MSCs 成软骨诱导后经甲苯胺蓝染色的结果。

图 9 hUC-MSCs 三系分化能力(200×)

### 3 讨 论

底面直径 15 cm 的培养皿在原代培养中细胞收获量方面比底面直径 10 cm 的培养皿具有更高的效

率。其单位面积细胞收获量之比达到 1.5 倍以上。原因可能为在细胞培养过程中, 较大的培养皿可容纳足够多的组织块, 从一开始组织块贴壁培养出较多的

细胞,分泌出更多的细胞因子和外泌体,能促进其他组织块原代细胞的分离。微环境对于 hUC-MSCs 的生长分化起着至关重要的作用<sup>[5-6]</sup>。这在接下来的原代干细胞培养中对于培养皿的选择有着重要意义,选择底面直径为 15 cm 的培养皿比底面直径为 10 cm 的培养皿更能提高细胞产量,节省试剂,降低成本。在目前的二维培养系统下,选择大小更适合的培养皿,也可减少塑料垃圾的产生<sup>[7]</sup>。近年来,3D 培养技术成为了新的研究热点,3D 培养系统旨在更贴近地模拟体内细胞生长环境,提供丰富、复杂的细胞贴附面积,进而提供更为复杂的微环境信号,使其培养出来的细胞生物学特性更强<sup>[8-9]</sup>,有望代替目前的 2D 培养系统,使得细胞培养更加贴合体内培养效果。此外,调整培养基成分来改善干细胞生物活性和功能也是个研究热点,有研究显示,改变培养基成分中糖类型,使得干细胞的能量产生方式发生变化,提升了干细胞的质量,其活力和分化潜能更强。这些超级干细胞与常规培养的干细胞相比,稳定性更高,能提高细胞治疗的效果<sup>[10]</sup>。

本研究的 2 组 hUC-MSCs 细胞均贴壁生长,细胞形态类似成纤维细胞;细胞表面标志物中高表达 CD105、CD90、CD73 (均  $\geq 95\%$ ) 且低表达 CD11b、CD19、CD34、CD45 及 HLA-DR (均  $\leq 2\%$ );具有体外三系分化的潜能<sup>[11]</sup>;符合国际干细胞协会制定的鉴定标准。hUC-MSCs 具有调节多种免疫细胞的功能,2 组 hUC-MSCs 均能抑制 T 淋巴细胞的增殖、活化和抑制细胞因子分泌,促进 Treg 细胞生成<sup>[12-15]</sup>。

综上所述,不同底面积大小的培养皿培养出来的 hUC-MSCs 均能保持其生物学特性,底面直径 15 cm 的培养皿在原代培养中在细胞收获量方面相比底面直径 10 cm 的培养皿具有更高的效率,能大幅度降低干细胞培养的成本,提高培养效率,减少塑料制品的消耗。

## 参考文献

- [1] 冯梓蓓,陈成迪,何原,等. 干细胞在心房颤动基础研究与干预治疗中的研究进展[J]. 广东医科大学报,2025,43(6):648-654.
- [2] 张博,苏媛,哈小琴. 间充质干细胞在深静脉血栓治疗中

相关作用机制的研究进展[J]. 中国生物制品学杂志,2025,38(5):605-609.

- [3] BAHARI M, MOKHTARI H, YEGANEH F. Stem cell therapy, the market, the opportunities and the threat[J]. Int J Mol Cell Med, 2023, 12(3):310-319.
- [4] 王晓勋,张中洋. 不同载体细胞培养技术在生物制品领域的应用[J]. 中国生物制品学杂志,2023,36(12):1515-1521.
- [5] 张晗,刘蹇,吴彤,等. 探索间充质干细胞微环境以促进组织再生(英文)[J]. Science Bulletin, 2025, 70(9):1389-1393.
- [6] 张舒. 细胞生长微环境多因素模拟平台构建及细胞响应探究[D]. 南京:南京航空航天大学,2022.
- [7] REU P, SVEDBERG G, HASSLER L, et al. A 61% lighter cell culture dish to reduce plastic waste[J]. PLoS One, 2019, 14(4):e0216251.
- [8] 付沁宁,刘璐,杨麒麟,等. 3D 细胞培养技术在骨科的应用[J]. 中华骨与关节外科杂志,2025,18(1):87-93.
- [9] ABUWATFA W H, PITT W G, HUSSEINI G A. Scaffold-based 3D cell culture models in cancer research[J]. J Biomed Sci, 2024, 31(1):7-10.
- [10] 张梦然. 超级干细胞有助改善生育治疗[N]. 科技日报, 2025-04-28(004).
- [11] DOMINICI M, LE BLANC K, MUELLER I, et al. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement[J]. Cytotherapy, 2006, 8(4):315-317.
- [12] 王方迪,侯瑞霞,李俊琴,等. 间充质干细胞对 T 细胞免疫调节机制的研究进展[J]. 中国免疫学杂志,2021,37(22):2715-2721.
- [13] AMATYA N, GARG A V, GAFFEN S L. IL-17 signaling; the Yin and the Yang[J]. Trends Immunol, 2017, 38(5):310-322.
- [14] ATTIAS M, AL-AUBODAH T, PICCIRILLO C A. Mechanisms of human FoxP3<sup>+</sup> Treg cell development and function in health and disease[J]. Clin Exp Immunol, 2019, 197(1):36-51.
- [15] 林惠珠,李翠平,陈晓燕,等. 不同无血清培养体系对人脐带间充质干细胞生物学功能的影响[J]. 新医学,2023,54(12):864-871.

(收稿日期:2025-08-11 修回日期:2025-12-22)