



天津科技大学学报

Journal of Tianjin University of Science & Technology

ISSN 1672-6510, CN 12-1355/N

《天津科技大学学报》网络首发论文

题目：不同工艺制备血小板裂解液的稳定性比较研究
作者：韩勇娇，李佳旭，王超杰，邓江，赵宁，孙华
DOI：10.13364/j.issn.1672-6510.20250118
收稿日期：2025-07-28
网络首发日期：2026-01-29
引用格式：韩勇娇，李佳旭，王超杰，邓江，赵宁，孙华. 不同工艺制备血小板裂解液的稳定性比较研究[J/OL]. 天津科技大学学报.
<https://doi.org/10.13364/j.issn.1672-6510.20250118>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。



不同工艺制备血小板裂解液的稳定性比较研究

韩勇娇¹, 李佳旭¹, 王超杰¹, 邓江², 赵宁², 孙华¹

(1. 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457; 2. 军事医学研究院, 北京 100850)

摘要: 血小板裂解液 (platelet lysate, PL) 作为富血小板血浆 (PRP) 衍生物, 已在软组织工程、细胞培养、生殖医学领域被广泛应用, 但是目前不同制备工艺和储存条件对 PL 中生长因子活性及稳定性的影响尚未明确。本研究比较了不同工艺制备 PL 的稳定性。采用 -80 °C/37 °C 冻融法、超声处理法和 CaCl₂ 处理法制备 PL, 分别于 4 °C、-20 °C、-80 °C 条件下储存 0、7、15、30 d 后, 检测总蛋白、血小板衍生生长因子 (PDGF)、胰岛素样生长因子 (IGF)、转化生长因子 (TGF- β) 的含量变化。结果显示, 不同工艺制备 PL 对总蛋白含量的影响无显著差异, 且 PL 中总蛋白在第 30 天的含量显著高于初始水平。生长因子含量随制备工艺和储存温度变化呈现显著差异, 其中 -80 °C/37 °C 冻融法制备的 PL 中 PDGF 和 IGF 含量最高, 而 TGF- β 的初始含量不受制备工艺的影响。储存温度对 PDGF、IGF、TGF- β 的含量变化无显著影响, 而储存时间是关键影响因素, 除超声处理组 PL 中 PDGF 含量随时间延长呈递增趋势外, 其余处理组的 PDGF、IGF、TGF- β 在储存至第 7 天时含量均显著降低。因此, 上述工艺制备的 PL 储存时间应不超过 7 d。本研究为 PL 中特定生长因子的应用提供了数据支持, 为 PL 在组织工程等领域的高效、精准应用提供了理论依据。

关键词: 富血小板血浆; 血小板裂解液; 制备工艺; 生长因子; 储存温度

中图分类号: Q592.1

文献标志码: A

Comparative Study on the Stability of Platelet Lysate Prepared by Different Processes

HAN Yongjiao¹, LI Jiayu¹, WANG Chaojie¹, DENG Jiang², ZHAO Ning², SUN Hua¹

(1. College of Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. Academy of Military Medical Sciences, Beijing 100850, China)

Abstract: Platelet lysate (PL), a derivative of platelet-rich plasma (PRP), has been widely used in the fields of soft tissue engineering, cell culture, and reproductive medicine. However, the effects of different preparation processes and storage conditions on the activity and stability of growth factors in PL was unclear. Therefore, this study compared the stability of PL prepared by different processes. PL was prepared using the -80 °C/37 °C freeze-thawing, ultrasonic treatment, and CaCl₂ treatment methods. After storage at 4 °C, -20 °C, and -80 °C for 0, 7, 15, and 30 days, the contents of total protein, Platelet-Derived Growth Factor (PDGF), Insulin-Like Growth Factor (IGF), and Transforming Growth Factor (TGF- β) were detected. The results showed that different preparation processes had no significant effect on the total protein content of PL, and the total protein content in PL at day 30 was significantly higher than the initial level (day 0). The growth factor content exhibited significant differences depending on the preparation process and storage temperature. Among them, the PL

收稿日期: 2025-07-28; 修回日期: 2025-10-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(82200738)

作者简介: 韩勇娇(2001—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生; 通信作者: 孙华, 教授, sunhua@tust.edu.cn

prepared by the $-80\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ freeze-thawing method had the highest contents of PDGF and IGF, while the initial content of TGF- β was not affected by the preparation process. Further analysis indicated that storage temperature had no significant effect on the content changes of PDGF, IGF, and TGF- β , while storage time was a key influencing factor. Except that the PDGF content in the PL of the ultrasonic treatment group showed an increasing trend with the extension of time, the PDGF, IGF, and TGF- β in the other treatment groups significantly decreased by day 7. Therefore, the storage time of PL prepared by the above processes should not exceed 7 days. In conclusion, this study provides experimental data to support the application of specific growth factors in PL and lays a theoretical foundation for the precise application of PL in fields such as tissue engineering.

Key words: platelet-rich plasma; platelet lysate; preparation process; growth factors; storage temperature

富血小板血浆 (PRP) 是富含多种生长因子的血小板浓缩物, 激活后释放的多种因子能够促进伤口愈合、血管生成等^[1-3], 在组织修复、创面愈合等再生医学领域广泛应用。然而, PRP 在临床应用中存在稳定性差、储存条件苛刻、保存时间短、免疫原性强等缺点^[4-6]。血小板裂解液 (platelet lysate, PL) 是 PRP 进一步裂解得到的只含有细胞生长因子的溶液^[7]。由于血小板膜及残余的细胞结构被去除, 所以 PL 的免疫原性大大降低^[8-9], 富含更高浓度的生长因子, 包括血小板衍生生长因子 (PDGF)、胰岛素样生长因子 (IGF)、转化生长因子 (TGF- β) 等^[10-11]。相较于 PRP, PL 的稳定性更强、储存条件更简便, 具有更强的促修复作用, 在临床实践中更具优势^[12-13]。

PL 的稳定性受制备工艺和保存条件影响显著, 其活性成分降解等问题可能影响后续的治疗效果^[14-15]。目前 PL 制备的方法有冻融法 (包括液氮冻融, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻融等)、超声波处理法、 CaCl_2 处理法, 溶剂/洗涤剂 (S/D) 处理法等^[16-18]。刘广亚等^[13]研究了 PRP 经 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻融得到 PL 生长因子的释放量以及对细胞增殖的效果, 而针对不同制备方法得到的 PL 在不同保存条件下的稳定性还没有确切报道。本研究拟通过 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻融法、超声处理法、 CaCl_2 处理法处理 PRP 得到 PL, 并检测其在 4、 -20 、 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中储存 7、15、30 d 后总蛋白及主要生长因子 (PDGF、IGF、TGF- β) 含量的变化, 旨在系统比较不同制备方法和储存条件对 PL 活性的影响, 以期建立基于应用需求的优化选择策略, 从而最大限度发挥 PL 的治疗潜力并提升其临床应用价值。

1 材料与方 法

1.1 材料

PRP 来源于解放军总医院第五医学中心; 血小板衍生生长因子 (PDGF)、胰岛素样生长因子、转化生长因子 (TGF- β), 江苏酶免实业有限公司; 总蛋白定量试剂盒 (BCA 法), 南京建成生物工程研究所有限公司; 96 孔检测板, 美国 Corning Incorporated 公司; 无水氯化钙, 上海麦克林生化科技股份有限公司; Acrodisc 25 mm w/0.2 μm Supor STRL 50/PK, 美国 Pall Corporation 公司; 高速台式冷冻离心机, 湖南可成仪器设备有限公司; DEM-III 型自动酶标洗板机, 北京拓普分析仪器有限公司; 超声波细胞粉碎机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; 微生物培养箱, 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司; 全自动酶标仪, 美国分子仪器 (上海) 有限公司; 医用冷藏箱、医用低温保存箱, 青岛海尔生物医疗股份有限公司; 超低温保存箱, 普和希健康医疗器械 (上海) 有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 PL 的制备

超声处理法: PRP 经超声波细胞粉碎机 (功率 285 W) 冰上处理 5 s 后停止 5 s, 总共处理 10 次, 破碎后 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、12000g 离心 10 min, 取上清液。

CaCl_2 处理法: 使用 10% CaCl_2 溶液, 10% CaCl_2 溶液与 PRP 按照体积比 1 : 10 混合, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温加热 1 h, 加热后 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、12000g 离心 10 min, 取上清液。

$-80\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻融法: 将 PRP 在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷冻 24 h, 在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中孵育直至完全融化, 再重复上述操作 2 次, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、12000g 离心 10 min, 取上清液。

将上述 3 种方法制备的上清液分别经过膜过滤后分装, 储存在 4、 -20 、 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中, 分别在第 0、7、15、30 天取出进行检测。

1.2.2 生长因子的测定

取血小板衍生生长因子 (PDGF)、胰岛素样生长因子 (IGF)、转化生长因子 (TGF- β) 试剂盒,

按照试剂盒检测说明书配制所有试剂,取上述3种样本,按照试剂盒说明书完成实验操作。使用全自动酶免仪检测450 nm波长处吸光度,并制作相应标准曲线,计算生长因子含量。

1.2.3 总蛋白含量的测定

取总蛋白定量测试盒(BCA法),按照试剂盒检测说明书配制所有试剂,取上述3种样本,按照试剂盒说明书完成实验操作。使用全自动酶免仪检测562 nm波长处吸光度,并制作相应标准曲线,计算总蛋白含量。

1.3 统计分析

数据以平均值±均值标准误(SEM)的形式呈现。使用单因素方差分析比较各组之间的统计学差异。使用GraphPad Prism 8.0.2进行常规分析。在所有情况下,当 $P<0.05$ 时认为具有统计学显著性,其中*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$,***表示 $P<0.001$,****表示 $P<0.0001$ 。

2 结果与讨论

2.1 PL中总蛋白含量稳定性

血小板裂解液富含多种生物活性蛋白^[19],为了评估不同制备工艺下PL中蛋白的稳定性,测定了其在不同储存温度下PL中总蛋白的含量,结果见表1。经超声处理、CaCl₂处理及-80 °C/37 °C冻融处理的3种PL样本,在4 °C、-20 °C和-80 °C条件下储存不同时间后,总蛋白含量呈现规律性变化:储存7 d后,3种处理组的蛋白含量均显著升高;储存至15 d时,蛋白浓度与7 d水平基本持平;而储存至30 d时,蛋白浓度较7 d和15 d呈下降趋势,但仍高于初始浓度。该现象可能是由于初始阶段部分蛋白尚未完全释放或附着在血小板细胞外囊泡上^[20-23],随着储存时间延长,蛋白逐渐溶解于溶液中,导致蛋白含量在第7天和第15天测量时显著上升,而长期储存过程中,溶液中残留的蛋白酶可能引发蛋白质降解或变性^[18, 24],最终导致在第30天检测时蛋白含量下降。研究结果为PL中活性蛋白的长期储存稳定性研究提供了重要的实验依据和数据支持。

表1 不同处理方式PL蛋白含量变化

Tab. 1 Changes in protein content of PL treated with different treatment methods

储存温度	储存时间/d	超声处理		CaCl ₂ 处理		-80 °C/37 °C冻融	
		蛋白含量/(μg/mL)	显著性	蛋白含量/(μg/mL)	显著性	蛋白含量/(μg/mL)	显著性
4 °C	0	3461±5		3480±9		3480±12	
	7	8337±53	****	8394±58	****	8360±15	****
	15	8148±39	****	8104±14	****	8178±32	****
	30	5784±15	****	5958±36	****	5858±44	****
-20 °C	0	3461±5		3480±9		3480±12	
	7	8415±91	****	8036±80	****	8195±113	****
	15	8208±27	****	8092±26	****	8190±13	****
	30	5846±37	****	5951±85	****	5742±56	****
-80 °C	0	3461±5		3480±9		3480±12	
	7	8308±90	****	8363±74	****	8246±29	****
	15	8247±39	****	8247±39	****	8161±79	****
	30	5802±66	****	5889±45	****	5799±7	****

注:与新鲜PL组相比,****表示 $P<0.0001$ 。

2.2 PL中PDGF含量的稳定性

PL溶液中富含较高浓度的PDGF^[25],其可促进多种细胞增殖迁移、介导创伤修复与血管生成、异常激活致肿瘤和纤维化等,现用于再生医学、靶向药物及生物材料等^[26-27]。为了检测PL溶液中PDGF的稳定性,分别对不同储存环境下的PL进行测定,结果

如图1所示。由图1可知,不同制备工艺下的PL溶液在同一储存环境下PDGF含量差异较大,与超声处理和CaCl₂处理相比,-80 °C/37 °C冻融法制备的PL中PDGF含量最高,并随储存时间延长呈下降趋势;而经超声处理和CaCl₂处理的PL样本,其PDGF含量则随储存时间推移逐渐升高。这一现象可能归因于

部分 PDGF 聚集未完全释放^[28-29], 随着储存时间延长, PDGF 持续释放至溶液中, 最终表现为浓度的增加。进一步对比发现, 超声处理组 PL 溶液中的 PDGF 含量在第 30 天时均显著高于其他两种制备方法, 这可能是由于超声裂解通过机械应力更有效地破碎血小板膜结构, 同时保留细胞外囊泡的完整性, 从而实

现 PDGF 的持续缓释^[30]。值得注意的是, 不同储存条件下的 PDGF 含量变化趋势相似, 说明储存环境对 PDGF 的稳定性影响相对较小。本研究结果为其靶向应用提供了重要依据, 可通过-80 °C/37 °C冻融法制备 PL, 实现 PDGF 释放量的最大化, 为临床精准调控组织修复进程奠定实验基础。

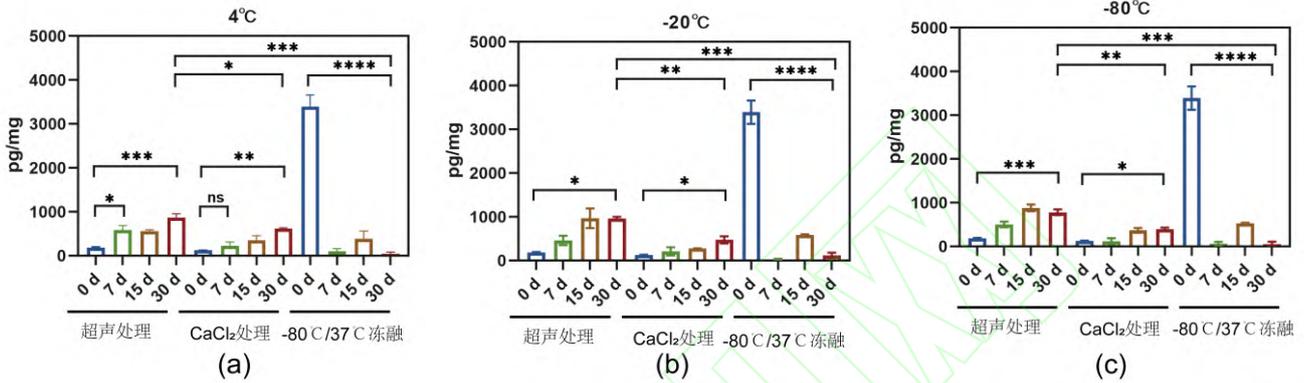


图 1 PDGF 在不同温度下储存含量的变化

Fig. 1 Changes in PDGF Content

2.3 PL 中的 IGF 含量的稳定性

IGF 可调控细胞增殖、分化及物质代谢, 在生长发育进程中发挥关键作用, 其信号通路异常激活与肿瘤等疾病的发生发展密切相关, 目前已成为再生医学、细胞培养及靶向治疗领域的研究热点^[31-32]。对 PL 溶液中的 IGF 含量进行检测, 结果如图 2 所示。-80 °C/37 °C冻融法处理得到的 PL 溶液中 IGF 含量最高, 并且不同制备工艺和不同储存条件下的 PL 溶液中 IGF 含量变化基本一致, 均随着储存时间的延长逐渐下降, 这表明 PL 溶液中 IGF 的稳定性主要受储存

时间的影响。需要特别指出的是, 4 °C储存的超声处理组 IGF 在第 15 天时含量骤升, 该现象可能是由于在储存初期因囊泡结构的崩解而释放^[23, 33-34]; 然而随着储存时间延长, 蛋白酶降解、氧化损伤等不可逆因素逐渐占据主导地位, 最终导致 IGF 含量持续衰减^[24, 35]。综合考虑 IGF 的初始浓度水平及长期储存稳定性, 在实际应用中应优先选择-80 °C/37 °C冻融法, 以获得最高含量的 IGF, 并严格把控储存时间不超过 7 d, 确保生长因子的生物活性得以有效保留。

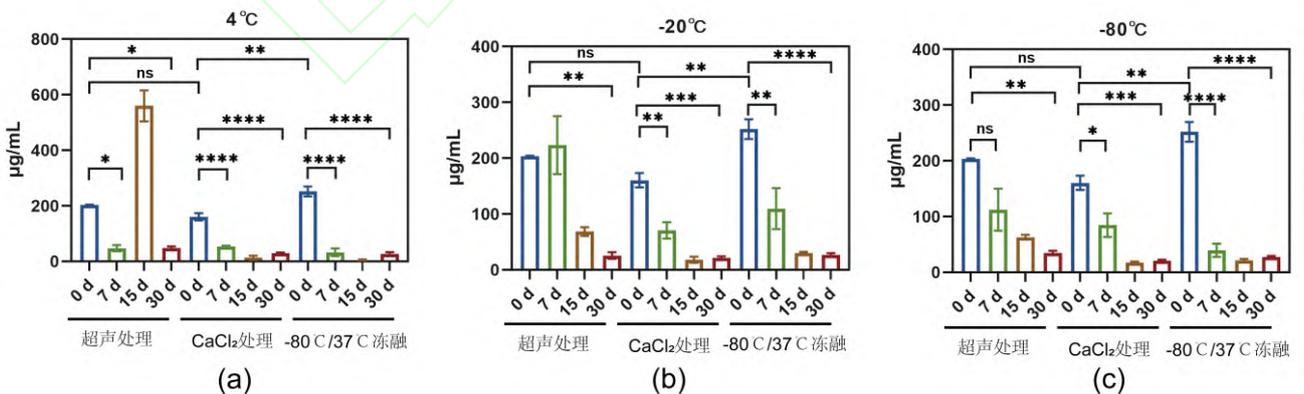


图 2 IGF 在不同温度下储存含量的变化

Fig. 2 Changes in IGF Content

2.4 PL 中的 TGF-β 含量的稳定性

TGF-β 具有调控细胞分化、免疫应答及细胞外基

质合成的重要功能, 在组织修复过程中发挥关键作用, 其信号通路异常可引发纤维化和肿瘤等疾病, 目

前已成为再生医学及抗纤维化、抗肿瘤研究的热点^[35-36]。对 TGF- β 的检测结果如图 3 所示,不同制备工艺下的 PL 溶液中 TGF- β 的初始含量无显著差异,而新鲜制备的 PL 溶液中 TGF- β 的含量达到峰值,随着储存时间的延长,不同储存条件下的 TGF- β 的含量均逐渐下降,尽管储存过程中出现短暂回升现象,但当

储存时间达到 30 d 时,总体含量仍显著减少。实验结果表明,PL 溶液中生长因子的含量受储存条件影响较小,而受储存时间影响较大。这一规律与 IGF 类似,在实际应用 PL 溶液中 TGF- β 时,为最大化 TGF- β 的疗效,应严格把控储存时间不超过 7 d。

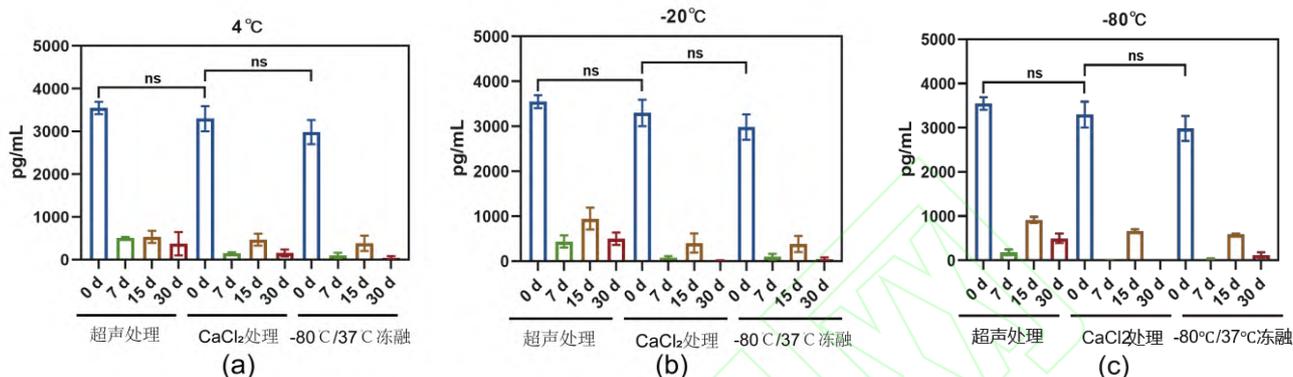


图 3 TGF- β 在不同温度下储存含量的变化

Fig. 3 Changes in TGF- β Content

3 讨论

本研究选取-80 °C/37 °C冻融法、超声处理法和 CaCl₂处理法 3 种经典工艺制备 PL 溶液。结果表明,3 种方法所得 PL 的总蛋白含量无显著差异,但生长因子释放特征呈现显著分化:超声处理法制备的 PL 中 TGF- β 释放量显著高于-80 °C/37 °C冻融法和 CaCl₂法,而-80 °C/37 °C冻融法处理的 PL 在 PDGF 和 IGF 释放量上具有显著优势。通过分析 PL 贮存中总蛋白含量变化,建议以总蛋白为指标时 PL 保存期不宜超 15 d,同时发现不同生长因子稳定性与总蛋白变化趋势不一致,故实际保存期需结合关注的关键生长因子活性衰减特性制定。上述差异可能与不同裂解方式导致的血小板裂解程度及作用机制相关,物理机械裂解方法(如冻融法、超声处理法)通过破坏血小板结构促进生长因子释放,但其施加的机械应力可能导致部分生长因子结构受损,进而影响活性及含量检测结果^[36]。化学裂解方法(如 CaCl₂法)通过温和的化学作用诱导血小板裂解,虽然可能更好地保留生长因子的空间结构与生物活性,但是裂解不完全,最终导致生长因子释放不充分,引发含量差异。

本研究证实 PL 的生长因子组成不仅受裂解工艺的裂解效率与损伤程度影响,而且与储存过程中的分子稳定性密切相关。PDGF、IGF、TGF- β 作为储存于血小板 α 颗粒中的典型细胞因子,在细胞增殖、分化、

迁移及细胞外基质合成中发挥核心调控作用^[37],因此,在开发基于 PL 的临床产品时,需针对目标生长因子(如促修复的 PDGF、生长调节的 IGF,免疫调节的 TGF- β)的生物学特性,综合考量制备方法的释放优势及储存条件的时效影响,以最大化发挥 PL 的治疗潜力。

参考文献:

- [1] EVERTS P, ONISHI K, JAYARAM P, et al. Platelet-rich plasma: new performance understandings and therapeutic considerations in 2020 [J]. International journal of molecular sciences, 2020, 21(20): 7794-7830 .
- [2] BELK J W, KRAEUTLER M J, HOUCK D A, et al. Platelet-rich plasma versus hyaluronic acid for knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. The American journal of sports medicine, 2021, 49(1): 249-260.
- [3] 谭强,吴玲,刘丽萍,等.同种异体富血小板血浆在难愈性创面中的临床应用[J].中国输血杂志, 2025, 38(5): 734-738.
- [4] LUZO A C, FÁVARO W J, SEABRA A B, et al. What is the potential use of platelet-rich-plasma (PRP) in cancer treatment? A mini review[J]. Heliyon, 2020, 6(3): e03660.
- [5] ALVES R, GRIMALT R. A review of platelet-rich plasma: history, biology, mechanism of action, and classification[J]. Skin appendage disord, 2018, 4(1): 18-24.
- [6] 韩霄,岳天,李公.富血小板血浆治疗膝关节炎伴半月板损

- 伤的效果[J].中国医药指南, 2025, 23(18): 122-125.
- [7] MARRAZZO P, PADUANO F, PALMIERI F, et al. Highly efficient in vitro reparative behaviour of dental pulp stem cells cultured with standardised platelet lysate supplementation[J]. *Stem cells international*, 2016, 2016(1): 7230987-7231003.
- [8] 刘婷婷,陆江涛,张文杰,等.血小板裂解物调控腺苷酸活化蛋白激酶抑制镉诱导的神经细胞凋亡[J]. *中国组织工程研究*, 2025, 30(1): 1-8.
- [9] 王玲,金红旭,刘颖,等.血小板裂解液在大鼠脊髓损伤中的治疗作用[J].*局解手术学杂志*, 2024, 33(7): 566-570.
- [10] ANITUA E, ZALDUENDO M, ALKHRAISAT M H, et al. Release kinetics of platelet-derived and plasma-derived growth factors from autologous plasma rich in growth factors [J]. *Annals of anatomy-anatomischer anzeiger*, 2013, 195(5): 461-466.
- [11] PAVLOVIC V, CIRIC M, JOVANOVIC V, et al. Platelet rich plasma: a short overview of certain bioactive components [J]. *Open medicine*, 2016, 11(1): 242-247.
- [12] BERNARDI M, ALBIERO E, ALGHISI A, et al. Production of human platelet lysate by use of ultrasound for ex vivo expansion of human bone marrow-derived mesenchymal stromal cells[J]. *Cytherapy*, 2013, 15(8): 920-929.
- [13] 刘广亚,许育兵,张喻,等.不同冻融条件下血小板裂解液的制备[J]. *中国输血杂志*, 2019, 32(6): 545-548.
- [14] ZAMANI M, YAGHOUBI Y, MOVASSAGHPOUR A, et al. Novel therapeutic approaches in utilizing platelet lysate in regenerative medicine: are we ready for clinical use? [J]. *Journal of cellular physiology*, 2019, 234(10): 17172-17186.
- [15] 邓小军,叶永清,林秀妹,等.浓缩血小板制备血小板裂解液及其质量特性的初步研究[J].*中国输血杂志*, 2017, 30(10): 1143-1145.
- [16] BABO P S, SANTO V E, GOMES M E, et al. Development of an injectable calcium phosphate/hyaluronic acid microparticles system for platelet lysate sustained delivery aiming bone regeneration[J]. *Macromolecular bioscience*, 2016, 16(11): 1662-1677.
- [17] CAVALLO C, ROFFI A, GRIGOLO B, et al. Platelet-rich plasma: the choice of activation method affects the release of bioactive molecules[J]. *Biomed research international*, 2016, 2016(1): 6591717.
- [18] 王世春,黄梅莓,张强,等.血小板裂解液的制备及生物学效应观察[J].*中国输血杂志*, 2016, 29(2): 123-127.
- [19] CHOU M L, WU J W, GOUEL F, et al. Tailor-made purified human platelet lysate concentrated in neurotrophins for treatment of Parkinson's disease[J]. *Biomaterials*, 2017, 142: 77-89.
- [20] SHOME S, KODIESWARAN M, DADHEECH R, et al. Recent advances in platelet-rich plasma and its derivatives: therapeutic agents for tissue engineering and regenerative medicine[J]. *Progress in biomedical engineering*, 2024, 6(1): 012004.
- [21] NYAM-ERDENE A, NEBIE O, DELILA L, et al. Characterization and chromatographic isolation of platelet extracellular vesicles from human platelet lysates for applications in neuroregenerative medicine[J]. *ACS Biomaterials science & engineering*, 2021, 7(12): 5823-5835.
- [22] BURNOUF T, CHOU M L, LUNDY D J, et al. Expanding applications of allogeneic platelets, platelet lysates, and platelet extracellular vesicles in cell therapy, regenerative medicine, and targeted drug delivery[J]. *Journal of Biomedical science*, 2023, 30(1): 79-113.
- [23] ZHANG Y, SONG J, WANG B, et al. Comprehensive comparison of extracellular vesicles derived from mesenchymal stem cells cultured with fetal bovine serum and human platelet lysate[J]. *American chemical society nano*, 2025, 19(12): 12366-12381.
- [24] COLBERG L, CAMMANN C, WESCHE J, et al. The platelet proteasome and immunoproteasome are stable in buffy-coat derived platelet concentrates for up to 7 days[J]. *Transfusion*, 2021, 61(9): 2746-2755.
- [25] CECERSKA-HERYĆ E, GOSZKA M, SERWIN N, et al. Applications of the regenerative capacity of platelets in modern medicine[J]. *Cytokine & growth factor reviews*, 2022, 64: 84-94.
- [26] KARTIKA R W, ALWI I, SUYATNA F D, et al. The role of VEGF, PDGF and IL-6 on diabetic foot ulcer after platelet rich fibrin+ hyaluronic therapy[J]. *Heliyon*, 2021, 7(9): e07934.
- [27] KARDAS G, DASZYŃSKA-KARDAS A, MARYNOWSKI M, et al. Role of platelet-derived growth

- factor (PDGF) in asthma as an immunoregulatory factor mediating airway remodeling and possible pharmacological target[J]. *Frontiers in pharmacology*, 2020, 11: 47-55.
- [28] BEITIA M, DELGADO D, MERCADER J, et al. Action of platelet-rich plasma on in vitro cellular bioactivity: more than platelets[J]. *International journal of molecular sciences*, 2023, 24(6): 5367.
- [29] ZHU M, KONG D, TIAN R, et al. Platelet sonicates activate hair follicle stem cells and mediate enhanced hair follicle regeneration [J]. *Journal of cellular and molecular medicine*, 2020, 24(2): 1786-1794.
- [30] SOWA Y, KISHIDA T, TOMITA K, et al. Involvement of PDGF-BB and IGF-1 in activation of human Schwann cells by platelet-rich plasma[J]. *Plastic and reconstructive surgery*, 2019, 144(6): 1025e-1036e.
- [31] AKLA B, BROUSSAS M, LOUKILI N, et al. Efficacy of the antibody-drug conjugate W0101 in preclinical models of IGF-1 receptor overexpressing solid tumors[J]. *Molecular cancer therapeutics*, 2020, 19(1): 168-177.
- [32] MOULOUD Y, STAUBACH S, STAMBOULI O, et al. Calcium chloride declotted human platelet lysate promotes the expansion of mesenchymal stromal cells and allows manufacturing of immunomodulatory active extracellular vesicle products[J]. *Cytotherapy*, 2024, 26(9): 988-998.
- [33] TOROPITSYN E, ŠČIGALKOVÁ I, PRAVDA M, et al. Injectable hyaluronic acid hydrogel containing platelet derivatives for synovial fluid viscosupplementation and growth factors delivery[J]. *Macromolecular bioscience*, 2023, 23(4): e2200516.
- [34] FAN W, CHEN Y, ZHOU Z, et al. An innovative antibody fusion protein targeting PD-L1, VEGF and TGF- β with enhanced antitumor efficacies[J]. *International immunopharmacology*, 2024, 130: 111698.
- [35] BAYSAL I, OZCELIKAY G, YABANOGLU-CIFTCI S, et al. Nanoparticles and nanostructured films with TGF- β 3: preparation, characterization, and efficacy[J]. *AAPS PharmSciTech*, 2021, 22(6): 213-223.
- [36] STRANDBERG G, SELLBERG F, SOMMAR P, et al. Standardizing the freeze-thaw preparation of growth factors from platelet lysate[J]. *Transfusion*, 2017, 57(4): 1058-1065.
- [37] BINDAL P, GNANASEGARAN N, BINDAL U, et al. Angiogenic effect of platelet-rich concentrates on dental pulp stem cells in inflamed microenvironment[J]. *Clinical oral investigations*, 2019, 23: 3821-3831.