

腰椎融合术围手术期失血因素分析

王虎¹, 刘志斌^{2*}

¹延安大学医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院脊柱外科, 陕西 延安

收稿日期: 2024年3月19日; 录用日期: 2024年4月13日; 发布日期: 2024年4月22日

摘要

腰椎融合术是骨科最常见的手术之一, 是治疗腰椎退行性疾病的有效措施, 可以矫正脊柱畸形, 恢复脊柱的生理功能。然而围手术期失血是腰椎融合术最严重的并发症之一, 也是导致伤口延迟愈合的主要原因。大量失血不仅会增加病死率, 而且很难处理, 给患者和社会带来了巨大的经济负担, 预防是减少围手术期失血最重要的措施。失血因素有年龄、骨质疏松、融合节段数、手术方式与截骨、手术时间、术中终板损伤、麻醉方式与麻醉药物、术后加压与引流方式、高血压、糖尿病、血红蛋白和红细胞压积、Cobb角、美国麻醉师协会(ASA)分类、总血容量、手术水平的肌肉厚度、纤维蛋白原等。针对失血的预防理念必须贯穿整个围手术期, 积极的预防措施能让失血降到最低。但目前国内研究腰椎融合术失血因素的文章较少。本文重点查阅国内外近3年腰椎融合术失血因素的文献并进行综合分析, 总结各种因素对失血的影响。从不同角度阐述腰椎融合术可能的失血因素、止血措施, 旨在明晰腰椎融合术失血因素, 并且为国内外相关研究和临床治疗提供一定的思路和依据。

关键词

腰椎融合术, 腰椎退行性疾病, 经椎间孔腰椎椎间融合术, 失血因素

Analysis of Perioperative Blood Loss Factors in Lumbar Fusion Surgery

Hu Wang¹, Zhibin Liu^{2*}

¹Medical School of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Department of Spinal Surgery, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Mar. 19th, 2024; accepted: Apr. 13th, 2024; published: Apr. 22nd, 2024

Abstract

Lumbar fusion is one of the most common surgeries in orthopedics, which is an effective measure

*通讯作者。

文章引用: 王虎, 刘志斌. 腰椎融合术围手术期失血因素分析[J]. 临床医学进展, 2024, 14(4): 1473-1486.

DOI: 10.12677/acm.2024.1441183

for treating degenerative diseases of the lumbar spine. It can correct spinal deformities and restore the physiological function of the spine. However, perioperative blood loss is one of the most serious complications of lumbar fusion surgery and the main cause of delayed wound healing. A large amount of blood loss not only increases the mortality rate, but is also difficult to manage, bringing a huge economic burden to patients and society. Prevention is the most important measure to reduce perioperative blood loss. Blood loss factors include age, osteoporosis, number of fusion segments, operation mode and osteotomy, operation time, intraoperative end plate injury, anesthesia mode and anesthetic drugs, postoperative compression and drainage mode, hypertension, diabetes, hemoglobin and hematocrit, Cobb angle, American Association of Anesthesiologists (ASA) classification, total blood volume, muscle thickness at operation level, fibrinogen, etc. The prevention concept for blood loss must run through the entire perioperative period, and proactive preventive measures can minimize blood loss. However, there are currently few articles in China studying the factors of blood loss in lumbar fusion surgery. This article focuses on reviewing literature on the factors causing blood loss in lumbar fusion surgery in the past three years both domestically and internationally, and conducting a comprehensive analysis to summarize the impact of various factors on blood loss. We elaborate on the possible bleeding factors and hemostatic measures of lumbar fusion surgery from different perspectives, intend to clarify the factors of blood loss in lumbar fusion surgery and provide certain ideas and basis for relevant research and clinical treatment at home and abroad.

Keywords

Lumbar Fusion Surgery, Lumbar Degenerative Disease, Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgery, Bleeding Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

腰椎退行性疾病(lumbar degenerative disease, LDD)是脊柱外科常见病,多发病,是腰椎椎间盘及椎旁组织自然老化和退行性变的病理生理过程,可见于腰椎椎间盘突出症(LDH)、退行性腰椎滑脱(DS)、退行性腰椎侧凸(DLS)、腰椎椎管狭窄症(LSS)等[1]。临床主要表现为腰部活动有关的腰痛、神经根放射痛、马尾综合征、下肢坐骨神经放射痛等症状[2],治疗LDD的有效方式是腰椎间融合术[3]。

腰椎间融合术失血会造成伤口愈合缓慢细胞、组织、器官缺血缺氧、下肢深静脉血栓DVT的形成、增加感染风险、延长术后康复时间以及住院时间。腰椎融合术常伴有大量失血,据报道术中失血量为500 mL或更多,这会增加患者的术后发病率和死亡率。腰椎融合术的实施通常在高龄患者中进行,因为生理储备有限,患者极易受到大量失血带来的不利影响。准确认识腰椎融合术大量失血的危险因素,可以指导临床工作并减轻失血带来的不利影响。因此,本文将对腰椎融合术围手术期失血的危险因素以及常见的止血措施进行综述。

本文以“腰椎融合术、腰椎退行性疾病、经椎间孔腰椎椎间融合术、失血因素”为中文检索词在维普数据库、万方数据库、中国知网、中华医学会等中文数据库进行检索,并以“lumbar fusion surgery, lumbar degenerative disease, transforaminal lumbar interbody fusion surgery, bleeding factors”为英文检索词在PubMed、Web of science、Embase、Cochrane Library等英文数据库进行检索(见图1),重点检索近2019年至2024年的文献。

纳入标准：① 论述腰椎融合术在腰椎退行性疾病中应用的文章；② 论述腰椎融合术手术失血因素的文章；③ 论述腰椎融合术治疗腰椎退行性疾病的适应证、禁忌证、并发症的文章；④ 论述腰椎融合术技术要点的文章。排除标准：① 与文章主题无关的文献；② 研究质量较差的文献；③ 重复性研究。共检索到 1663 篇相关文献，排除 1586 篇文献，实际纳入 77 篇文献，中文 12 篇文献，英文 65 篇文献。

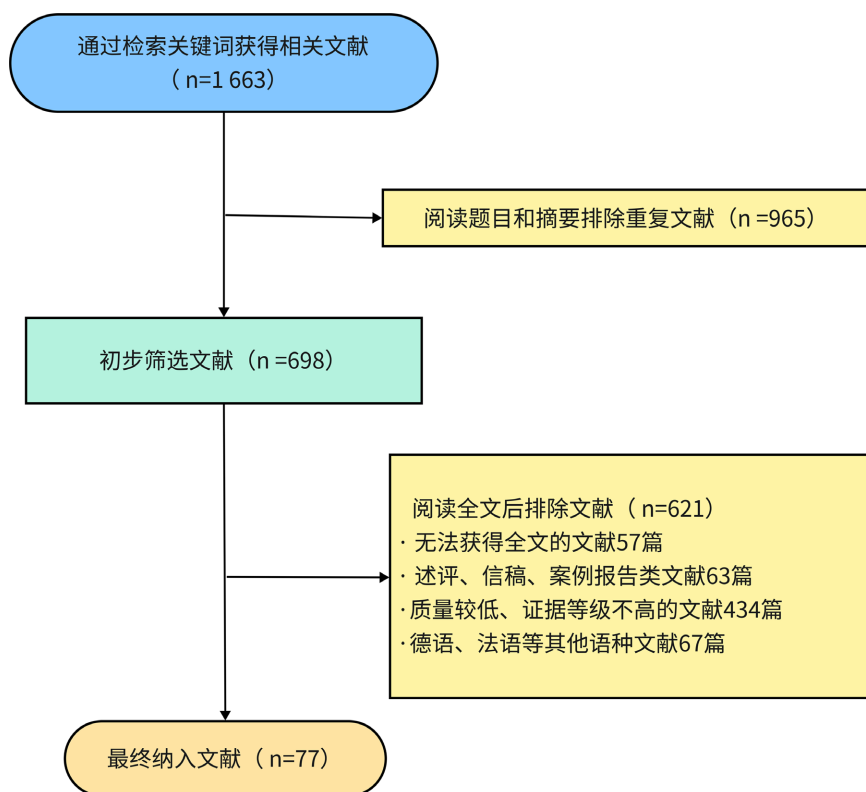


Figure 1. Process flow chart for incorporating literature
图 1. 纳入文献流程图

2. 腰椎融合术失血

腰椎融合术围手术期实际失血量，一般认为是由术中失血量、术后引流量和纱布渗血量之和[4]。但是这些失血量的总和，导致的血红蛋白(Hb)下降程度，不足以达到患者实际出现的血红蛋白(Hb)下降程度[5]。这就说明有不可见，不可估量的出血存在，医学界称其为隐性失血[6]。在 1966 年时，Nelson 等[7]就提出隐性失血的存在观点，他指出在围手术期除了术中失血和术后引流外，还存在隐性失血。同样在 1975 年，Sykes 团队[8]在对手术总失血量进行评估时曾提出，既要重视术中出血量和术后引流的血量，也要重视不可见的血量，即残存在腔隙中的血量、外渗到肌肉组织间隙的血液、积留在手术部位的血液、红细胞损伤反应导致细胞溶血，这些失血不可见，难以估量[9]。医生在临床上很容易忽视，而这些失血的量和比例都很大。面对这些问题，如何准确计算出腰椎融合术实际失血量，引起了脊柱学界的广泛重视。

腰椎融合术失血量的计算公式

失血由两部分组成，其中一部分是显性失血，其相对容易测量，包括术中失血和术后引流失血。另外一部分是隐性失血，其相对不容易直观测量，包括外渗到肌肉组织间隙、积留在手术部位等血液，是不可见、不可测量的血液丢失(见图 2) [6]。因此失血公式可表示成：(1) 显性失血量 = 吸引器瓶中的

液体量 + 纱布中所含血量 + 术后伤口引流量 + 纱布中渗血量 - 术中使用冲洗液量。(2) 总失血量 = 显性失血量 + 隐性失血量。1983年 Gross 在 Nadler 的基础上给出了失血的理论计算方法。

腰椎融合术总失血计算

① Gross 在 1983 年首次提出围手术期计算实际失血量的理论计算公式 Gross 方程[10]: 实际失血量 = 患者术前血容量 × (术前红细胞压积(HCT) - 术后红细胞压积(HCT))/平均红细胞压积(HCT), 其中平均红细胞压积(HCT) = (红细胞压积(HCT)术前 + 红细胞压积(HCT)术后)/2。

有研究表明[11][12]: 红细胞压积(HCT)测定需要在术后第 3 天进行, 才能准确反应围失血总量, 此时患者血红蛋白含量、心脏泵血内环境均达到稳态。

② Nadler 在 1962 年提出计算由身高、体重、性别决定的患者血容量的公式[13]: 患者的术前血容量 (PBV) = $k_1 \times \text{身高}(\text{cm})^3 + k_2 \times \text{体重}(\text{kg}) + k_3$ 。

其中男性 $k_1 = 0.3669$, $k_2 = 0.03219$, $k_3 = 0.6041$; 女性 $k_1 = 0.3561$, $k_2 = 0.03308$, $k_3 = 0.1833$ 。

③ Sehat 于 2000 年在英国布里斯托尔的雅芳骨科中心对 63 例 TKA 进行了前瞻性研究, 提出了计算隐性失血量计算公式[14]: 隐性失血量(HBL) = 实际总失血量(TBL) + 输血量 - 显性失血量(DBL);

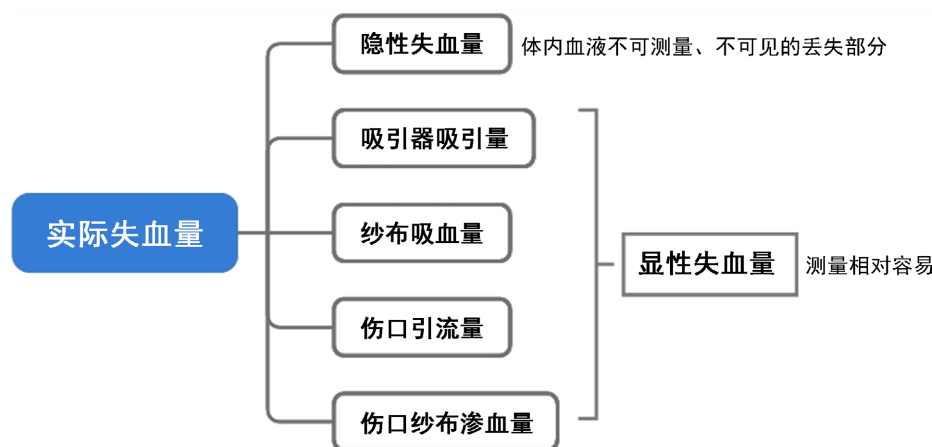


Figure 2. Schematic diagram of perioperative blood loss during lumbar fusion surgery
图 2. 腰椎融合术围手术期失血组成示意图

3. 腰椎融合术失血的量

腰椎融合术失血量, 手术方式的不同, 失血量相差较大, 总体为微创手术失血量少于传统开放手术。Khashab 等[15]采用回顾性队列研究的方法, 回顾了接受 TLIF 的患者记录, 包括同时患有微创(MIS)和开放性 TLIF 的 95 例患者。平均估计失血量(EBL)为 231 毫升, 而平均 HBL 为 265 毫升, 平均总失血量为 629.7 毫升。张睿等[16]回顾分析行 TLIF 手术的 94 例患者资料, 发现 TLIF 手术时间为 (153.32 ± 54.86) min, 围手术期总失血量为 (789.22 ± 499.68) mL, 其中显性失血量为 (473.53 ± 299.81) mL, 隐性失血量为 (315.69 ± 199.87) mL。Zhang 等[17]回顾性分析接受 TLIF 治疗的患者, 发现平均手术时间为 153.32 ± 54.86 min, 围手术期总出血量为 789.22 ± 499.68 mL, 其中 HBL 为 315.69 ± 199.87 mL。Peng 等[18]回顾了接受单节段开放经椎间孔腰椎椎间融合术(O-TLIF)的 53 例患者, 发现 O-TLIF 组总出血量 TBL 为 (427.97 ± 280.52) ml 和实测失血量 MBL 为 (270.66 ± 102.34) ml, HBL 为 (157.31 ± 268.08) ml。

4. 腰椎融合术失血的影响因素

腰椎融合术引起失血的因素还尚未明确, 大多数学者研究发现与术后血液进入肌肉间隙、溶血反应

及纤溶系统有关[19]。腰椎椎体融合节段数的增加, 使得出血时间的延长, 另外内固定 cage 的植入, 增加了手术腔隙[20] [21]。术中失血依然不可避免, 在传统开放性腰椎融合术中需要截骨、肌肉剥离、咬掉椎间盘组织、刮除椎体终板表面的碎骨, 这些手术操作均会导致失血。腰椎退行性疾病的高龄患者, 常合并骨质疏松, 围绝经期妇女雌激素的下降, 骨钙丢失、骨质疏松严重, 截骨后的松质骨骨面渗血增加。这些都是腰椎融合术失血的影响因素。现将腰椎融合术围手术期失血的影响因素归纳总结如下:

1) 年龄

年龄是腰椎融合术围手术期失血的重要因素, 接受腰椎融合术的患者, 大多是高龄患者。高龄导致软组织松弛肌肉萎缩, 术后的血液很容易外渗到组织间隙、积留在手术部位。高龄患者机体老化, 红骨髓造血能力下降, 更易造成术后贫血, 间接增加围手术期的失血。Zhou 等[5]回顾性分析 137 名接受腰椎融合术患者发现, 年龄是失血的危险因素。Kara 等[22]回顾性研究 62 名接受单级椎间融合术的患者, 发现年龄是 HBL 的危险因素, 年龄对 HBL 和 TBL 有显著影响。Wang 等[23]多中心回顾性研究了, 接受 UBE 手术治疗腰椎退行性疾病患者的数据, 发现年龄($P = 0.000$)是 HBL 的独立危险因素。Ge 等[24]通过相关性分析和多元线性回归研究了 96 例接受 Endo-LIF 的患者, 研究发现年龄($P = 0.003$)是 Endo-LIF 手术中 HBL 的危险因素。Shi 等[25]分析了 368 名接受 TLIF 的患者, 多因素 logistic 回归分析发现, 年龄较大($P = 0.001$)是经椎间孔腰椎融合术(TLIF)后手术引流量增加的危险因素。Claydon 等[26]对接受了 ALIF 的 265 例患者进行研究, 发现年龄是失血的独立危险因素。Liu 等[27]回顾性分析接受腰椎融合术的 202 名老年患者(年龄 77~92 岁), 发现术后主要并发症与年龄显著相关。由此可见年龄是腰椎融合术围手术期失血的重要因素。

2) 骨质疏松

骨质疏松会增加失血量。尤其是绝经后女性体内雌激素量减少, 骨钙丢失量增多, 骨小梁断裂吸收, 骨皮质变薄, 骨髓腔孔隙增多, 骨小梁间隙增大, 松质骨稀疏甚至消失殆尽, 腰椎椎体显得疏松、多孔[28]。截骨显露松质骨面渗血增多, 血液渗透至周围组织间隙, 失血量增多[29]。李苏成等[30]回顾性分析接受单节段后入路腰椎椎体间融合术的 213 例女性患者病例。发现骨密度 T 值和围手术期隐性失血量呈负相关。骨密度降低及骨质疏松会增加围手术期患者隐性失血量。马明领等[31]对 358 例腰椎退变性疾病患者的一般资料, 采用单因素分析及多因素线性回归分析, 结果显示骨密度是改良后入路腰椎椎体间融合术隐性失血的独立影响因素($P < 0.05$)。何勇等[32]回顾性分析 61 例单节段微创 PLIF 手术患者的病历资料, 发现术中出血量与骨密度(BMD)呈负相关($r = -0.37, P = 0.035$), 与手术时间呈正相关($r = 0.34, P = 0.008$), 术中出血量 $= -0.63 \times \text{BMD} + 1.46 \times \text{手术时间}$, 骨密度(BMD)是腰椎 PLIF 术中出血量的重要因素之一。

3) 融合节段数

目前研究表明, 融合节段数是腰椎融合术的失血因素。Ge 等[33]通过对 96 例接受 Endo-LIF 的患者进行了回顾性分析, 研究发现在腰椎融合术中, 手术节段的增加将导致相当大的失血量, 尤其是在需要多节段手术时。Zhu 等[34]研究了 150 名接受腰椎后路椎间融合术的患者, 随机分为 3 组。研究发现手术时间和融合节段的数量是围手术期总失血相关的危险因素。Shi 等[25]分析了 368 名接受 TLIF 的患者, 单因素分析发现融合节段数($P < 0.001$)是经椎间孔腰椎融合术(TLIF)后手术引流量增加的危险因素。Li 等[35]对青少年特发性脊柱侧弯(AIS)患者进行回顾性分析, 研究共纳入 114 例患者, 采用多元线性回归法确定 TBL 和 HBL 的危险因素, 发现手术固定节段数($P = 0.014$)是 TBL 的危险因素, 而手术固定节数($P = 0.004$)是 HBL 的危险因子。邓罗义等[36]对行腰椎后路手术治疗 114 例患者的临床资料进行回顾性分析, 发现手术节段数和隐性失血量存在相关性(均 $P < 0.001$)。Wang 等[23]多中心回顾性研究了, 接受 UBE 手术患者的数据, 发现融合次数($P = 0.015$)是 HBL 的独立危险因素。

4) 手术方式

腰椎融合术的手术方式不同, 则手术对腰椎的创伤不同, 软组织剥离、手术腔隙、软组织间隙的程度也会不同, Huang 等[37]招募了 103 名符合条件的 LDD 患者, 比较了单侧双门内窥镜腰椎融合术(BE-LIF)和微创经椎间孔腰椎融合术(MIS-TLIF), 研究发现: BE-LIF 组的真实总失血量、术后失血量和隐性失血量显著减少。Shen 等[38]回顾性分析接受腰椎融合术的患者, 比较 Endo-LIF 和经椎间孔腰椎间融合术(TLIF)研究发现与开放式 TLIF 组相比, Endo-LIF 组的失血量显著减少。Son 等[39]纳入了四项回顾性观察性研究和一项前瞻性观察器研究, 包括 423 名患者(183 名 Endo-LIF 和 241 名 MIS-TLIF), 汇总数据分析显示, 相比于 MIS-TLIF, Endo-LIF 可减少围手术期的失血量。总体而言, 微创手术失血量少于传统开放手术。

5) 手术时间

手术时间是腰椎融合术失血的危险因素。Wen 等[40]回顾分析了接受 PLF 手术治疗的 169 名患者发现手术时间越长, 失血量就会越多。Lei 等[41]在对 143 例腰椎融合术患者进行分析时, 发现手术时间是失血的危险因素。Hersey 等[42]和 Abe 等[43]同样发现手术时间是接受腰椎融合术患者失血的危险因素。Guo 等[44]回顾性分析了腰椎间盘突出症或腰椎管狭窄症 52 例患者的病历资料, 发现手术时间是 HBL 的独立危险因素。Li 等[35]对青少年特发性脊柱侧弯(AIS)患者进行回顾性分析, 研究共纳入 114 例患者, 发现手术时间($P = 0.003$)是 TBL 的危险因素。邓罗义等[36]对腰椎间盘突出症患者 114 例的临床资料进行回顾性分析, 发现手术时间与失血量存在相关性($P < 0.001$)。郭文龙等[45]回顾性分析单侧双通道内镜下腰椎融合术治疗的 59 例患者, 发现手术时间($B = 2.236, P < 0.01$)是失血的危险因素。张睿等[16]回顾分析行 TLIF 手术的 94 例患者资料, 发现手术时间是失血的危险因素($P < 0.05$)。Wang 等[23]多中心回顾性研究了接受 UBE 手术患者的数据, 同样发现手术时间($P = 0.017$)是 HBL 的危险因素。

6) 术中终板损伤

术中终板损伤与术后引流量呈正相关。Shi 等[25]分析了 368 名接受 TLIF 的患者, 多因素 logistic 回归分析, 发现术中终板损伤($P = 0.017$)是经椎间孔腰椎融合术(TLIF)后手术引流量增加的危险因素。李慧等[46]对接受 TLIF 手术治疗的腰椎退行性疾病患者, 将患者分为术后引流量增加组(PDI 组)和非术后引流量增加组(NPDI 组), 多因素 Logistic 回归分析显示, 年龄 ≥ 65 岁、术中终板损伤是术后引流量增加的风险因素($P < 0.05$)。Spearman 相关性分析显示, 术中终板损伤与术后引流量呈正相关($r = 0.601, P < 0.001$)。

7) 麻醉方式与麻醉药物

腰椎融合术椎管内麻醉利于减少术中失血, 采用低压性麻醉、控制性降压、高容性血液稀释等技术, 能减少术中出血。在麻醉药物方面, 瑞芬太尼以及吗啡, 能明显减少手术过程中因创伤而产生的出血。右美托咪定可以实现有效且稳定的控制性降压, 减少腰椎融合术的失血。Shah 等[47]研究发现在腰椎融合术过程中, 采用避免体温过低、区域麻醉和允许性低血压等麻醉技术, 能减少围手术期失血。Hajjafari 等[48]采用随机、单盲、平行的设计方案, 将 78 例患者随机分为两组进行研究, 比较使用容量控制通气(VCV)与压力控制通气(PCV)对接受后腰椎椎间融合术(PLIF)手术的患者失血的影响。研究发现, 通气方式在失血量方面无显著差异。Dunn 等[49]单中心回顾研究了接受择期俯卧位脊柱手术的 822 例患者的电子病历, 多元线性回归模型检查呼吸机模式和呼吸机参数发现, 机械通气方式和气道压力均与术中失血或同种异体输血需求无关。

8) 术后加压与引流方式

腰椎融合术后要引流积留在肌肉腔隙和手术腔隙的血液, 防止血肿, 皮下瘀斑的形成[50]。但持续引流可引起肌肉腔隙和手术腔隙的压力降低, 腔隙的压力不足以压迫渗血的毛细血管, 从而渗血的毛细血

管持续出血[51][52]。夹闭引流管可以使得压力升高,从而实现压迫止血。腰椎术后患者采取仰卧位,术后加压包扎也可以减少围手术期失血。Buser等[53]研究了使用外科引流管的671名腰椎术后患者,386名(57.5%)有引流管,285名(42.5%)无引流管。研究表明,放置引流管不会增加失血。Yin等[54]连续对219例接受颈前路椎体融合术(ACCF)的患者进行回顾性研究。患者被分为低隐性失血(HBL)组或高HBL组,结果显示总引流量(OR = 0.970, P = 0.000)是高隐性失血的危险因素。Chen等[55]对接受脊柱融合术的132例患者进行了回顾分析,并根据不同压力引流将其分为负压引流组和自然压力引流组。64名患者进行了负压引流,68名患者进行自然压力引流。研究发现自然压力引流能显著减少术后引流量和留置时间,但不增加术后并发症。

9) 高血压、糖尿病

糖尿病,高血压是术后隐性失血的潜在危险因素。Dai等[56]对接受微创混合腰椎融合术的100名腰椎退行性疾病患者,采用多因素线性回归模型分析发现糖尿病(P < 0.05)、高血压(P < 0.05)是术后隐性失血的潜在危险因素。Ge等[24]对96例接受Endo-LIF的患者(23名男性,73名女性)进行了回顾性分析,研究发现高血压(P = 0.000)是Endo-LIF手术中HBL的危险因素。Lu等[57]回顾性研究了215例接受微创经椎间孔腰椎融合术(MI-TLIF)的患者,采用单因素分析和多因素logistic回归分析,发现糖尿病(P = 0.008, OR: 6.988)、高血压是术后脊髓硬膜下血肿的显著独立危险因素。Zhang等[17]回顾性分析接受TLIF治疗的患者,Pearson相关性分析显示,高血压是术后隐性失血的潜在危险因素。

10) 血红蛋白和红细胞压积

腰椎融合术中血红蛋白和红细胞压积与失血相关。Khashab等[15]回顾了95例接受TLIF的患者记录,发现HBL相关的重要因素,是术前血红蛋白和红细胞压积以及血红蛋白和红细胞压积的降低。李苏成等[30]回顾性分析接受单节段后入路腰椎椎体间融合术的213例患者,进行多元线性回归分析,发现术前血红蛋白和术前红细胞压积对围手术期隐性失血量有统计学意义,是其独立危险因素。王利等[58]对经后路行腰椎椎体间融合术83例老年腰椎管狭窄症患者研究,发现血红蛋白下降量是腰椎椎体间融合术隐性失血的影响因素(P < 0.05)。王沛等[59]回顾性分析MIS-TLIF手术的130例腰椎退行性疾病患者资料,相关性分析显示:红细胞压积(Hct)减少量,血红蛋白(Hb)减少量与HBL之间存在正相关性(均为P < 0.001)。Zhou等[5]研究137名腰椎退行性疾病患者,多元线性回归显示,术后(即第2或3天)红细胞压积(Hct)是HBL的独立危险因素。

11) BMI 指数

BMI指数对失血量尚且存在争议。Snopko等[60]前瞻性分析了接受退行性腰椎疾病手术治疗的患者,并且对371名患者的数据进行了评估,研究显示,肥胖是退行性腰椎手术后脊髓硬膜外血肿(SEDH)发生的危险因素。Sharma等[61]进行一项回顾性研究,发现在接受微创TLIF(MI-TLIF)治疗退行性腰椎病变的207例患者中,肥胖患者的失血量和术后ICU住院时间较高。Claydon等[26]对364例患者的病例资料进行研究,发现BMI增加是围手术期的失血的独立危险因素。Xi等[62]对加州大学旧金山分校接受斜腰椎椎间融合术(OLIF)的患者进行回顾性评价,238例患者被分为肥胖组和非肥胖组,研究发现肥胖和病态肥胖通常不会增加OLIF的失血。张心灵等[63]收集173例固定融合术的DLS患者的临床资料,根据术中失血量分为大量失血组(失血分数 ≥ 30%)和非大量失血组(失血分数 < 30%),采用单因素分析及多因素Logistics回归分析发现,BMI每增加1 kg/m²,术中大量失血风险降低9.3%,BMI较小是导致术中大量失血的独立危险因素。

12) Cobb 角

腰椎融合术中Cobb角是失血的独立危险因素。有研究表明:Cobb角大会引起肌肉软组织剥离、椎板截骨量变多,从而导致腰椎融合术围手术期失血量增加。张心灵等[63]收集173例固定融合术的DLS

患者的临床资料, 根据术中失血量分为大量失血组(失血分数 $\geq 30\%$)和非大量失血组(失血分数 $< 30\%$), 采用单因素分析及多因素 Logistics 回归分析发现术中 Cobb 角矫正值每增加 1° 、固定节段每增加 1 个节段, 术中大量失血风险分别增加 5.9%、58.9%, Cobb 角矫正值增加是导致术中大量失血的独立危险因素。

13) 美国麻醉师协会(ASA)分类

美国麻醉师协会(ASA)分类是失血的独立危险因素。Wang 等[23]多中心回顾性研究了 136 名腰椎退行性疾病患者的电子病历数据, 采用多因素线性回归分析, 发现美国麻醉师协会(ASA)分类($P = 0.046$)是 HBL 的独立危险因素。Raman 等[64]对 909 例成人脊柱畸形(ASD)患者进行回顾性研究, 使用条件推理树分析(一种机器学习方法)发现美国麻醉师协会(ASA)评分 > 1 , 是术中失血百分比增加和围手术期红细胞输注的风险因素。郭文龙等[45]回顾性分析 UBE-TLIF 治疗的 59 例腰椎退行性疾病患者的临床资料, 采用单因素方差分析、Pearson 相关性检验和多元线性回归分析发现: ASA 分级($B = 77.589, P < 0.01$)是隐性失血的独立危险因素。王沛等[59]回顾性分析 MIS-TLIF 手术的 130 例腰椎退行性疾病患者资料, 发现 ASA 分级是 MIS-TLIF 术后 HBL 增加的独立危险因素($P < 0.05$)。Zhou 等[5]研究接受了 MIS-TLIF 技术手术的 137 名腰椎退行性疾病患者, 多元线性回归显示, 患者麻醉师协会(ASA)分类是 HBL 的独立危险因素

14) 吸烟

吸烟是术后引流量增加的风险因素。Shi 等[25]分析了 368 名接受 TLIF 的患者, 多因素 logistic 回归分析, 发现吸烟($P = 0.005$)是经椎间孔腰椎融合术(TLIF)后手术引流量增加的危险因素。李慧等[46]对接受 TLIF 手术治疗的腰椎退行性疾病患者, 将患者分为术后引流量增加组(PDI 组)和非术后引流量增加组(NPDI 组), 多因素 Logistic 回归分析显示, 吸烟是术后引流量增加的风险因素($P < 0.05$)。

15) 总血容量

总血容量(PBV)与 HBL 之间存在正相关性。Khashab 等[15]回顾了 95 例接受 TLIF 的患者记录, 发现患者总血容量是 HBL 相关的重要因素。王沛等[59]回顾性分析 MIS-TLIF 手术的 130 例腰椎退行性疾病患者资料, 相关性分析显示:总血容量(PBV)与 HBL 之间存在正相关性(均为 $P < 0.001$)。Zhou 等[5]研究接受了 MIS-TLIF 技术手术的 137 名腰椎退行性疾病患者, 多元线性回归显示, 患者血容量(PBV)、总失血量(TBL)是 HBL 的独立危险因素。

16) 手术水平的肌肉厚度

目标水平的肌肉厚度可能是 HBL 的独立危险因素。Dai 等[56]对接受微创混合腰椎融合术的 100 名腰椎退行性疾病患者, 采用多因素线性回归模型分析发现腰大肌厚度($p < 0.05$)和背侧伸肌群厚度($P < 0.05$)是术后隐性失血的潜在危险因素。Guo 等[44]回顾性分析了腰椎间盘突出症或腰椎管狭窄症 52 例患者的病历资料, 研究发现目标水平的椎旁肌肉厚度是 HBL 的独立危险因素。Zhou 等[5]回顾性研究了 MIS-TLIF 技术手术的 137 名患者, 发现肌肉厚度是 HBL 的独立危险因素。王沛等[59]回顾性分析 MIS-TLIF 手术的 130 例腰椎退行性疾病患者资料, 相关性分析显示:皮下脂肪厚度, 肌肉厚度与 HBL 之间存在正相关性(均为 $P < 0.001$)。

17) 纤维蛋白原

纤维蛋白原与 HBL 有关。Zhou 等[5]研究接受了 MIS-TLIF 技术手术的 137 名腰椎退行性疾病患者, 多元线性回归显示, 纤维蛋白原水平是 HBL 的独立危险因素。Zhang 等[17]回顾性分析接受 TLIF 治疗的患者, Pearson 相关性分析显示纤维蛋白原与 HBL 存在统计学显著差异。

18) 手术入路

手术入路不同则失血量不同比如微创小切口的失血量少于传统开放 PLIF 的失血量。Huang 等[65]回顾性分析了 61 例老年腰椎退行性病变手术治疗的临床资料, 比较了单侧入路与常规入路经椎间孔腰椎间

融合术(TLIF)腰椎退行性疾病的失血量, 研究发现, 单侧入路双侧减压(BDUA)术中出血量($P < 0.05$)和术后引流($P < 0.05$)明显减少。因此, 单侧入路双侧减压(BDUA)能够减少老年入术中和术后体液流失。

19) 截骨量

前路腰椎融合术与后路腰椎融合术在截骨量, 椎板减压, 植骨, 内固定等操作方式的不同, 会影响截骨的渗血的总面积, 从而影响腰椎融合术的围手术期失血量。椎板减压截骨造成腰椎创伤, 椎体骨面破坏, 增加渗血。Raman 等[64]对 909 例成人脊柱畸形(ASD)患者进行回顾性研究, 使用条件推理树分析, 发现接受后柱截骨术的患者术中失血风险最高。李多依等[66]回顾性分析了 108 例先天性脊柱侧凸患儿, 进行后路截骨矫形术(腰椎截骨 48 例, 胸椎截骨 60 例)的病历资料, 研究发现截骨量的增加会使得失血量增加。

20) 其他因素

影响腰椎融合术围手术期失血的因素有很多。除了上述因素外, 还有很多因素比如: 身高、体重、性别、合并基础疾病、饮酒、异体输血溶血、手术时机、手术缝合方式、术中温度、术中体位、感染、手术应激性溃疡、全身炎症反应综合征等因素。但目前研究表明, 这些因素尚且存在争议, 仍然需要更多大样本的临床研究来验证这些失血因素。

5. 腰椎融合术止血措施

腰椎附近有丰富的椎管静脉丛, 纵横交织的血管网, Batson 静脉丛位于腰椎附近, 由于人体结构差异, 血管网的分部各异, 出血后止血十分困难, 术中脊柱医生采取双极电凝止血, 明胶海绵填塞, 骨蜡止血, 控制性降压[67], 低压麻醉等一系列止血措施, 减少术中出血。维持体温正常, 局部止血剂和低血压麻醉(平均动脉压(MAP) < 65 mmHg)在暴露量较大且预期失血量较高的情况下应予以强烈考虑[19]。有强有力的 1 级证据表明在脊柱手术中使用 TXA, 因为它减少了总体失血和输血需求。现将腰椎融合术的止血措施归纳总结如下:

5.1. 氨甲环酸

氨甲环酸药物的应用能显著减少腰椎融合术围手术期失血量。Xu 等[68]进行了一项随机对照试验(RCT), 根据简单的等概率随机化方案分组, PLIF 手术结束时, TXA 组, 患者的手术区域被 TXA 浸泡混合 5 分钟后缝合伤口; 对照组, 将手术区域浸入相同体积的生理盐水中, 研究发现 TXA 组术后总引流量均明显低于对照组($P = 0.001$), 局部应用 TXA 可减少术后出血。Emrah 等[69]进行了一项横断面比较研究, 将患者分为两组: A 组(30 例), 其中在手术结束时将 1 g 局部 TXA 应用于手术部位; B 组(30 例)未接受此药物的治疗。研究发现: A 组的术后出血量(138.1 ± 55.6 mL)低于 B 组(230.3 ± 65.4 mL)。因此, TXA 在脊柱融合术中的局部应用减少了围手术期的失血。Zhu 等[34]研究了接受腰椎后路椎间融合术的 150 名腰椎退行性疾病患者, 研究发现: 使用 TXA 的总失血量、隐性失血量和术后引流量最低; TXA 可显著降低腰椎后融合术患者的总失血量、隐性失血量和术后引流量, 并降低血红蛋白和红细胞压积下降, 而不会增加并发症的风险。

5.2. 氨甲环酸联合利伐沙班

最新研究表明氨甲环酸联合利伐沙班, 能减少失血并且预防静脉血栓栓塞(VTE)形成。Zhang 等[70]研究调查了 599 名患者, 使用氨甲环酸(TXA)和利伐沙班联合治疗腰椎滑脱的后腰椎椎间融合术(PLIF)的临床试验。发现氨甲环酸和利伐沙班的联合应用显著降低了 PLIF 手术期间的失血量和输血率, 并避免了血栓形成和硬膜外血肿发生概率的增加。Yang 等[71]研究发现, 老年 LIF 患者围手术期使用氨甲环酸

序贯利伐沙班,可以有效减少失血量和输血患者比例,而不会增加术后血栓形成的风险。Li 等[72]在一项前瞻性、随机、双盲、安慰剂对照研究中,研究发现:TXA 联合利伐沙班治疗前路/椎间孔腰椎椎间融合术(PLIF/TLIF)的患者可安全有效降低 VTE 相关 D-二聚体水平,减少失血量并且预防静脉血栓栓塞(VTE)形成。

5.3. 明胶 - 凝血酶基质封闭剂

明胶 - 凝血酶基质封闭剂是一种新型止血材料,国外最新研究表明使用明胶 - 凝血酶基质封闭剂可以有效减少脊柱融合手术围手术期失血。Abe 等[43]在单节段经椎间孔腰椎融合术中,比较了使用明胶 - 凝血酶基质封闭剂(GTMS 组)和未使用明胶 - 抗凝血酶基质封闭剂(对照组)的患者,研究发现,GTMS 组的术中真实总出血量和隐性出血量明显低于对照组。因此,明胶 - 凝血酶基质封闭剂的使用减少了经椎间孔腰椎融合术围手术期的失血。Ng 等[73]开展了一项随机对照试验,在闭合 TLIF 手术伤口前,预防性应用 Floseal (一种明胶和凝血酶基止血基质),发现在单级或两级 TLIF 中,预防性使用 Floseal 并不能减少术后出血。

5.4. 水溶性骨蜡(Tableau 蜡)

国外脊柱外科学者,最新报道了一种水溶性骨蜡(Tableau 蜡)止血材料,能显著减少腰椎融合术的失血。Kim 等[74]进行了单一机构的研究,31 名患者接受了经椎间孔腰椎融合术,并被随机分为对照组(骨蜡)或试验组(Tableau 蜡),研究显示:两组患者术前和术后血红蛋白水平、Oswestry 残疾指数和 EQ-5D 评分无显著差异。Tableau 蜡组的血红蛋白水平(1.3 ± 1.0 g/dL)和失血量(438.2 mL)的降低显著较低,与骨蜡组(分别为 2.2 ± 0.9 g/dL 和 663.1 mL; $P = 0.018$ 和 $P = 0.022$)相比。

5.5. 急性高容量血液稀释(AHH)和控制性低血压(CH)

最新研究表明脊柱融合术,使用急性高容量血液稀释(AHH)、控制性低血压(CH)可以降低失血的发生率[75]。Elnaghy 等[75]团队将 60 名计划进行脊柱后部融合术的患者,随机分为三组,每组 20 名患者(第一组(AHH)、第二组(AHH-联合瑞芬太尼 7 基 CH)和第三组(AHH-联合硫酸镁基 CH))。记录估计的失血量和输注的填充红细胞(PRBCS)的总体积,检测血红蛋白(Hb)和红细胞压积(HCT)。研究发现:I 组的估计失血量、失血百分比和术中红细胞输注单位显著较高,与 II 组和 III 组相比。

6. 总结

综上所述,腰椎融合术围手术期失血量大,是造成老年患者术后贫血、伤口愈合缓慢、延长住院时间的主要原因。腰椎融合术围手术期失血的主要因素有年龄、骨质疏松、融合节段数、手术方式与截骨、手术时间、术中终板损伤、麻醉方式与麻醉药物、术后加压与引流方式、高血压、糖尿病、血红蛋白和红细胞压积、Cobb 角、美国麻醉师协会(ASA)分类、总血容量、手术水平的肌肉厚度、纤维蛋白原等。目前研究表明,尚且存在争议的因素有:吸烟、BMI 指数、身高、体重、性别、合并基础疾病、饮酒、异体输血溶血、手术时机、手术缝合方式、术中温度、术中体位、感染、手术应激性溃疡、全身炎症反应综合征等因素。腰椎融合术围手术期失血因素众多,在未来医生必须意识到腰椎融合术失血的严重性,重视腰椎融合术的失血因素,充分评估患者情况、及时使用止血措施以及止血设备,准确使用止血药物,以减少腰椎融合术围手术期的失血量[76]。从而促进康复,改善患者预后,减少手术的并发症。

参考文献

- [1] Hoffeld, K., Lenz, M., Egenolf, P., *et al.* (2023) Patient-Related Risk Factors and Lifestyle Factors for Lumbar Dege-

- nerative Disc Disease: A Systematic Review. *Neurochirurgie*, **69**, Article ID: 101482. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2023.101482>
- [2] Guo, H., Song, Y., Weng, R., et al. (2022) Comparison of Clinical Outcomes and Complications between Endoscopic and Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine Journal*, **13**, 1394-1404. <https://doi.org/10.1177/21925682221142545>
- [3] Han, H., Song, Y., Li, Y., et al. (2023) Short-Term Clinical Efficacy and Safety of Unilateral Biportal Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion versus Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion in the Treatment of Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 656. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04138-0>
- [4] Chanbour, H., Chen, J.W., Roth, S.G., et al. (2023) How Much Blood Loss Is Too Much for a 1-Level Open Lumbar Fusion? *International Journal of Spine Surgery*, **17**, 146-155. <https://doi.org/10.14444/8395>
- [5] Zhou, Y., Fu, X., Yang, M., et al. (2020) Hidden Blood Loss and Its Possible Risk Factors in Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **15**, Article No. 445. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01971-5>
- [6] Wang, L., Liu, J., Song, X., et al. (2021) Hidden Blood Loss in Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients Undergoing Posterior Spinal Fusion Surgery: A Retrospective Study of 765 Cases at a Single Centre. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 794. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04681-z>
- [7] Nelson, A.R. and Brown, L.B. (1966) Hidden Hemorrhage: An Uncommon Complication of a Common Operation. *Arizona Medicine*, **23**, 919-921.
- [8] Sykes, M.K. (1975) Indications for Blood Transfusion. *Canadian Anaesthetists' Society Journal*, **22**, 3-11. <https://doi.org/10.1007/BF03004813>
- [9] Zhang, R., Xing, F., Yang, Z., et al. (2020) Analysis of Risk Factors for Perioperative Hidden Blood Loss in Patients Undergoing Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Journal of International Medical Research*, **48**. <https://doi.org/10.1177/0300060520937848>
- [10] Gross, J.B. (1983) Estimating Allowable Blood Loss: Corrected for Dilution. *Anesthesiology*, **58**, 277-280. <https://doi.org/10.1097/0000542-198303000-00016>
- [11] Xiao, P., Wu, X.J. and Liu, H.J. (2008) Hidden Blood Loss after Hip and Knee Arthroplasty. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*, **12**, 635-638.
- [12] Alswat, M.M., Samman, A.T. and Elkhalfa, M. (2023) Hidden Blood Loss in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: An Analysis of Underlying Factors. *Cureus*, **15**, e35126.
- [13] Nadler, S.B., Hidalgo, J.H. and Bloch, T. (1962) Prediction of Blood Volume in Normal Human Adults. *Surgery*, **51**, 224-232.
- [14] Sehat, K.R., Evans, R. and Newman, J.H. (2000) How Much Blood Is Really Lost in Total Knee Arthroplasty? Correct Blood Loss Management Should Take Hidden Loss into Account. *Knee*, **7**, 151-155. [https://doi.org/10.1016/S0968-0160\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0968-0160(00)00047-8)
- [15] Khashab, M., Alswat, M.M., Samman, A.T., et al. (2023) Hidden Blood Loss in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: An Analysis of Underlying Factors. *Cureus*, **15**, e35126. <https://doi.org/10.7759/cureus.35126>
- [16] 张睿, 林国雄, 高敏, 等. 经椎间孔腰椎椎体间融合术围手术期隐性失血的相关因素分析[J]. 现代医药卫生, 2020, 36(12): 1802-1804.
- [17] Zhang, R., Xing, F., Yang, Z., et al. (2020) Analysis of Risk Factors for Perioperative Hidden Blood Loss in Patients Undergoing Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Journal of International Medical Research*, **48**. <https://doi.org/10.1177/0300060520937848>
- [18] Peng, Y., Fan, Z., Wang, Q., et al. (2023) Comparison of the Total and Hidden Blood Loss in Patients Undergoing Single-Level Open and Unilateral Biportal Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Retrospective Case Control Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 295. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06393-y>
- [19] Mikhail, C., Pennington, Z., Arnold, P.M., et al. (2020) Minimizing Blood Loss in Spine Surgery. *Global Spine Journal*, **10**, 71S-83S. <https://doi.org/10.1177/2192568219868475>
- [20] Godolias, P., Tataryn, Z.L., Plümer, J., et al. (2023) Cage Subsidence—A Multifactorial Matter! *Die Orthopädie*, **52**, 662-669. <https://doi.org/10.1007/s00132-023-04363-9>
- [21] Wang, Y., Zhou, Y., Chai, X., et al. (2022) [Application of Three-Dimensional Printed Porous Titanium Alloy Cage and Poly-Ether-Ether-Ketone Cage in Posterior Lumbar Interbody Fusion]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **36**, 1126-1131.
- [22] Kara, G.K., Kavak, H., Gökçen, B., et al. (2022) The Effects of Patient Related Factors On Hidden and Total Blood

- Loss in Single-Level Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgery. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, **56**, 262-267. <https://doi.org/10.5152/j.aott.2022.21380>
- [23] Wang, H., Wang, K., Lv, B., et al. (2021) Analysis of Risk Factors for Perioperative Hidden Blood Loss in Unilateral Biportal Endoscopic Spine Surgery: A Retrospective Multicenter Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **16**, Article 559. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02698-7>
- [24] Ge, Z., Zhao, W., Wu, Z., et al. (2023) Hidden Blood Loss and Its Possible Risk Factors in Full Endoscopic Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Personalized Medicine*, **13**, Article 674. <https://doi.org/10.3390/jpm13040674>
- [25] Shi, H., Zhou, Z.M., Xu, Z.Y., et al. (2021) Risk Factors for Increased Surgical Drain Output after Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *World Neurosurgery*, **151**, e1044-e1050. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.05.059>
- [26] Claydon, M.H., Biddau, D.T., Laggoune, J.P., et al. (2022) Who Bleeds during Elective Anterior Lumbar Surgery? *North American Spine Society Journal*, **12**, Article ID: 100180. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2022.100180>
- [27] Liu, C., Guo, C., Meng, F., et al. (2023) Perioperative Risk Factors Related to Complications of Lumbar Spine Fusion Surgery in Elderly Patients. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 573. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06689-z>
- [28] Mosekilde, L. (2000) Age-Related Changes in Bone Mass, Structure, and Strength—Effects of Loading. *Zeitschrift für Rheumatologie*, **59**, 11-19. <https://doi.org/10.1007/s003930070031>
- [29] Fger-Samwald, U., Dovjak, P., Azizi-Semrad, U., et al. (2020) Osteoporosis: Pathophysiology and Therapeutic Options. *EXCLI Journal*, **19**, 1017-1037.
- [30] 李苏成, 傅栋铭, 李然, 等. 骨质疏松症对后入路腰椎椎体间融合术患者围手术期隐性失血的影响[J]. 骨科临床与研究杂志, 2021, 6(5): 275-279.
- [31] 马明领, 马子健, 董辉, 等. 改良后入路腰椎椎体间融合术隐性失血的影响因素分析[J]. 临床医学研究与实践, 2023, 8(8): 9-12.
- [32] 何勇, 赵凤东, 范顺武. 微创腰椎后路减压椎间植骨融合内固定术中出血量与骨密度的关系[J]. 中华骨科杂志, 2013, 33(2): 142-146.
- [33] Ge, Z., Zhao, W., Wu, Z., et al. (2023) Hidden Blood Loss and Its Possible Risk Factors in Full Endoscopic Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Personalized Medicine*, **13**, Article 674. <https://doi.org/10.3390/jpm13040674>
- [34] Zhu, X., Shi, Q., Li, D., et al. (2020) Two Doses of Tranexamic Acid Reduce Blood Loss in Primary Posterior Lumbar Fusion Surgery: A Randomized-Controlled Trial. *Clinical Spine Surgery*, **33**, E593-E597. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000999>
- [35] Li, X., Ding, W., Zhao, R., et al. (2022) Risk Factors of Total Blood Loss and Hidden Blood Loss in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Retrospective Study. *BioMed Research International*, **2022**, Article ID: 9305190. <https://doi.org/10.1155/2022/9305190>
- [36] 邓罗义, 杨华, 宁旭, 等. 腰椎后路手术患者隐性失血的影响因素[J]. 骨科临床与研究杂志, 2022, 7(4): 245-250.
- [37] Huang, X., Wang, W., Chen, G., et al. (2023) Comparison of Surgical Invasiveness, Hidden Blood Loss, and Clinical Outcome between Unilateral Biportal Endoscopic and Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Disease: A Retrospective Cohort Study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 274. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06374-1>
- [38] Shen, X., Zhang, P., Gao, Y., et al. (2023) Which Surgery Is Better for Obese Patients with Lumbar Degenerative Diseases: Open TLIF or Endo-LIF? A Retrospective Matched Case-Control Study. *Neurochirurgie*, **69**, Article ID: 101479. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2023.101479>
- [39] Son, S., Yoo, B.R., Lee, S.G., et al. (2022) Full-Endoscopic Versus Minimally Invasive Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **65**, 539-548. <https://doi.org/10.3340/jkns.2021.0168>
- [40] Wen, L., Jin, D., Xie, W., et al. (2018) Hidden Blood Loss in Posterior Lumbar Fusion Surgery. *Clinical Spine Surgery*, **31**, 180-184. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000626>
- [41] Lei, F., Li, Z., He, W., et al. (2020) Hidden Blood Loss and the Risk Factors after Posterior Lumbar Fusion Surgery: A Retrospective Study. *Medicine*, **99**, e20103. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020103>
- [42] Hersey, A.E., Durand, W.M., Eltorai, A.E.M., et al. (2018) Longer Operative Time in Elderly Patients Undergoing Posterior Lumbar Fusion Is Independently Associated with Increased Complication Rate. *Global Spine Journal*, **9**, 179-184. <https://doi.org/10.1177/2192568218789117>
- [43] Abe, T., Miyazaki, M., Sako, N., et al. (2023) Efficacy of Gelatin-Thrombin Matrix Sealants for Blood Loss in Single-Level Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Medicine*, **102**, e34667. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034667>

- [44] Guo, S., Tan, H., Meng, H., *et al.* (2022) Risk Factors for Hidden Blood Loss in Unilateral Biportal Endoscopic Lumbar Spine Surgery. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 966197. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.966197>
- [45] 郭文龙, 李统, 余洋, 等. 单侧双通道内镜下腰椎融合术后隐性失血的危险因素分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2023, 33(6): 497-504.
- [46] 李慧. 经椎间孔腰椎椎间融合术后引流量增加的危险因素[J]. 颈腰痛杂志, 2023, 44(4): 593-596.
- [47] Shah, A., Palmer, A.J.R. and Klein, A.A. (2020) Strategies to Minimize Intraoperative Blood Loss during Major Surgery. *British Journal of Surgery*, **107**, e26-e38. <https://doi.org/10.1002/bjs.11393>
- [48] Hajjafari, M., Ziloochi, M.H., Salimian, M., *et al.* (2023) Surgical Bleeding in Patients Undergoing Posterior Lumbar Inter-Body Fusion Surgery: A Randomized Clinical Trial Evaluating the Effect of Two Mechanical Ventilation Mode Types. *European Journal of Medical Research*, **28**, Article No. 114. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01080-z>
- [49] Dunn, L.K., Taylor, D.G., Chen, C.J., *et al.* (2020) Ventilator Mode Does Not Influence Blood Loss or Transfusion Requirements during Major Spine Surgery: A Retrospective Study. *Anesthesia & Analgesia*, **130**, 100-110. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004322>
- [50] Wang, C., Wang, X., Yang, Z., *et al.* (2023) Comparative Study on the Selection of Drainage Methods in Posterior Lumbar Interbody Fusion. *BMC Surgery*, **23**, Article No. 207. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02106-3>
- [51] Yuan, Y., Zhang, H.J., Zhang, B., *et al.* (2019) [Case-Control Study on Effect of Early Intermittently Closing Drainage Tube for Blood Loss after Total Knee Arthroplasty]. *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **32**, 60-63.
- [52] Guo, W.K., Huang, J., Liu, S.L., *et al.* (2020) [Effect of Indwelling Drainage Tube and Extubation Time On Recessive Hemorrhage and Functional Recovery after Total Hip Arthroplasty]. *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **33**, 716-720.
- [53] Buser, Z., Chang, K., Kall, R., *et al.* (2022) Lumbar Surgical Drains Do Not Increase the Risk of Infections in Patients Undergoing Spine Surgery. *European Spine Journal*, **31**, 1775-1783. <https://doi.org/10.1007/s00586-022-07130-0>
- [54] Yin, H., He, X., Luo, Z., *et al.* (2019) Analysis of Related Risk Factors of Hidden Blood Loss after Anterior Cervical Fusion. *Der Orthopäde*, **48**, 618-625. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-3652-2>
- [55] Chen, T., Chang, H., Liu, K., *et al.* (2020) Drainage after Posterior Single-Level Instrumented Lumbar Fusion: Natural Pressure vs Negative Pressure. *Medicine*, **99**, e19154. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019154>
- [56] Dai, Z., Feng, D.P., Wu, K.L., *et al.* (2022) Hidden Blood Loss of Minimally Invasive Hybrid Lumbar Interbody Fusion: An Analysis of Influencing Factors. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 1099. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06079-x>
- [57] Lu, J., Zhang, W., Jiang, G., *et al.* (2023) Risk Factors for Spinal Subdural Hematoma after Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (MI-TLIF): A Multivariate Analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 939. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06902-z>
- [58] 王利, 许步伟, 孙焕建. 老年腰椎管狭窄术后隐性失血危险因素分析[J]. 长春中医药大学学报, 2023, 39(10): 1156-1159.
- [59] 王沛, 强晓军, 李原, 等. MIS-TLIF 术的隐性失血情况及其风险因素分析[J]. 颈腰痛杂志, 2023, 44(2): 162-166.
- [60] Snopko, P., Opsenak, R., Hanko, M., *et al.* (2021) Is Obesity A Significant Risk Factor of Symptomatic Spinal Epidural Hematoma after Elective Degenerative Lumbar Spine Surgery? *Bratislava Medical Journal*, **122**, 594-597. <https://doi.org/10.4149/BLL.2021.095>
- [61] Sharma, A., Shakya, A., Singh, V., *et al.* (2021) Does a High BMI Affect the Outcome of Minimally Invasive TLIF? A Retrospective Study of 207 Patients. *European Spine Journal*, **30**, 3746-3754. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06907-z>
- [62] Xi, Z., Burch, S., Mummaneni, P.V., *et al.* (2020) The Effect of Obesity on Perioperative Morbidity in Oblique Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **33**, 203-210. <https://doi.org/10.3171/2020.1.SPINE191131>
- [63] 张心灵, 袁磊, 曾岩, 等. 退变性腰椎侧凸后路长节段固定融合术中大量失血的相关危险因素分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(5): 414-421.
- [64] Raman, T., Vasquez-Montes, D., Varlotta, C., *et al.* (2020) Decision Tree-Based Modelling for Identification of Predictors of Blood Loss and Transfusion Requirement after Adult Spinal Deformity Surgery. *International Journal of Spine Surgery*, **14**, 87-95. <https://doi.org/10.14444/7012>
- [65] Huang, Y., Chen, J., Gao, P., *et al.* (2021) A Comparison of the Bilateral Decompression via Unilateral Approach versus Conventional Approach Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for the Treatment of Lumbar Degenerative Disc Disease in the Elderly. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 156. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04026-w>
- [66] 李多依, 刘昊楠, 张建敏, 等. 先天性脊柱侧凸患儿后路截骨矫形术中大量失血的危险因素[J]. 中华麻醉学杂志,

2021, 41(4): 427-429.

- [67] 舒礼佩. 控制性降压技术在骨科手术中的应用[J]. 中外医疗, 2019, 38(21): 194-198.
- [68] Xu, D., Chen, X., Li, Z., *et al.* (2020) Tranexamic Acid Reduce Hidden Blood Loss in Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF) Surgery. *Medicine*, **99**, e19552. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019552>
- [69] Emrah, K., Ali, A.H., Utku, O., *et al.* (2021) Efficacy of Tranexamic Acid on Blood Loss in Thoracolumbar Spinal Fusion Surgery. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, **31**, 1449-1454. <https://doi.org/10.29271/jcpsp.2021.12.1449>
- [70] Zhang, L., Li, Y., Liu, D., *et al.* (2020) Combined Use of Tranexamic Acid and Rivaroxaban in Posterior Lumbar Interbody Fusion Safely Reduces Blood Loss and Transfusion Rates without Increasing the Risk of Thrombosis—A Prospective, Stratified, Randomized, Controlled Trial. *International Orthopaedics*, **44**, 2079-2087. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04699-3>
- [71] Yang, X., Hao, D., Wang, X., *et al.* (2020) [Efficacy and Safety of Tranexamic Acid Sequential Rivaroxaban on Blood Loss in Elderly Patients during Lumbar Interbody Fusion]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **34**, 1158-1162.
- [72] Li, X., Jiao, G., Li, J., *et al.* (2023) Combined Use of Tranexamic Acid and Rivaroxaban in Posterior/Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgeries Safely Reduces Blood Loss and Incidence of Thrombosis: Evidence from a Prospective, Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Global Spine Journal*, **13**, 1229-1237. <https://doi.org/10.1177/21925682211024556>
- [73] Ng, E.P., Tung, K.L., Yip, S.L., *et al.* (2023) A Prospective Randomised Controlled Trial Evaluating Prophylactic Flo-seal, a Gelatin and Thrombin-Based Haemostatic Matrix, in Postoperative Drain Output and Blood Transfusion in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgery. *European Spine Journal*, **32**, 2282-2287. <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07748-8>
- [74] Kim, J.G., Ham, D.W., Zheng, H., *et al.* (2023) Evaluating the Efficacy of Water-Soluble Bone Wax (Tableau Wax) in Reducing Blood Loss in Spinal Fusion Surgery: A Randomized, Controlled, Pilot Study. *Medicina*, **59**, Article 1545. <https://doi.org/10.3390/medicina59091545>
- [75] Elnaghy, K.M., Nasr, I. and Kamal, E.M. (2021) Acute Hypervolemic Hemodilution Combined with Controlled Hypotension to Minimize Blood Loss during Operations of Spine Fusion: Remifentanyl versus Magnesium Sulfate. *Ain-Shams Journal of Anesthesiology*, **13**, Article No. 51. <https://doi.org/10.1186/s42077-021-00165-3>
- [76] Lo, W.C., Tsai, L.W., Yang, Y.S., *et al.* (2021) Understanding the Future Prospects of Synergizing Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Surgery with Ceramics and Regenerative Cellular Therapies. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 3638. <https://doi.org/10.3390/ijms22073638>