



李帅,郭以哲,赵兴凯,等. 不同规格缝线对猫腹壁组织炎症反应与缝合强度的影响[J]. 南京农业大学学报,2024,47(5):948-956.
LI Shuai, GUO Yizhe, ZHAO Xingkai, et al. Effects of different suture gauges on inflammation and suture intensity of abdominal wall tissue in cats[J].
Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(5): 948-956.

不同规格缝线对猫腹壁组织炎症反应 与缝合强度的影响

李帅,郭以哲,赵兴凯,郎东,周振雷*

(南京农业大学动物医学院,江苏 南京 210095)

摘要:[目的]缝线可为手术切口提供充足的作用力并维持创缘对合,促进愈合,但缝线引起的异物反应可加剧组织炎症,影响组织愈合。本试验旨在探究不同规格缝线缝合猫腹壁后缝合强度及组织炎症反应差异。[方法]取猫皮肤与肌肉组织样本,使用 USP 2-0、3-0、4-0、5-0 PGA 缝线缝合,测定组织缝合强度。在猫腹壁肌肉植入不同规格缝线,分别于植入后 1、14 和 90 d 采样,检测炎症因子水平,评估炎症反应强度。[结果]在体外试验中,USP 5-0 PGA 缝线组发生更多的缝线断裂,在 50%应变以下,各组间应力无显著差异($P>0.05$);最大抗张力时,各组间应变、应力及抗张力均无显著差异($P>0.05$)。猫肌肉植入缝线后 1 和 14 d,植入处炎症因子(IL-1 β 、IL-6 和 TNF- α)的 mRNA 和蛋白表达水平随缝线直径减小而减少,大直径缝线周围组织炎症反应更加剧烈($P<0.05$)。[结论]USP 5-0 PGA 可满足猫腹壁手术切口缝合张力需求,且小直径缝线可减少缝线引起的组织炎症。

关键词:缝线规格;缝合强度;组织炎症;猫

中图分类号:S857.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)05-0948-09

Effects of different suture gauges on inflammation and suture intensity of abdominal wall tissue in cats

LI Shuai, GUO Yizhe, ZHAO Xingkai, LANG Dong, ZHOU Zhenlei*

(College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: [Objectives] Surgical sutures can provide sufficient tensile strength to hold the edges of a surgical incision together to promote healing. However, suture-induced foreign body reactions can exacerbate tissue inflammation depressing tissue healing. This study aimed to investigate variations in suture intensity and tissue inflammation after suturing the feline abdominal wall with different gauges of suture. [Methods] Feline abdominal skin and muscle were sutured using USP 2-0, 3-0, 4-0, 5-0 PGA sutures, and tissue suture intensity was assessed through uniaxial tensile testing *in vitro*. USP 2-0, 3-0, 4-0, 5-0 PGA sutures were implanted into feline abdominal muscles. After implantation, tissues were sampled at 1, 14 and 90 d. The expression levels of inflammatory factors were quantified using RT-qPCR and ELISA. The degree of inflammatory infiltration was evaluated in tissue sections. [Results] The results of skin and muscle suture intensity tests showed that the USP 5-0 PGA suture group experienced more suture breakage. Below 50% strain, there were no significant differences in stress among the groups ($P>0.05$) *in vitro*. At maximum tensile strength, there were no significant differences in strain, stress, and tensile strength among groups ($P>0.05$). At 1 and 14 d after suture implantation *in vivo*, the mRNA and protein expression levels of inflammatory factors (IL-1 β , IL-6 and TNF- α) decreased with decreasing suture diameter, and the inflammatory response of the tissues around the large-diameter suture was more severe ($P<0.05$). [Conclusions] USP 5-0 PGA suture is sufficient for matching the tensile strength requirements of general cat abdominal wall surgical incisions. Moreover, smaller-diameter sutures can significantly reduce tissue inflammation from suture implantation.

Keywords: suture gauges; suture intensity; inflammation; cat

开腹术是临床最常见手术之一。手术切口愈合不良是开腹术后常见的并发症,表现为切口疝、切口开裂、瘢痕增生等^[1]。切口疝和切口开裂均有较高的发病率,会增加术后死亡率^[2],严重威胁动物生命健康。手术切口愈合不良与诸多因素相关,如缝合技术^[3]、感染^[4]、炎症^[5]、贫血^[6]、糖尿病^[7]、肥胖^[8]等。

收稿日期:2023-09-08

基金项目:上海市科技兴农项目(2022-02-08-00-12-F01185)

*通信作者:周振雷,博士,教授,主要从事畜禽骨骼生物学和小动物外科学研究, E-mail:zhouzl@njau.edu.cn。

组织愈合是凝血、炎症、增殖、重塑等多个生物学事件彼此交错发生的过程^[9]。炎症是创伤愈合过程中的重要过程,适当的炎症有利于切口止血和募集非特异性免疫细胞,保护机体免受病原微生物入侵,有利于去除坏死组织,促进愈合^[10]。然而,过度炎症会延迟组织愈合^[11]和增加瘢痕组织形成^[12]。研究表明,使用抗炎制剂能显著减少创伤处炎症水平并促进愈合^[13]。Dovi等^[14]发现中性粒细胞耗竭会加速全层真皮创伤愈合。此外,PU-1敲除小鼠(缺乏巨噬细胞和功能性中性粒细胞)创伤愈合后瘢痕减小^[15],提示中性粒细胞和巨噬细胞可能并非是动物创伤愈合的必需细胞,它们的缺失有可能促进了无瘢痕愈合。胎儿能够快速无瘢痕愈合,这与其创伤处炎症水平远低于成人有关^[16]。成年动物口腔黏膜、角膜等不易形成瘢痕组织,在创伤愈合阶段表现出了更低的多形核细胞富集和炎症因子表达^[17-18]。因此,减轻创伤处炎症反应,是避免创伤愈合不良的重要策略之一。

手术缝合时,缝线通过为手术切口提供充分的作用力维持切口边缘的对合,缩短炎症期,减少切口愈合后瘢痕组织形成。矛盾的是,目前所有缝线都会引发缝合组织异物反应和手术切口炎症,导致愈合时间延长、切口开裂、增生瘢痕等并发症^[19]。目前该领域的研究普遍关注缝线材料导致的组织反应性差异,如组织相容性较好的聚丙烯到高炎症反应的羊肠线^[20],鲜有文献探究缝线规格对组织炎症反应的影响。

外科医生常根据他们临床经验选择缝线。调查数据显示,多数情况下,外科医生不能准确确定待缝合组织的张力需求,从而常使用大规格的缝线^[21]。临床数据显示,使用 USP 2-0 缝合的 356 个患者腹中线切口的切口疝发病率为 0^[22]。外科医生选择缝线时,应选择能够达成缝合目的最小规格缝线,尽可能减少异物植入量,但更小规格的缝线具有更低的抗张力;因此需要平衡缝线张力与异物植入量^[23]。当前,不同规格缝线缝合腹壁组织后缝合强度与组织炎症是否存在显著差异尚未见深入研究和报道。本文研究目的是探究常见缝线规格的美国药典标准(USP)2-0、3-0、4-0、5-0 聚乙醇酸(PGA)缝线缝合猫腹中线后缝合强度及缝合组织炎症反应差异,以期为兽医临床缝合线的选择和应用提供数据资料。

1 材料与方法

1.1 腹壁组织缝合强度检测

分别收集 40 个猫腹壁皮肤样本和 40 个猫腹壁样本。采样区域如图 1 所示,面积为 3 cm×8 cm。所有样本来自南京农业大学教学动物医院已经死亡病例,体重 2.7~5.8 kg。在动物主人签署知情同意后,采集腹壁组织样本。样本在数月内分别收集并冷冻保存。样本从冰柜取出并解冻后,使用生理盐水浸湿的敷料覆盖,防止干燥,并在 6 h 内进行相关检测。试验组:沿中线切开腹壁组织样本,然后随机使用 USP 2-0、3-0、4-0、5-0 PGA 4 种缝线中的一种缝线缝合切口,每种缝线缝合 8 个腹壁组织样本,然后检测缝合强度。所有切口均由同一兽医外科医生缝合,使用缝线植入长度与手术切口长度比为 4:1 的小间距(3~5 mm)技术缝合。对照组:使用未切开的完整腹壁组织样本测试缝合强度。

使用 LLOYD LR10K plus 力学万用仪,并采用单轴拉伸试验法检测缝合强度。张力传感器测量上限为 80 N。NEXYGEN Plus 接收并分析力学数据。初始位置保持样本自然伸展,不施加额外张力,使用游标卡尺测量样本厚度,定夹长度与样品实际宽度由卡尺测量。测量软件设置 0.05 N·mm⁻¹ 预载应力,并分别记录 10%、20%、30%、40% 和 50% 应变时所对应的应力值,以及最大抗张力时的应力和应变值。拉伸过程中记录试验终点类型,如缝线断裂、缝合处组织撕裂、非缝合处组织撕裂等。

1.2 试验动物与组织样本

本试验共纳入 12 只成年中华田园猫[体重(4.01±1.71)kg]。所有动物试验均在南京农业大学试验动物中心进行。正式试验前预饲养 14 d 以适应环境。试验经南京农业大学动物伦理与使用委员会批准(NJAU.No20230125021)。饲养房间保持 12 h 光照/12 h 黑暗的循环条件,每只试验猫饲养于单独的笼舍

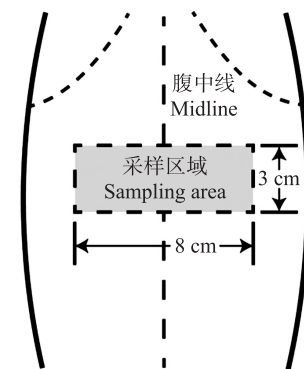


图 1 腹壁组织缝合强度试验样本采样方法示意图
Fig. 1 Schematic diagram of sampling method for abdominal wall tissue suture intensity test

中,饲喂全价商品粮食,自由饮水。护理人员每日监测猫健康状况和活动。

本试验植入缝线为中国海迪科公司生产的兽用 USP 2-0、3-0、4-0、5-0 PGA 缝线。试验猫麻醉后无菌术切开腹中线皮肤,分离皮下组织暴露腹壁肌肉,每只试验猫按照预先随机确定的缝线植入顺序在双侧腹壁由头侧向尾侧依次植入上述4种不同规格缝线,保持每次植入不同规格的缝线的长度均为2 cm,最大限度减少因植入位置差异对检测结果的影响(图2)。所有组织缝合操作均由同一名兽医外科医生完成。分别于植入缝线后1、14和90 d采集植入处腹壁组织。被采样动物依照2020年版美国兽医协会(American Veterinary Medical Association, AVMA)动物安乐死指南^[24]实施安乐死。每个时间点采集4只猫两侧腹壁的组织样品,每个试验组共获得8个组织样品。对照组为未进行手术处理的完整猫腹壁组织样本。每个样品分装于冻存管和组织固定液中保存,以进行后续的炎症因子表达水平检测和组织学评估。

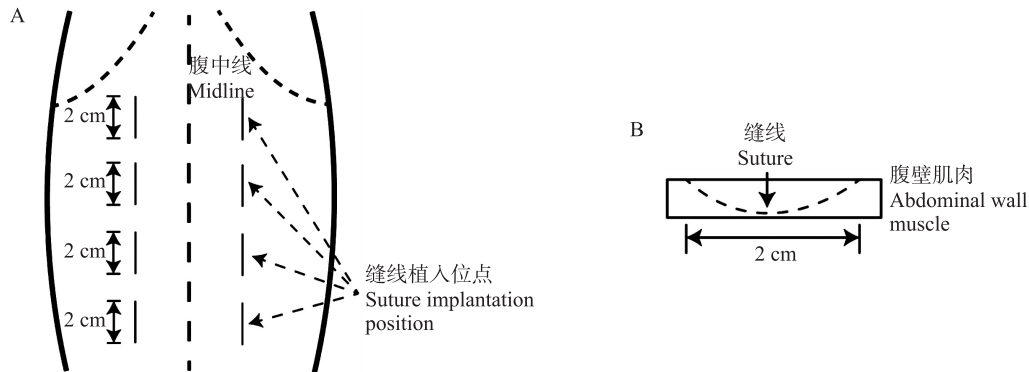


图2 猫腹壁肌肉缝线植入方法的冠状面(A)和矢状面(B)示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the coronal plane(A) and the sagittal plane(B) used the method of implantation of sutures in the abdominal wall muscle of cats

1.3 总RNA提取及实时荧光定量PCR

采用 Trizol 试剂(奥青生物)提取组织样品总 RNA。采用 RNA 反转录试剂盒(北京全式金生物)合成 cDNA。采用 PerfectStart Uni RT&qPCR Kit(北京全式金生物)进行 RT-qPCR 反应,以 *GAPDH* 为内参,用 ddH₂O 作阴性对照。试验采用 2^{-ΔΔCt} 法处理数据,并计算得到 *IL-1β*、*IL-6*、*TNF-α* 的相对表达水平^[25]。本试验所用引物序列见表1。

表1 RT-qPCR 引物序列

Table 1 The primer sequences for RT-qPCR

目的基因 Target gene	引物对序列 Primer pairs sequences(5'→3')
<i>IL-1β</i>	CTGGAGATGTTAGACCCCAA/TCAAATTCACATTCGCCCTTG
<i>IL-6</i>	GACCTGCCTGACAAGAATCACT/TGGCATTTTCCTTATCACCCCTC
<i>TNF-α</i>	CTGCAACTAATCAACCCTCT/TTTGCTACTACATGGGCTAC
<i>GAPDH</i>	TATGATTCCACCCACGGCAAA/CCACAACATACTCAGCACCAG

1.4 酶联免疫吸附试验

液氮冷却下研磨组织至粉末,再加入 PBS 并充分匀浆,悬浮液离心(20 min, 3 000 r·min⁻¹),提取上清液。用二喹啉酸蛋白质测定试剂盒(BioRad)测定蛋白浓度;用奥青生物的酶联免疫试剂盒测定组织中 *IL-1β*、*IL-6*、*TNF-α* 含量。

1.5 组织学观察和检测

用于组织学检测的样本采样后固定于4%多聚甲醛,石蜡包埋,切片(厚度为4 μm),苏木精和伊红(HE)染色,脱水后封片观察,在光学显微镜(LEICA DM500)低倍镜(100×)下观察组织切片并拍照。高倍镜(400×)下评价炎性浸润程度和组织反应性。炎性浸润程度评分包括多形核细胞、淋巴细胞、浆细胞、巨噬细胞、巨细胞计数和坏死程度评估等。组织反应性评分则由炎症程度、新生血管程度、纤维化程度和脂肪浸润程度评分相加进行综合评价。所有细胞计数均根据每个高倍镜(400×)视野(high powered field, hpf)下细胞数量进行评分:0 hpf⁻¹(0分)、1~5 hpf⁻¹(1分)、5~10 hpf⁻¹(2分)、严重浸润(3分)、满视野(4分)。坏死、新生血管、纤维化、脂肪浸润评分则评分为0(0分)、轻微(1分)、轻度(2分)、中等(3分)和严重(4分)^[26]。

1.6 数据处理与统计分析

组织拉伸试验的试验终点发生率差异,由 Fisher's 精确检验分析。其他数据使用 Mann Whitney U 检验和 Wilcoxon 检验。差异显著性检验水平定义为 0.05。以上显著性检验均用 SPSS 26.0 软件,用 GraphPad Prism 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同规格缝线下猫皮肤缝合的强度

在皮肤缝合强度检测试验中,可观察到缝合处撕裂(图 3-A)和缝线断裂(图 3-B)两种试验终点。少数样本抗张力超过 80 N,标记为未达试验终点。对照组均未发生组织撕裂。仅 USP 5-0 PGA 缝合组中发生了 2 例缝线断裂,分别出现在 76 和 80 N 的张力下,但不同规格缝线断裂发生率无显著差异($P>0.05$) (图 3-C)。在 50%应变以下,各组间的应力无显著差异($P>0.05$) (图 3-D)。此外,在最大抗张力时,各组间的应变(图 3-E)、应力(图 3-F)以及抗张力(图 3-G)均无显著差异($P>0.05$)。表明在本试验条件下,USP 5-0 PGA 等小规格缝线与 USP 2-0 PGA 等大规格缝线缝合猫皮肤后组织强度无显著差异。

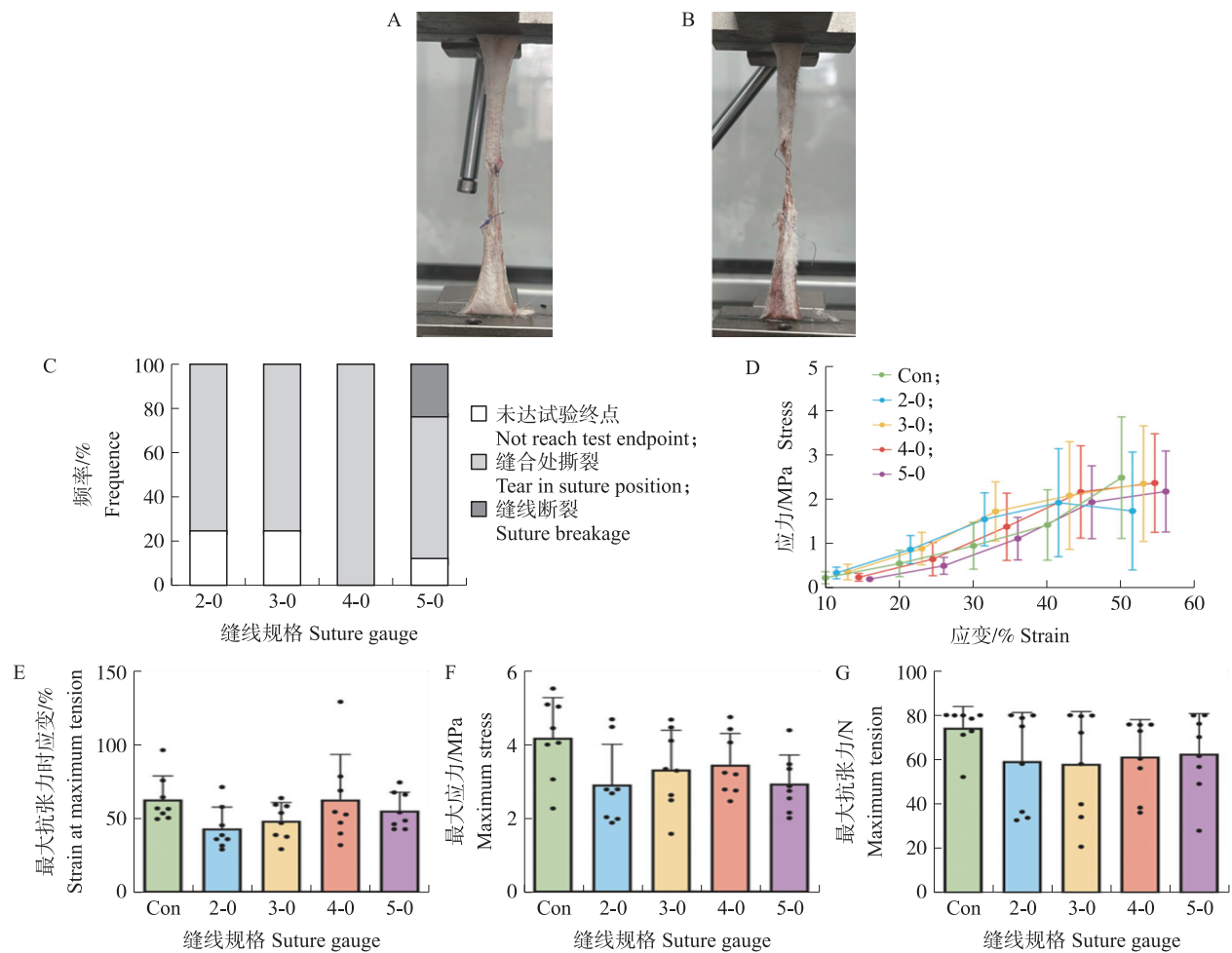


图 3 猫腹壁皮肤缝合强度检测结果($n=8$)

Fig. 3 Results of abdominal skin suture intensity testing of the abdominal wall in cats($n=8$)

A. 皮肤拉伸后缝合处撕裂 Tear in suture position after skin stretching; B. 皮肤拉伸后缝线断裂 Suture breakage after skin stretching; C. 不同规格缝线缝合皮肤后拉伸试验终点比较(Fisher's 精确检验) Comparison of the testing endpoint after suturing feline abdominal skin with different suture gauges (Fisher's exact test); D. 应力-应变曲线 Stress-strain curve; E. 最大抗张力时应变 Strain at maximum tension; F. 最大应力 Maximum stress; G. 最大抗张力 Maximum tension.

Con 和 2-0、3-0、4-0、5-0 分别表示对照组(使用未切开的完整腹壁组织测试缝合强度)和使用 USP 2-0、3-0、4-0、5-0 PGA 缝合的试验组。下同。Con and 2-0, 3-0, 4-0, 5-0 indicate the control group (Test suturing using uncut intact skin tissue) and the experimental group using USP 2-0, 3-0, 4-0, and 5-0 PGA sutures, respectively. The same below.

2.2 不同规格缝线下猫肌肉缝合的强度

在缝合强度检测试验中,可观察到腹直肌外侧组织撕裂(图4-A)、缝合处组织撕裂(图4-B)、缝线断裂(图4-C)3种试验终点。USP 5-0 PGA 缝合组中观察到3个样本出现缝线断裂,其缝线断裂发生率显著高于其他试验组($P < 0.05$)(图4-D)。USP 5-0 PGA 缝线断裂时张力分别为78、76和68 N,该张力已超出多数猫腹壁正常的张力范围^[21]。在50%应变以下,各组间的应力无显著差异($P > 0.05$)(图4-E)。此外,在最大抗张力时,各组间的应变(图4-F)、应力(图4-G)、抗张力(图4-H)均无显著差异($P > 0.05$)。USP 5-0 PGA 等小规格缝线与USP 2-0 PGA 等大规格缝线缝合猫肌肉后组织强度无显著差异。

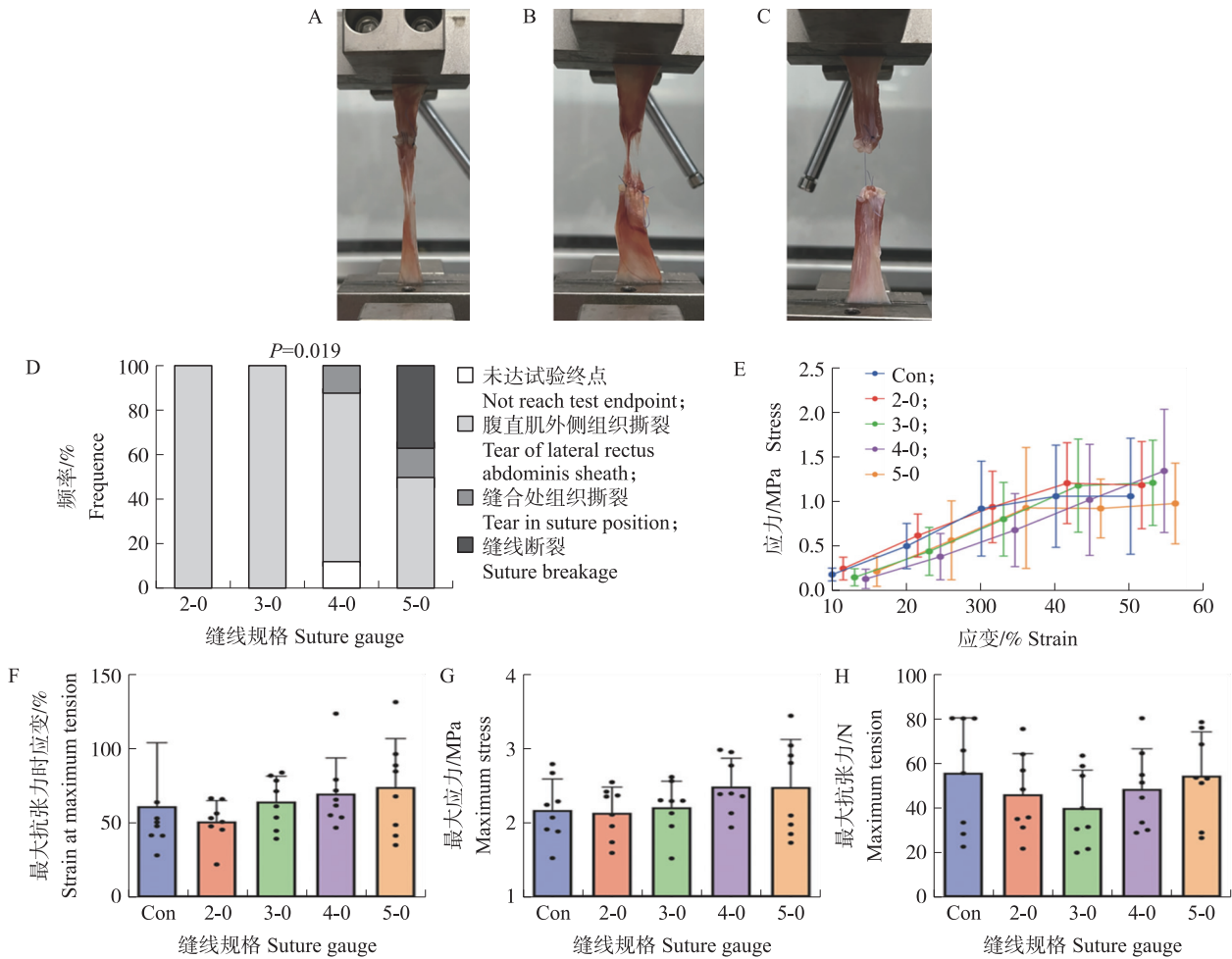


图4 猫腹壁肌肉缝合强度检测结果(n=8)

Fig. 4 Results of abdominal muscle suture intensity testing of the abdominal wall in cats(n=8)

A. 肌肉拉伸后腹直肌外侧组织撕裂 Tear of lateral rectus abdominis sheath after muscle stretching; B. 肌肉拉伸后缝合处撕裂 Tear in suture position after muscle stretching; C. 肌肉拉伸后缝线断裂 Suture breakage after muscle stretching; D. 不同规格缝线缝合肌肉后拉伸试验终点比较 (Fisher's 检验) Comparison of the testing endpoint after suturing feline abdominal muscle with different suture gauges (Fisher's exact test); E. 应力-应变曲线 Strain-stress curve; F. 最大抗张力时应变 Strain at maximum tension; G. 最大应力 Maximum stress; H. 最大抗张力 Maximum tension.

2.3 不同规格缝线植入猫腹壁组织后炎症因子 mRNA 及蛋白表达水平检测结果

不同规格缝线植入后1与14 d, IL-1 β 、IL-6、TNF- α 转录水平均呈现随缝线直径减小逐渐降低的趋势。植入后1 d, USP 2-0 PGA 组 IL-1 β 、IL-6 转录水平显著高于 USP 5-0 PGA 组($P < 0.05$)(图5-A); 植入后14 d, USP 2-0 PGA 组 IL-6 转录水平显著高于 USP 5-0 PGA 组($P < 0.05$)(图5-B)。植入区域 IL-1 β 、IL-6、TNF- α mRNA 表达水平随时间增加逐渐降低; 植入90 d 时与对照组已无显著差异($P > 0.05$)(图5-C)。

植入缝线后1与14 d, USP 2-0 PGA 组 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 蛋白表达水平均显著高于 USP 5-0 PGA 组($P < 0.05$), 可见各炎症因子蛋白表达水平呈现随植入缝线直径减小而减少的趋势(图5-D、E)。植入区域 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 蛋白表达水平随时间增加逐渐降低, 在植入后90 d 时与对照组无显著差异($P > 0.05$)(图5-F)。

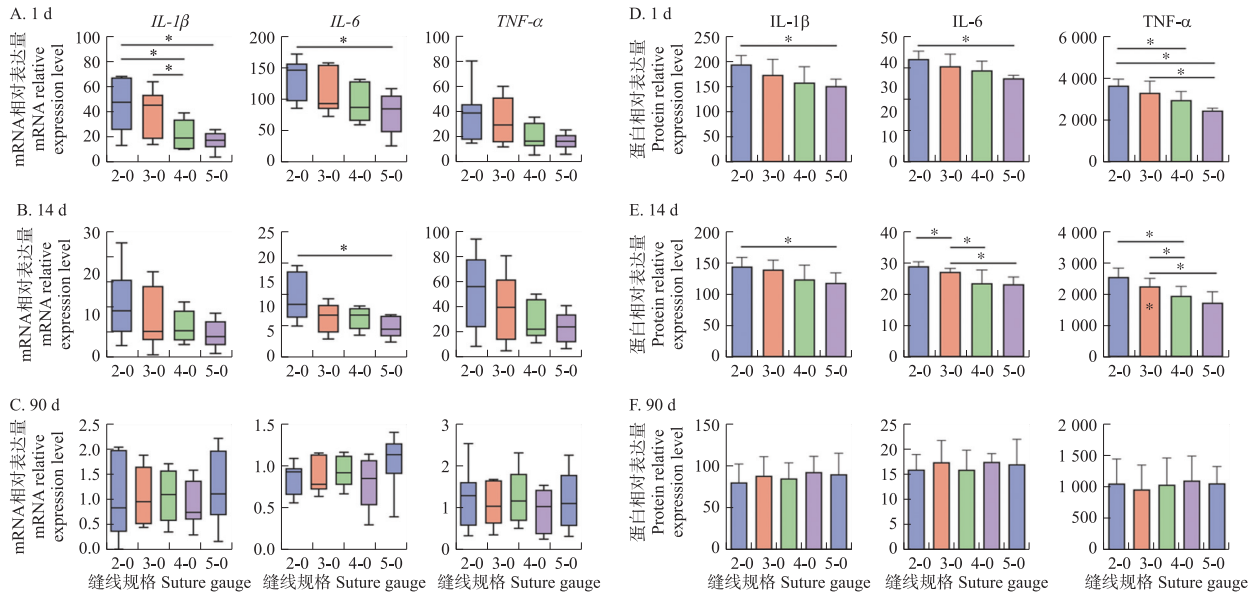


图 5 猫肌肉植入缝线后炎症因子 mRNA 与蛋白表达水平

Fig. 5 mRNA and protein expression levels of inflammatory factors after suture implantation in cat muscle

A—C. 缝线植入后 1、14 和 90 d 植入区域炎症因子 mRNA 表达水平 mRNA expression level of inflammatory cytokine at 1, 14 and 90 d after suture implantation, respectively; D—F. 缝线植入后 1、14 和 90 d, 植入区域炎症因子蛋白表达水平 Protein expression level of inflammatory cytokine at 1, 14 and 90 d after suture implantation, respectively.

2.4 不同规格缝线植入猫腹壁组织后组织学检测结果

缝线植入后 1 d, 缝线孔周围可见以多形核细胞为主的炎性浸润。随着缝线直径减小, 植入区域炎性浸润面积明显缩小 (图 6-A、B)。缝线植入后 14 d, 多形核细胞减少, 可观察到轻度巨噬细胞浸润; 此外, 大直径缝线植入区域可见更多的新生血管 (图 6-B)。在植入后 1 与 14 d, 各规格缝线植入区域炎性浸润评分与组织反应性评分均随缝线直径减小而显著减少 ($P < 0.05$) (图 6-C、D)。缝线植入后 90 d, 缝线已完全被组织吸收, 各组炎性浸润评分与组织反应性评分均为 0 分, 已无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

正常的手术切口愈合是手术成功的基础。据统计, 人术后腹壁切口疝发病率为 12.8%^[27], 切口开裂发病率达 5.5%^[2]。宠物临床中, 手术切口愈合不良亦是常见的术后并发症。为提高腹壁手术切口缝合质量, 已有多个医学指南建议使用抗菌缝合线小间距连续缝合^[22, 28-29]腹壁切口, 并确保植入缝线长度与手术切口长度比值大于 4^[30]。缝合的目的是通过缝线维持适当的手术切口张力, 使切口边缘相互靠拢, 促进愈合。矛盾的是, 缝线引起的异物反应可导致手术切口炎症加重, 阻碍愈合^[19]。

缝合张力不足是导致缝合失败的重要原因之一^[31]。在 29 只临床手术猫腹壁张力测定的研究中发现, 肌肉切口 midpoint 张力中位数仅为 0.73 N, 而皮肤切口 midpoint 张力中位数仅有 0.58 N^[21]。这提示在手术缝合时, 实际所需张力可能远低于外科医生的预估值。本试验中, USP 5-0 PGA 缝线组发生了更多的高张力下缝线断裂, 但高张力下 USP 2-0 PGA 等大直径缝线组亦发生了大量缝合处或非缝合处组织撕裂, 且各试验组与对照组之间应力-应变曲线, 以及最大抗张力时的应力、应变、张力均无显著差异。这说明在极限张力下, USP 5-0 PGA 缝线更可能发生缝线断裂, 但其缝合猫腹壁皮肤、肌肉后组织的整体力学特性与 USP 2-0 PGA 等大直径缝线缝合组无明显差异。腹内压是构成腹壁张力的重要部分, 研究表明腹内压与腹壁张力呈线性正相关^[32]。通常情况下, 人体腹内压不超过 11 kPa^[33]。进一步研究表明最大生理负荷下腹中线区域应变为 7%~12%^[34]。本试验中, 不论皮肤与肌肉的缝合模型, 在 50% 应变以下, USP 2-0、3-0、4-0、5-0 PGA 缝线在缝合猫腹壁切口后均能提供足够的支撑。

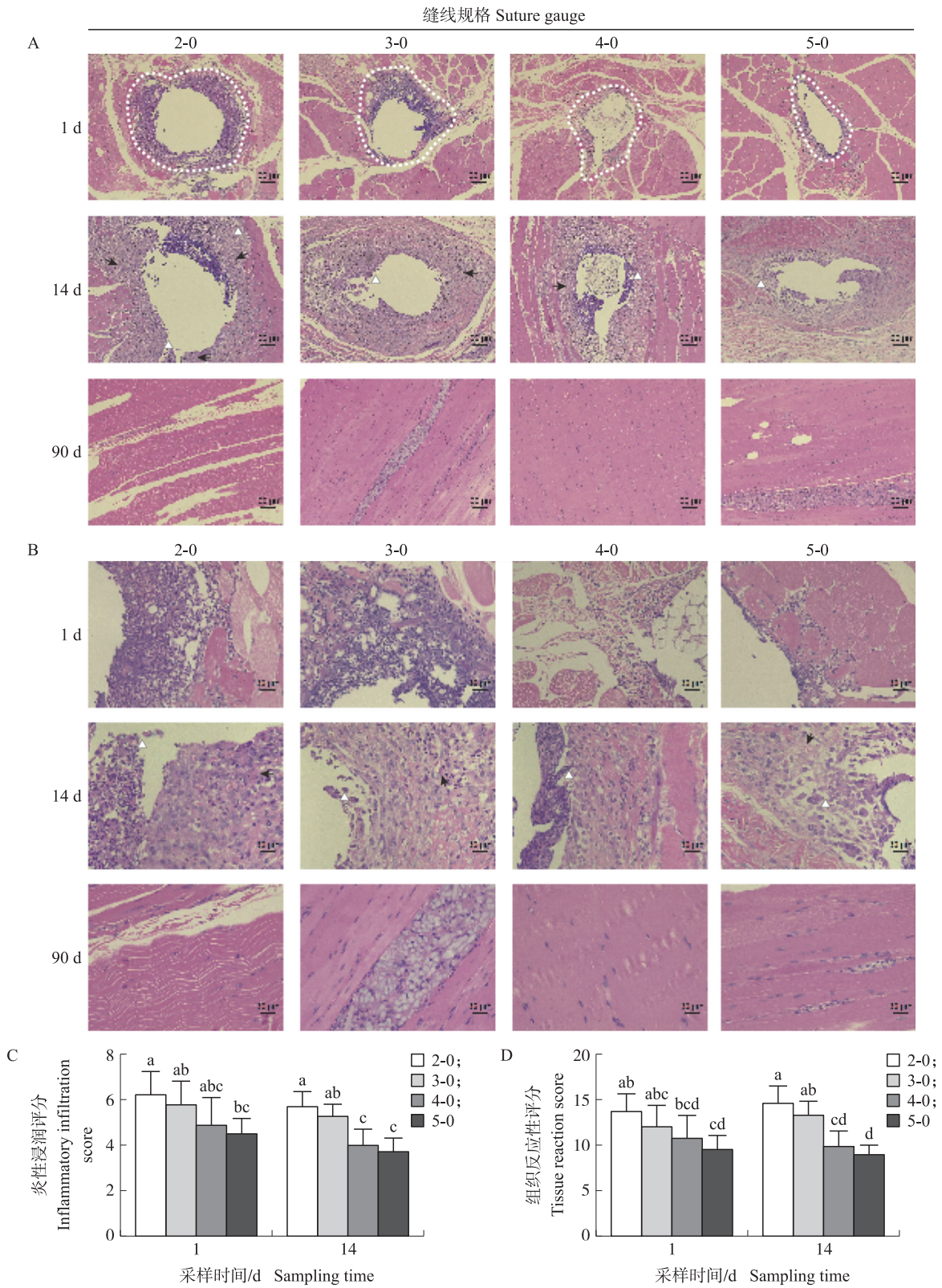


图 6 猫腹壁组织植入缝线后组织学评价结果

Fig. 6 Histological results after suture implantation in cat abdominal wall tissue

A, B. 植入缝线后经 HE 染色的代表性切片 (A. 100×; B. 400×), 白色虚线内为缝线植入 1 d 时缝线周围主要炎性浸润区域, 黑色箭头指向新生毛细血管区域, 白色三角标记处可见巨噬细胞 Representative HE sections (A. 100×; B. 400×) after suture implantation, white dotted line within the area of major inflammatory infiltrate around the suture at 1 d of suture implantation, black arrows point to the area of neovascularization, and macrophages are visible in the white triangular markers; C. 缝线植入区域组织炎性浸润评分 Inflammatory infiltration score in the suture implanted area; D. 缝线植入区域组织反应性评分 Tissue reaction score in the suture implanted area.

更细的缝线抗张力更低,因此部分外科医生认为 USP 4-0、5-0 PGA 等较细缝线无法为猫腹壁手术切口提供充足支撑。本研究结果显示,在常规猫腹壁低张力手术切口缝合过程中,USP 4-0、5-0 缝线断裂可能是由于外科医生在缝线牵拉和打结过程中施加了不恰当的额外张力。外科医生对组织张力的误判除了造成不必要的缝线断裂外,还容易造成高张力缝合。高张力缝合可损害缝合部位血供^[35],导致胶原分布紊乱^[36],从而增加缝合部位术后并发症的发病率^[37]。在确保切口边缘对齐靠拢的情况下,手术缝合应减少额外张力。对于非组织切除的低张力猫手术切口,使用较细的 USP 4-0、5-0 PGA 缝线缝合腹壁切口可以保持切口稳定,而非必须使用高抗张力的 USP 2-0 等大直径缝线。

炎症是愈合的重要过程,它是止血和启动非特异性免疫所必需的^[38]。然而,过度炎症可阻碍正常的愈合进程,延迟愈合并形成过多瘢痕^[11]。本研究中,植入大规格缝线区域在缝线植入后 1、14 d 均表现出了增高的炎性因子表达量和更严重的组织炎症。虽然炎症在预防创伤早期感染中具有重要作用,但对于手术切口等非感染性创伤,快速抑制炎性细胞并降低促炎细胞因子的表达,有助于促进早期组织修复和随后的组织重塑,从而加快创伤愈合^[39]。对于中性粒细胞耗竭^[14]和巨噬细胞敲除小鼠^[15],这些炎性细胞的缺失反而导致愈合加速和瘢痕减小。小檗碱^[40]、姜黄素^[41]、乳清蛋白^[42]等活性物质可通过降低皮肤创伤愈合过程中 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 等促炎因子的表达,促进创伤愈合。Yaman 等^[43]通过给大鼠口服抗炎物质白藜芦醇降低了腹壁炎症水平,提高了腹壁抗张力。本试验中,USP 5-0 PGA 组炎症水平显著低于 USP 2-0 PGA 组,说明缝线植入量差异可显著影响组织炎症反应水平。因此,在维持充足抗张力的前提下,选用更细缝线进行缝合可能有利于组织愈合。

本研究亦存在一些局限性。首先,本研究结果来源于试验动物,其试验结果还需要相关临床试验进一步验证。其次,本研究采用单轴拉伸试验法检测应力与应变,组织在检测前只施加了横向预应力。真实环境下,腹壁组织还受到纵向应力的影响,因此,本试验所检测的组织力学特性在不同个体之间仍然存在差异。

本研究证明在一般猫腹壁皮肤与肌肉缝合中,USP 5-0 PGA 即可满足缝合张力需求。此外,不论腹壁皮肤或肌肉组织,随着缝线直径减小,组织炎症显著降低。因此,兽医外科医生缝合动物腹壁切口时,可选择能够满足张力需求的最小规格缝线,以降低组织炎症反应,加速组织损伤修复与愈合。

参考文献 References:

- [1] Burger J W A, van Riet M, Jeekel J. Abdominal incisions: techniques and postoperative complications[J]. *Scandinavian Journal of Surgery*, 2002, 91(4): 315-321.
- [2] Denys A, Monbailliu T, Allaey M, et al. Management of abdominal wound dehiscence: update of the literature and meta-analysis[J]. *Hernia*, 2021, 25(2): 449-462.
- [3] Mingoli A, Puggioni A, Sgarzini G, et al. Incidence of incisional hernia following emergency abdominal surgery[J]. *Italian Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 1999, 31(6): 449-453.
- [4] Hendrix S L, Schimp V, Martin J, et al. The legendary superior strength of the Pfannenstiel incision: a myth? [J]. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 2000, 182(6): 1446-1451.
- [5] Hahm G, Glaser J J, Elster E A. Biomarkers to predict wound healing: the future of complex war wound management[J]. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 2011, 127(Suppl 1): 21-26.
- [6] Mäkelä J T, Kiviniemi H, Juvonen T, et al. Factors influencing wound dehiscence after midline laparotomy[J]. *American Journal of Surgery*, 1995, 170(4): 387-390.
- [7] Franchi M, Ghezzi F, Buttarelli M, et al. Incisional hernia in gynecologic oncology patients: a 10-year study[J]. *Obstetrics and Gynecology*, 2001, 97: 696-700.
- [8] Höer J, Lawong G, Klinge U, et al. Factors influencing the development of incisional hernia. A retrospective study of 2,983 laparotomy patients over a period of 10 years[J]. *Die Chirurgie; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, 2002, 73(5): 474-480.
- [9] Landén N X, Li D Q, Stähle M. Transition from inflammation to proliferation: a critical step during wound healing[J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2016, 73(20): 3861-3885.
- [10] Reinke J M, Sorg H. Wound repair and regeneration[J]. *European Surgical Research*, 2012, 49(1): 35-43.
- [11] Qian L W, Fourcaudot A B, Yamane K, et al. Exacerbated and prolonged inflammation impairs wound healing and increases scarring[J]. *Wound Repair and Regeneration*, 2016, 24(1): 26-34.
- [12] Xue M L, Jackson C J. Extracellular matrix reorganization during wound healing and its impact on abnormal scarring[J]. *Advances in Wound Care*, 2015, 4(3): 119-136.
- [13] Huang C, Dong L L, Zhao B H, et al. Anti-inflammatory hydrogel dressings and skin wound healing[J]. *Clinical and Translational Medicine*, 2022, 12(11): e1094.

- [14] Dovi J V, He L K, DiPietro L A. Accelerated wound closure in neutrophil-depleted mice[J]. *Journal of Leukocyte Biology*, 2003, 73(4): 448–455.
- [15] Martin P, D'Souza D, Martin J, et al. Wound healing in the PU.1 null mouse; tissue repair is not dependent on inflammatory cells[J]. *Current Biology*, 2003, 13(13): 1122–1128.
- [16] Leung A, Crombleholme T M, Keswani S G. Fetal wound healing; implications for minimal scar formation[J]. *Current Opinion in Pediatrics*, 2012, 24(3): 371–378.
- [17] Streilein J W. Ocular immune privilege; the eye takes a dim but practical view of immunity and inflammation[J]. *Journal of Leukocyte Biology*, 2003, 74(2): 179–185.
- [18] Szpaderska A M, Zuckerman J D, DiPietro L A. Differential injury responses in oral mucosal and cutaneous wounds[J]. *Journal of Dental Research*, 2003, 82(8): 621–626.
- [19] Rosique R G, Rosique M J, Farina-Junior J A. Curbing inflammation in skin wound healing; a review[J]. *International Journal of Inflammation*, 2015, 2015: 316235.
- [20] de la Harpe K M, Kondiah P P D, Marimuthu T, et al. Advances in carbohydrate-based polymers for the design of suture materials; a review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 261: 117860.
- [21] Li S, Zhao X K, Deng Y F, et al. Affecting factors for abdominal incisional tension in surgery of dogs and cats[J]. *Research in Veterinary Science*, 2023, 156: 88–94.
- [22] Millbourn D, Cengiz Y, Israelsson L A. Effect of stitch length on wound complications after closure of midline incisions; a randomized controlled trial[J]. *Archives of Surgery*, 2009, 144(11): 1056–1059.
- [23] Byrne M, Aly A. The surgical suture[J]. *Aesthetic Surgery Journal*, 2019, 39(Suppl 2): S67–S72.
- [24] Underwood W, Anthony R. AVMA guidelines for the euthanasia of animals; 2020 edition[J]. *American Veterinary Medical Association*, 2020, 2013(30): 2020–2021.
- [25] Molina-Ayala M A, Rodríguez-Amador V, Suárez-Sánchez R, et al. Expression of obesity- and type-2 diabetes-associated genes in omental adipose tissue of individuals with obesity[J]. *Gene*, 2022, 815: 146181.
- [26] Ikarashi Y, Tsuchiya T, Toyoda K, et al. Tissue reactions and sensitivity to iron-chromium alloys[J]. *Materials Transactions*, 2002, 43(12): 3065–3071.
- [27] Bosanquet D C, Ansell J, Abdelrahman T, et al. Systematic review and meta-regression of factors affecting midline incisional hernia rates; analysis of 14,618 patients[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0138745.
- [28] Wang Z X, Jiang C P, Cao Y, et al. Systematic review and meta-analysis of triclosan-coated sutures for the prevention of surgical-site infection[J]. *The British Journal of Surgery*, 2013, 100(4): 465–473.
- [29] Diener M K, Voss S, Jensen K, et al. Elective midline laparotomy closure; the INLINE systematic review and meta-analysis[J]. *Annals of Surgery*, 2010, 251(5): 843–856.
- [30] Jenkins T P. The burst abdominal wound; a mechanical approach[J]. *The British Journal of Surgery*, 1976, 63(11): 873–876.
- [31] Schachtrupp A, Wetter O, Höer J. Influence of elevated intra-abdominal pressure on suture tension dynamics in a porcine model[J]. *The Journal of Surgical Research*, 2019, 233: 207–212.
- [32] Novak J, Jacisko J, Busch A, et al. Intra-abdominal pressure correlates with abdominal wall tension during clinical evaluation tests[J]. *Clinical Biomechanics*, 2021, 88: 105426.
- [33] de Keulenaer B L, de Waele J J, Powell B, et al. What is normal intra-abdominal pressure and how is it affected by positioning, body mass and positive end-expiratory pressure? [J]. *Intensive Care Medicine*, 2009, 35(6): 969–976.
- [34] Förstemann T, Trzewik J, Holste J, et al. Forces and deformations of the abdominal wall; a mechanical and geometrical approach to the linea alba[J]. *Journal of Biomechanics*, 2011, 44(4): 600–606.
- [35] Högström H, Haglund U, Zederfeldt B. Tension leads to increased neutrophil accumulation and decreased laparotomy wound strength[J]. *Surgery*, 1990, 107(2): 215–219.
- [36] Höer J, Junge K, Schachtrupp A, et al. Influence of laparotomy closure technique on collagen synthesis in the incisional region[J]. *Hernia*, 2002, 6(3): 93–98.
- [37] Zhou J C, Zhao H C, Pan K H, et al. Current recognition and management of intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome among tertiary Chinese intensive care physicians[J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2011, 12(2): 156–162.
- [38] Kasuya A, Tokura Y. Attempts to accelerate wound healing[J]. *Journal of Dermatological Science*, 2014, 76(3): 169–172.
- [39] Wong K K Y, Liu X L. Nanomedicine; a primer for surgeons[J]. *Pediatric Surgery International*, 2012, 28(10): 943–951.
- [40] 杨彤, 杨莉, 张旭梅, 等. 小檗碱对沙门菌 LPS 诱导的猪肠道上皮细胞屏障损伤的改善作用[J]. *畜牧与兽医*, 2022, 54(12): 64–71.
Yang T, Yang L, Zhang X M, et al. Improving effect of berberine on Salmonella LPS-induced barrier damage of intestinal porcine epithelial cells[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2022, 54(12): 64–71 (in Chinese with English abstract).
- [41] Kant V, Gopal A, Pathak N N, et al. Antioxidant and anti-inflammatory potential of curcumin accelerated the cutaneous wound healing in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *International Immunopharmacology*, 2014, 20(2): 322–330.
- [42] Abdel-Salam B K A H. Modulatory effect of whey proteins in some cytokines involved in wound healing in male diabetic albino rats[J]. *Inflammation*, 2014, 37(5): 1616–1622.
- [43] Yaman I, Dericci H, Kara C, et al. Effects of resveratrol on incisional wound healing in rats[J]. *Surgery Today*, 2013, 43(12): 1433–1438.