

## ·实验研究·

## 可降解镁合金食管支架治疗食管狭窄的动物实验研究

顾松<sup>1</sup> 顾洪斌<sup>2</sup> 马靖<sup>3</sup> 黄思齐<sup>1</sup> 王晶<sup>1</sup> 陈其民<sup>1</sup>

**【摘要】 目的** 探讨可降解镁合金食管支架在食管狭窄治疗中的可行性。**方法** 制作兔食管狭窄动物模型。采用球囊导管扩张法将镁合金食管支架置于实验兔食管狭窄处,评估兔精神、行为和进食变化,生理、生化及病理改变,以及食管狭窄改善情况。**结果** 采用 NaOH 化学烧灼法成功制作兔食管狭窄动物模型,并在 4 只实验兔的食管狭窄处放置镁合金食管支架,观察期满时(支架放置后 12 周)发现有 3 只实验兔体内有支架放射标记残留。食管支架放置后,实验兔精神、行为未见明显异常;兔进食情况明显改善;兔各项生理、生化指标未见明显改变;病理切片 HE 染色显示食管黏膜完整,黏膜下层可见炎细胞及巨噬细胞浸润;肝肾未见明显病理性损伤改变。**结论** 可降解镁合金食管支架具有安全性高,副作用小,不良反应少等优点。经初步动物实验证实,该支架在治疗兔食管狭窄方面效果良好,具有很大的潜在临床应用前景。

**【关键词】** 食管; 支架; 食管狭窄; 动物, 实验

**Experimental treatment of esophageal stricture with biodegradable magnesium alloy stent.** Gu Song<sup>1</sup>, Gu Hongbin<sup>2</sup>, Ma Jin<sup>3</sup>, Huang Siqi<sup>1</sup>, Wang Jin<sup>1</sup>, Chen Qimin<sup>1</sup>. 1. Department of General Surgery; 2. Department of Anesthesiology; 3. Departments of Pathology, Shanghai Children's Medical Center, Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200127, China Corresponding author: Gu Song, Email: gusongsmc@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the feasibility of biodegradable magnesium alloy stent in the treatment of esophageal stenosis. **Methods** The model of esophageal stenosis was established and magnesium alloy stents were placed in esophageal stenosis in 4 rabbits by balloon catheter dilation. Their mental, behavioral, dietary, physiological and biochemical profiles were recorded. And the pathological changes of esophagus, liver and kidney and the improvement of esophageal stenosis were evaluated. **Results** The animal model of esophageal stenosis was successfully established by sodium hydroxide chemical cauterization. Four radiolabeled magnesium alloy stents were placed in situ and radioactive marker observed in 3/4 rabbits at Week 12 post-stenting. Food intake improved significantly after stenting. No obvious changes occurred in mental, behavioral and blood biochemical parameters. Hematoxylin & eosin staining showed that the esophageal mucosa was complete, there was a submucosal infiltration of inflammatory cells and macrophages infiltrated and liver and kidney showed no obvious change. **Conclusion** With the advantages of high safety and minimal adverse reaction, the above stent is effective for esophageal stenosis and it has great potentials for clinical application.

**【Key words】** Esophagus; Stents; Esophageal Stenosis; Animals, Laboratory

婴幼儿食管狭窄多见于食管闭锁术后、反流性食管炎、食管化学性腐蚀伤等。传统食管支架置入术后存在再狭窄、支架取出困难等问题,限制了食

管支架治疗在婴幼儿食管狭窄中的应用。而可降解镁合金食管支架在一定时间内具备良好的机械支撑性能,之后便可自行降解,不会影响患儿的生长发育,因此具有较大的潜在临床应用前景。为了探讨可降解镁合金食管支架在食管狭窄治疗中的可行性,我们采用镁合金食管支架治疗兔食管化学性灼伤后的食管狭窄,效果良好。现报道如下:

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.01.015

**基金项目:**上海市科学技术委员会医学引导(134119a7600);上海交通大学“医工交叉研究基金”(YG2015MS36)

**作者单位:**上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心(上海市,200127), 1. 普外科; 2. 麻醉科; 3. 病理科

**通信作者:**顾松, Email: gusongsmc@163.com

## 材料与方法

### 一、实验动物、仪器和试剂

实验动物:新西兰兔(清洁级)(上海斯莱克实验动物有限责任公司,生产许可 SCXK(沪)2012-0002),体重 2~3 kg。按照标准饲养条件饲养。仪器:光学显微镜(Olympus,日本),X线数字摄片机(TOSHIBA BLF-15B),球囊扩张导管(PowerFlex P3,10 mm×2 cm,Cordis Cashel,爱尔兰)。试剂:氯胺酮(规格 2 mL:0.1 g,国药准字 H32022820,江苏恒瑞医药股份有限公司),NaOH(分析纯,SIGMA-ALDRICH),复方泛影葡胺注射液(国药准字 H31021606,上海旭东海普药业有限公司),轻质液状石蜡(赣食药准字 F20050005,南昌白云药业有限公司)

### 二、研究方法

1. 镁合金食管支架的制作:上海交通大学材料学院袁广银教授课题组完成了可吸收镁合金食管支架中镁合金成分的确认(Mg-Nd-Zn-Zr,简称 JD-BM-2)、优化设计和制备以及对材料显微组织的分析,采用精密挤压加工工艺制备出了支架制备所需的镁合金细管材( $\Phi 6\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ),采用激光切割工艺制作了可降解镁合金食管支架的样品,并进行了电解抛光等表面处理,制作成可降解镁合金食管支架。同时完成了对它的化学性能(耐用腐蚀性、抗氧化性)和力学性能(机械性能),合金材料的屈服强度( $\sigma_s$ )、抗拉强度( $\sigma_b$ )、延伸率( $\delta$ )、断面收缩率( $\Psi$ )、硬度、冲击韧性(Ak)等测试工作。

2. 兔食管狭窄动物模型制作:采用体重在( $2.5 \pm 0.5$ ) kg 的兔作为实验动物,雌雄不限,采用氯胺酮按常规剂量(40 mg/kg)行后腿肌肉注射麻醉后,经口插入改制的球囊扩张导管,X-ray 引导下将球囊

头端插入食管下段,球囊充气后将实验兔竖立(球囊位置距兔门齿 15 cm),并通过 6#胃管将 4% NaOH 溶液 1 mL 注入到球囊上方的食管中,30 s 后抽出 NaOH 溶液,用 20 mL 无菌蒸馏水缓慢冲洗食管 1 min,再放气撤出球囊扩张导管。过程中监测实验兔生命体征变化,结束后观察实验兔进食改变,并每周行 X-ray 下泛影葡胺造影,以评估食管狭窄情况(图 1)。食管狭窄建模成功标准:兔食管狭窄处最小径<食管扩张处最大径的 1/2。

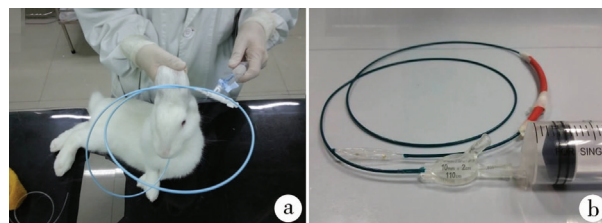


图 1 a,采用 NaOH 化学烧灼法制作新西兰大白兔食管狭窄的动物模型。b,实验中所采用的球囊导管(管径 10 mm)外包裹红色橡胶管,以防被兔门齿损伤球囊导管。

Fig.1 a, The rabbit model of esophagus stenosis was established by sodium hydroxide chemical cauterization; b, The balloon catheter (a diameter of 10 mm) was coated with red rubber tube to prevent injury from rabbit incisors.

3. 镁合金食管支架的放置:采用氯胺酮按常规剂量(40 mg/kg)行后腿肌肉注射麻醉后,将镁合金食管支架套在未充气的球囊外壁,轻轻加压使支架紧贴球囊,再将球囊及支架浸泡于无菌石蜡油中持续 5 s 后,在 X-ray 透视下慢慢送入到实验兔食管中,并将食管支架放置于食管狭窄处。往导管的球囊中注入稀释的泛影葡胺证实支架位置无误后,强力扩张球囊(球囊外径维持在 10 mm)并持续 3 min,完成支架放置。完全抽出球囊中稀释泛影葡胺并缓慢回撤导管,X-ray 摄片证实支架放射标记位于食管狭窄处(图 2)。支架放置过程中需监测实验兔生命体征变化。

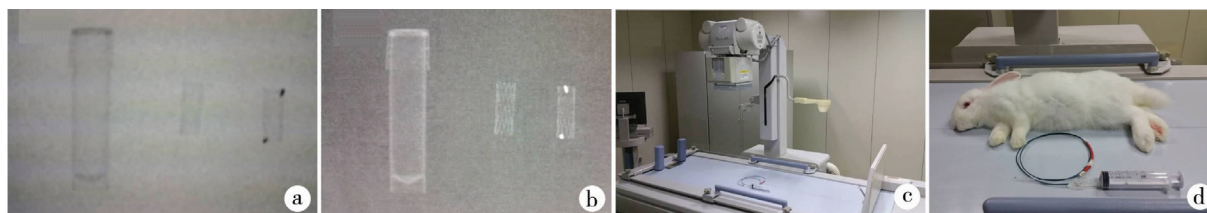


图 2 a 和 b,为镁合金食管支架在透视及摄片时的 X-ray 照片。图中分别为塑料容器、无放射标记的镁合金食管支架、有放射标记支架。c,为放置过程中采用的 X-ray 透视/摄片设备,以确认支架的放置位置。d,食管支架放置过程中需监测评估实验兔的呼吸、心率等生命体征变化。

Fig.2 Photos a & b, showed magnesium alloy stent on fluoroscopy and radiographs. There are a plastic container, non-radioactive labeled magnesium alloy esophageal stent and labeled stent. c, Fluoroscopic or radiographic equipment was used for confirming the location of stent. d, The changes of vital signs, such as respiration and heartbeat, should be monitored at any time during esophageal stenting.

4. 镁合金食管支架对实验兔生化、病理学的影响:实验兔食管狭窄处成功放置镁合金食管支架后,观察实验兔精神、行为方面有无异常。观察期满后,实验兔检测血常规、肝肾功能、电解质,以评估镁合金食管支架对实验兔生理、生化的影响。将观察期满的实验兔处死后解剖,获取食管、肝脏、肾脏送病理学检测,HE染色,评估镁合金食管支架对兔食管、肝、肾组织的影响。对照组为食管狭窄动物模型制作成功的兔(未放置镁合金食管支架)。

5. 镁合金食管支架治疗兔食管狭窄的治疗效果评估:实验兔食管狭窄处成功放置镁合金食管支架后,观察实验兔进食情况。将观察期满的兔行X-ray食管造影,以评估镁合金食管支架对食管狭窄的治疗效果。经X-ray数字摄片检查实验兔食管狭窄处放射性标记,以评估镁合金食管支架脱落情况。

### 三、统计学处理

采用SPSS18.0进行统计学分析,对血常规、肝肾功能及电解质等计量资料采用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,两组间比较采用独立样本 $t$ 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、镁合金食管支架的物理性能和体外毒性

通过检测,镁合金食管支架抗拉强度可达320~370 MPa、屈服强度可达260~300 MPa、延伸率可达24%~30%,其在模拟体液中的腐蚀速率为0.14~0.24 mm/year(图3)。该支架材料在细胞培养液中浸泡不同时间对Hela细胞、成纤维细胞的细胞增殖均无显著影响,均未发现该浸渍液有明显的细胞毒性。各项指标均符合婴幼儿可降解食管支架要求。该镁合金食管支架获得国家发明专利授权(ZL2012105078785)。

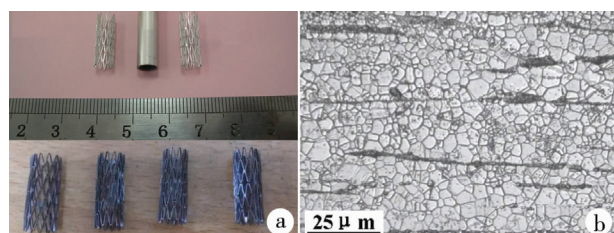


图3 a,为制备支架的JDBM-2镁合金挤压管材和表面处理后的镁合金食管支架样品照片。b,为该镁合金JDBM-2挤压后的金相显微组织,显示挤压后的组织结构非常细小、均匀。

Fig.3 a, The samples of JDBM-2 magnesium alloy extruded tube and magnesium alloy stent after surface treatment. b, The microstructure of the extruded JDBM-2 magnesium alloy shows that the microstructure is very small and uniform after extrusion.

### 二、治疗兔食管狭窄的效果评估

1. 对实验兔生理、生化及病理学的影响:本研究共4只实验兔食管狭窄处成功放置镁合金食管支架,并全部存活至观察期满(即放置食管支架满12周)。支架放置后,实验兔的精神、行为均未见明显异常;实验兔进食情况明显改善。观察期满时处死实验兔,抽血检测血常规(表1)、肝肾功能(表2)及电解质(表3),与对照组(未放置支架的食管狭窄兔,4只)相比均无显著性差异( $P > 0.05$ )。实验兔体内镁离子浓度轻度升高,与对照组相比无显著性差异( $P > 0.05$ )。病理检测结果(图4)显示实验兔食管黏膜完整,黏膜下层可见炎细胞及巨噬细胞浸润;肝脏、肾脏均未见明显病理性损伤改变。

表1 镁合金食管支架放置12周后,实验兔血常规改变( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Changes of blood routine parameters at Week 12 post-stenting( $\bar{x} \pm s$ )

| 项目                        | 对照组              | 实验组              | $t$ 值  | $P$ 值 |
|---------------------------|------------------|------------------|--------|-------|
| 白细胞计数                     | 8.54 $\pm$ 0.53  | 9.27 $\pm$ 0.56  | -1.135 | 0.300 |
| 淋巴细胞(%)                   | 67.95 $\pm$ 4.05 | 73.3 $\pm$ 4.6   | -1.729 | 0.135 |
| 中性粒细胞(%)                  | 17.6 $\pm$ 2.4   | 19.8 $\pm$ 2.8   | -1.193 | 0.278 |
| 嗜酸性粒细胞(%)                 | 1.4 $\pm$ 0.2    | 1.8 $\pm$ 0.3    | -1.824 | 0.118 |
| 嗜碱性粒细胞(%)                 | 4.6 $\pm$ 0.5    | 4.1 $\pm$ 0.6    | 1.216  | 0.270 |
| 红细胞计数( $\times 10^{12}$ ) | 6.23 $\pm$ 0.36  | 6.46 $\pm$ 0.29  | -0.99  | 0.360 |
| 血红蛋白测定(gh)                | 123.5 $\pm$ 8.1  | 130.0 $\pm$ 6.7  | -1.235 | 0.263 |
| 血小板计数( $\times 10^9$ )    | 144.4 $\pm$ 18.1 | 122.2 $\pm$ 26.3 | 1.386  | 0.215 |

表2 镁合金食管支架放置12周后,实验兔肝肾功能改变( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Changes of hepato-renal function parameters at Week 12 post-stenting( $\bar{x} \pm s$ )

| 项目                      | 对照组             | 实验组              | $t$ 值  | $P$ 值 |
|-------------------------|-----------------|------------------|--------|-------|
| ALT(IU/L)               | 52.1 $\pm$ 2.5  | 50.9 $\pm$ 3.0   | 0.586  | 0.579 |
| AST(IU/L)               | 28.7 $\pm$ 6.0  | 31.3 $\pm$ 5.4   | -0.641 | 0.545 |
| ALKP(IU/L)              | 115.3 $\pm$ 9.3 | 106.9 $\pm$ 10.3 | 1.208  | 0.273 |
| GGT(U/L)                | 7.3 $\pm$ 0.7   | 8.2 $\pm$ 0.9    | -1.55  | 0.172 |
| TBIL( $\mu$ mol/L)      | 7.3 $\pm$ 0.9   | 6.6 $\pm$ 0.9    | 1.043  | 0.337 |
| DBIL( $\mu$ mol/L)      | 5.4 $\pm$ 0.8   | 6.6 $\pm$ 0.7    | -2.057 | 0.085 |
| TP(g/L)                 | 54.5 $\pm$ 3.6  | 50.0 $\pm$ 5.0   | 1.449  | 0.197 |
| ALB(g/L)                | 18.1 $\pm$ 1.1  | 17.6 $\pm$ 0.7   | 0.745  | 0.484 |
| GLOBULIN(g/L)           | 36.4 $\pm$ 4.7  | 34.3 $\pm$ 4.1   | 0.670  | 0.528 |
| BUN( $\mu$ mol/L)       | 6.3 $\pm$ 0.5   | 5.6 $\pm$ 0.4    | 1.885  | 0.108 |
| CREA( $\mu$ mol/L)      | 65.7 $\pm$ 6.7  | 71.3 $\pm$ 6.2   | -1.232 | 0.264 |
| URIC ACID( $\mu$ mol/L) | 35.1 $\pm$ 4.2  | 35.5 $\pm$ 3.3   | -0.169 | 0.871 |



表3 镁合金食管支架放置12周后,实验兔外周血电解质改变( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Changes of electrolyte parameters in peripheral blood at Week 12 post-stenting( $\bar{x} \pm s$ )

| 项目               | 对照组         | 实验组          | <i>t</i> 值 | <i>P</i> 值 |
|------------------|-------------|--------------|------------|------------|
| Na <sup>+</sup>  | 136.8 ± 5.3 | 144.5 ± 4.14 | -2.93      | 0.062      |
| K <sup>+</sup>   | 5.85 ± 0.36 | 6.20 ± 0.41  | -1.3       | 0.241      |
| Cl <sup>-</sup>  | 101.2 ± 5.2 | 106.6 ± 3.0  | -1.807     | 0.121      |
| Ca <sup>2+</sup> | 3.43 ± 0.10 | 3.35 ± 0.08  | 1.143      | 0.297      |
| P                | 2.34 ± 0.42 | 2.69 ± 0.24  | -1.401     | 0.211      |
| Mg <sup>2+</sup> | 1.15 ± 0.07 | 1.23 ± 0.05  | -1.709     | 0.138      |
| ECO <sub>2</sub> | 16.0 ± 0.9  | 17.1 ± 0.8   | -1.805     | 0.121      |

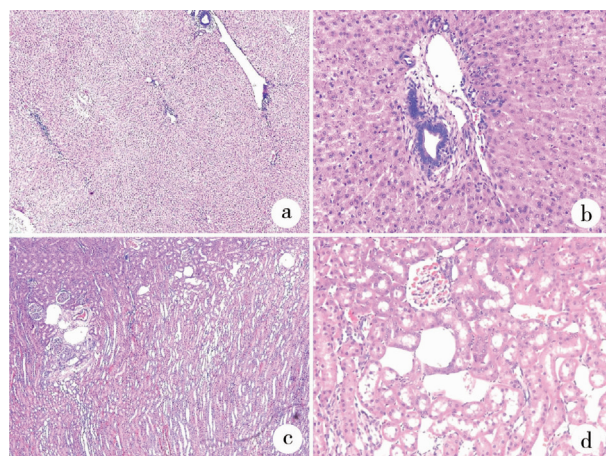


图4 观察期满后实验兔肝(a和b)和肾(c和d)的病理切片 HE 染色,实验兔肝、肾未见明显损伤性改变。a和c为50倍光镜,b和d为100倍光镜。

Fig. 4 After observation period, HE-stained liver (a&b) and kidney (c&d) showed no obvious liver or kidney damage. a&c were 50 × microscope; b&d 100 × microscope.

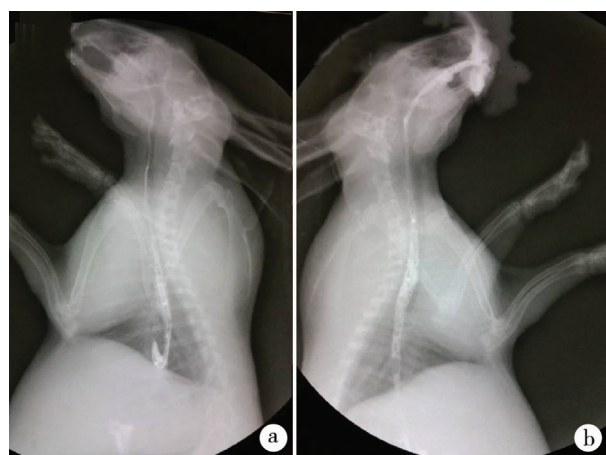


图5 置入镁合金食管支架的实验兔至观察期满后,行X-ray食管造影显示食管狭窄较前明显好转。a为支架置入之前造影,b为观察期满造影。

Fig. 5 After observation period, esophageal radiography showed that esophagus was decent and there was no obvious esophageal stricture. a, pre-stenting; b, esophageal radiography after observation period.

2. 对兔食管狭窄的治疗效果评估:支架放置后实验兔进食情况明显改善。将观察期满的兔行X-ray食管造影显示食管狭窄较前明显好转(图5)。经X-ray数字摄片检查,3只实验兔在食管狭窄处发现残留的支架放射标记,1只实验兔的食管、腹部、盆腔均未发现放射标记残留,证实食管支架脱落。

## 讨 论

### 一、婴幼儿食管狭窄的治疗

食管狭窄的治疗方法主要为食管扩张、外科手术、食管支架置入。婴幼儿食管狭窄通常需要多次反复进行X-ray下食管扩张术<sup>[1]</sup>,患儿较为痛苦,X-ray辐射剂量过大也会对患儿的生长发育造成不良影响;食管扩张时部分患儿会出现食管破裂、纵膈气肿,导致严重的纵膈感染,甚至危及生命。有些严重的食管狭窄患儿只能再次手术治疗,术后又会再次面临食管再狭窄的问题<sup>[2]</sup>;而慢性炎症反应致食管与周围组织粘连紧密,手术分离更加困难,手术风险和术后并发症更为突出<sup>[3,4]</sup>。

食管支架置入在成人患者中常用,如金属支架(镍钛合金支架、不锈钢支架等)、矽制管状支架等。但由于传统食管支架不能适应婴幼儿食管快速生长发育的需要,临床医师对婴幼儿食管支架置入多保持谨慎态度<sup>[5,6]</sup>;而且传统的食管支架有一个非常突出的缺点:无论治疗成功还是失败,均需再次取出支架(恶性肿瘤患者作为姑息性治疗者除外),会进一步增加相关风险,例如出血、食管瘘、肉芽肿形成、感染等。因此,婴幼儿食管狭窄的支架治疗受到很大制约<sup>[7,8]</sup>。

目前,可降解食管支架研究主要聚焦于高分子生物材料,可降解镁合金材料尚未见报道。鉴于可降解镁合金已成功应用于冠脉支架、气管支架等领域,镁合金可降解支架可能是下一代食管支架的研究方向。

### 二、镁合金食管支架的研究进展

镁合金在人体内的应用可追溯到1907年,Lambotte首次应用纯镁金属为下肢骨折的患者进行了内固定,开创了金属镁在人体内应用的先河<sup>[9]</sup>。随后研究人员对镁在人体内的抗腐蚀能力进行了大量研究,通过合成不同种类的镁合金(如镁钙合金、镁铝合金、镁铝锰合金等),采用循环挤压工艺改善其机械性能,采用微氧化弧制备耐腐蚀陶瓷膜表面处理技术,使镁合金耐腐蚀阻抗能力得到显著提

高<sup>[10,11]</sup>。目前,镁合金已广泛应用于生物医学领域,如在骨折的固定、气管狭窄的治疗,冠脉血管支架的临床应用,都体现了其良好的生物相容性,符合临床应用标准<sup>[12-15]</sup>。

本研究首次提出可降解镁合金食管支架这一理念。应用现代材料合金技术和表面处理技术,可制成能够在一定时间内被机体降解吸收的镁合金食管支架,不会对患儿生长发育造成影响;同时镁是人体必需的微量元素,降解后镁离子进入人体缓冲系统,并经过尿液排出体外,不会对人体组织造成毒性。该支架置入后可避免后期的内膜增殖,不易发生再狭窄;植入后即使发生支架脱落,也可以通过人体降解吸收或者直接排出体外;在同一食管狭窄处还可反复多次植入食管支架,这一点对婴幼儿食管狭窄患者来说尤为重要。

### 三、镁合金食管支架在食管狭窄治疗中的作用

本研究成功放置4只镁合金食管支架,观察期满时(放置后12周)发现有3只实验兔体内有支架放射标记残留(3/4)。放置食管支架后,实验兔神经、行为未见明显异常;实验兔抽血检测血常规、肝肾功能、电解质均未见明显异常;病理学检测实验兔食管、肝肾未见明显病理性损伤改变,均表明镁合金食管支架对实验兔无明显毒性,安全性高。实验组兔体内镁离子浓度轻度升高( $P > 0.05$ ),可能与镁合金食管支架溶解入血的镁离子进入体内缓冲系统,并经肾脏排泄,未引起明显的血清镁离子浓度波动有关。本研究结果表明,可降解镁合金食管支架治疗兔食管狭窄具有安全性高,副作用小,不良反应少的优点。

支架放置后,实验兔进食情况明显改善;行X-ray食管造影显示食管狭窄较前明显好转,说明该支架在治疗食管狭窄方面效果良好,具有很大的潜在临床应用前景。本研究中有1只支架放射标记在随访期满前消失,可能与实验兔食管蠕动、食物推送作用等因素导致支架脱落有关。后续研究可改良支架设计,增加支架对食管壁的附着力,降低支架脱落率,以继续验证其治疗效果。该镁合金食管支架在模拟体液中的腐蚀速率为 $0.14 \sim 0.24 \text{ mm/year}$ ,而本研究观察期只有12周,观察期满时支架在实验兔体内尚未完全降解。

综上所述,可降解镁合金食管支架具有安全性高,副作用小,不良反应少的优点,在治疗兔食管狭窄中具有明显的效果。而镁合金食管支架还具有自行降解吸收,不影响患儿生长发育的优点。镁合

金食管支架治疗可为婴幼儿食管狭窄带来一条崭新的治疗思路,具有很大的潜在临床应用前景。

## 参考文献

- 1 Savino F, Tarasco V, Viola S, et al. Congenital esophageal stenosis diagnosed in an infant at 9 month of age [J]. Ital J Pediatr, 2015, 41 (10): 72. DOI: 10.1186/s13052-015-0182-y.
- 2 Angotti R, Molinaro F, Noviello C, et al. Gastric transposition as a valid surgical option for esophageal replacement in pediatric patients: experience from three Italian medical centers [J]. Gastroenterol Rep (Oxf), 2017, 5 (1): 47-51. DOI: 10.1093/gastro/gow012.
- 3 Zhu H, Shen C, Xiao X, et al. Reoperation for anastomotic complications of esophageal atresia and tracheoesophageal fistula [J]. J Pediatr Surg, 2015, 50 (12): 2012-2015. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2015.08.015.
- 4 Lévesque D, Baird R, Laberge JM. Refractory strictures post-esophageal atresia repair: what are the alternatives? [J]. Dis Esophagus, 2013, 26 (4): 382-387. DOI: 10.1111/dote.12047. Review.
- 5 Aldana PR, Wieder K, Postlethwait RA, et al. Ultrasound-aided fixation of biodegradable implants in pediatric craniofacial surgery [J]. Pediatr Neurosurg, 2011, 47 (5): 349-353. DOI: 10.1159/000337874.
- 6 Chauvet C, Bonnard A, Mosca A, et al. Postsurgical perforation of the esophagus can be treated using a fully covered stent in children [J]. J Pediatr Gastroenterol Nutr, 2017, 64 (2): e38-e43. DOI: 10.1097/MPG.0000000000001235.
- 7 Manfredi MA, Jennings RW, Anjum MW, et al. Externally removable stents in the treatment of benign recalcitrant strictures and esophageal perforations in pediatric patients with esophageal atresia [J]. Gastrointest Endosc, 2014, 80 (2): 246-252. DOI: 10.1016/j.gie.2014.01.033.
- 8 Uygun I, Arslan MS, Aydogdu B, et al. Fluoroscopic balloon dilatation for caustic esophageal stricture in children: an 8-year experience [J]. J Pediatr Surg, 2013, 48 (11): 2230-2234. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2013.04.005.
- 9 Bartonček J, Kozánek M, Jupiter JB. Early history of scapular fractures [J]. Int Orthop, 2016, 40 (1): 213-222. DOI: 10.1007/s00264-015-2821-8.
- 10 张璐, 崔彤, 史旭晨. 生物医用镁合金耐腐蚀性的研究进展 [J]. 腐蚀与防护, 2016, 37 (8): 666-670. DOI: CNKI: SUN; FSYF.0.2016-08-013.  
Zhang L, Cui T, Shi XC. Progress in research on corrosion resistance of biomedical magnesium alloys [J]. Corrosion & Protection, 2016, 37 (8): 666-670. DOI: CNKI: SUN;

- FSYF. 0. 2016-08-013.
- 11 廖穗祥,郑冠,史成龙,等. 镁合金内固定物的降解与力学强度[J]. 广东医学,2016,37(01):45-49. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20160118.017.  
Liao SX,Zheng G,Shi CL,et al. Degradation and mechanical property of fixation devices of magnesium alloy[J]. Guangdong Med J,2016,37(01):45-49. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20160118.017.
  - 12 Zhang E, Yang L, Xu J, et al. Microstructure, mechanical properties and bio-corrosion properties of Mg-Si(-Ca,Zn) alloy for biomedical application[J]. Acta Biomater,2010,6(5):1756-1762. DOI:10.1016/j.actbio.2009.11.024.
  - 13 Han J,Wan P,Ge Y,et al. Tailoring the degradation and biological response of a magnesium-strontium alloy for potential bone substitute application[J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl,2016,58:799-811. DOI: 10.1016/j.msec.2015.09.057.
  - 14 Perkins J,Xu Z,Smith C,et al. Direct writing of polymeric coatings on magnesium alloy for tracheal stent applications[J]. Ann Biomed Eng,2015,43(5):1158-1165. DOI:10.1007/s10439-014-1169-3.
  - 15 Yue Y,Wang L,Yang N,et al. Effectiveness of biodegradable magnesium alloy stents in coronary artery and femoral artery[J]. J Interv Cardiol,2015,28(4):358-364. DOI: 10.1111/joic.12217.

(收稿日期:2017-03-27)

**本文引用格式:**顾松,顾洪斌,马靖,等. 可降解镁合金食管支架治疗食管狭窄的动物实验研究[J]. 临床小儿外科杂志,2018,17(1):60-65. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.01.015.

**Citing this article as:** Gu S, Gu HB, Ma J, et al. Experimental treatment of esophageal stricture with biodegradable magnesium alloy stent[J]. J Clin Ped Sur,2018,17(1):60-65. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.01.015.

## · 专利介绍 ·

# 改装导尿管用于空气灌肠治疗肠套叠

胡屹峰

肠套叠空气灌肠通常是以 Folly 氏尿管作为灌肠管,为了避免灌肠过程中尿管脱出,常常往尿管侧气囊内注水或注气 30 mL。但在实际操作中,当灌肠压力超过 12 Kpa 时,常有气体经气囊周围漏出,以致灌肠压力难以上升,压力不足,无法将套叠肠管冲开。为了避免有气体自气囊周围漏出,医生通常采取设法把气囊胀大一些,即向气囊内多注入气体或水,但过多注入气体或水,气囊会压闭中心管,使灌肠机的气体无法进入直肠。为此,我们采取以下改进方法取得了良好的效果。

自制空气灌肠管:准备 18 号 Folly 氏尿管 1 根,

16 号注射针头 1 枚。将 16 号注射针头剪去针尖,剪除注射器塑料接口,削去塑料口的 4 个塑料棱,使其光滑无棱角,将制作好的针头经 18 号 Folly 氏尿管的膀胱端侧孔置入尿管内,针尖部向前与侧孔平齐。这样,在中间插入一个改造好的针头,无论气囊充气或充液至多大,都不会将中心管压闭。灌肠机的气体可顺利进入直肠内。该方法的优点在于材料易获取,16 号针头与 18 号 Folly 氏尿管刚好配套。如针头过大,易损伤中心导尿管,过小,易在灌肠过程中脱出。目前该方法已获得国家实用新型专利。专利号为 ZL 2010 2 0178870.5

**作者单位:**山东省枣庄市立医院(山东省枣庄市,277102),

Email: hu-yifeng291@sohu.com