

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2020.17.004

基于磁驱动技术的空肠营养管的设计 *

常凯曦^{1,2,3} 吉琳^{2,3} 吝怡^{2,3} 樊茜^{2,3} 李露新^{2,3} 刘建华⁴马锋² 吕毅^{1,2Δ} 严小鹏^{1,2Δ}

(1 西安交通大学第一附属医院肝胆外科 陕西 西安 710061; 2 西安交通大学第一附属医院精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心 陕西 西安 710061; 3 西安交通大学启德书院 陕西 西安 710061; 4 中国科学院电工研究所 北京 100190)

摘要 目的:为解决目前床旁鼻肠管快速置入成功率低这一临床难题,该文提出一种基于磁驱动技术的空肠营养管的设计。**方法:**分析了现有空肠营养管置管过程中的动力因素,结合磁驱动技术原理,提出了通过体外旋转磁场带动体内感应磁体螺旋式前进的设计方案,以期缩短空肠营养管的飘管时间。**结果:**该设计包括磁性空肠营养管和体外磁力驱动装置两部分。其中磁性空肠营养管由管体和感应磁头两部分构成,感应磁头包括磁体内核和硅胶外壳。磁力驱动装置由多极磁体和手持式微型电机组成。操作时通过体外磁力驱动装置发出大旋转磁场带动空肠营养管的感应磁头做轴向旋转运动,可加速空肠营养管在肠道内的移动,达到缩短飘管时间的目的。**结论:**该设计基于磁驱动技术原理,设计巧妙,符合磁力学原理,操作简单,具有临床应用潜力。

关键词:磁驱动技术;鼻肠管;肠内营养;磁外科

中图分类号:R-33;Q64;TH77;R197.39 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2020)17-3217-04

The Design of Jejunum Nutrition Tube Based on Magnetic Drive Technology*

CHANG Kai-xi^{1,2,3}, JI Lin^{2,3}, LIN Yi^{2,3}, FAN Qian^{2,3}, LI Lu-xin^{2,3}, LIU Jian-hua⁴, MA Feng², LV Yi^{1,2,Δ}, YAN Xiao-peng^{1,2,Δ}

(1 Department of Hepatobiliary Surgery, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China;

2 National Local Joint Engineering Research Center for Precision Surgery & Regenerative Medicine, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China; 3 Qide College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China;

4 Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, China)

ABSTRACT Objective: To solve the problem of low success rate of placing nasointestinal tube rapidly at the bed, this paper proposes a design of nasointestinal tube based on magnetic drive technology. **Methods:** The dynamic factors in the process of placing the nasointestinal tube were analyzed, and the design scheme of driving the induction magnet in the body forward by rotating the magnetic field outside the body was proposed, in order to shorten the floating time of the nasointestinal tube. **Results:** The design consists of two parts: magnetic nasointestinal tube and external magnetic drive device. The magnetic nasointestinal tube is composed of a tube body and an induction head, which includes a magnet core and a silicone shell. The magnetic driving device is composed of multi-pole magnets and hand-held micro-motor. During operation, a large rotating magnetic field is generated by the external magnetic drive device to drive the induction head of the nasointestinal tube to do axial rotation, which can accelerate the movement of the nasointestinal tube in the intestinal tract and shorten the floating tube time. **Conclusions:** The design is based on the principle of magnetic drive technology, which is ingenious, in accordance with the principle of magnetism, simple to operate and has the potential of clinical application.

Key words: Magnetic drive technology; Nasointestinal tube; Enteral nutrition; Magnetosurgery

Chinese Library Classification(CLC): R-33; Q64; TH77; R197.39 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2020)17-3217-04

前言

肠内营养是不能经口进食但肠道功能尚存的重症患者首选的营养支持治疗方案^[1-3]。尽早实施肠内营养对重症患者的恢

复具有重要意义,故应尽可能提高单次插管成功率,减少肠内营养等待时间^[4]。留置鼻胃管操作简单,成功率高,但因鼻肠管与鼻胃管相比更能显著降低重症患者呼吸机相关肺炎发生率,避免反流引起的误吸等不良事件,因此是ICU重症患者普遍

* 基金项目:国家自然科学基金项目(81700545);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JQ8021);

中央高校基本科研业务费专项资金(xjj2018jchz14)

作者简介:常凯曦(1999-),女,大学本科在读,临床医学专业,电话:18091438565, E-mail: 1418319641@qq.com

Δ 通讯作者:吕毅(1963-),男,博士,教授,主任医师,主要研究方向:肝移植、肝胆胰肿瘤、磁外科、组织工程与再生医学、医学教育,电话:02982657541, E-mail: luyi169@126.com;

严小鹏(1984-),男,博士,副研究员,住院医师,主要研究方向:肝移植、磁外科、医学教育,

电话:15332432878, E-mail: yanxiaopeng99@163.com

(收稿日期:2019-12-31 接受日期:2020-01-27)

使用的肠内营养途径^[5-7]。鼻肠管的肠内营养效果虽然优于鼻胃管,但留置较困难。内镜下引导鼻肠管置入法成功率较高,但操作流程较为复杂,需要一定的设备和技术支持,而且对于重症甚至昏迷的患者实施起来就更加困难,且风险较高。

床旁盲插法操作简单,但成功率明显降低,分析其原因在于当鼻肠管头端到达胃内后,因外力无法控制鼻肠管头端方向,因此继续送管并无助于其头端经过幽门进入十二指肠,有时还会导致鼻肠管在胃内打折蜷曲。临床实践中通常依靠胃肠道的蠕动力带动鼻肠管继续前行。为促进鼻肠管尽快进入肠道,有人设计出了螺旋型鼻肠管^[8]、液囊空肠导管^[9]、重力头鼻肠管^[10]等。既往有学者开展过床旁电磁导航下放置鼻肠管的临床试验^[11-13],我们团队前期也设计出了基于磁导航技术的磁性空肠营养管^[14]、麦芒仿生鼻肠管^[15]。这些设计和改进对空肠营养管的置入发挥了积极作用,但仍不能完全满足临床需求。

磁外科(magnetic surgery, MS/ Magnetosurgery)是利用磁性物质间隔物发力的特点,来实现组织压榨、器官锚定、可控示踪、管腔导航、间隙扩张、磁力驱动等功能,从而完成临床诊断和治疗的新兴综合性技术学科。磁外科发展已有 40 余年历史,在经历了实验验证阶段、自由探索阶段后现已进入学科建设阶段^[16]。随着磁外科学概念的提出和初步理论体系的构建,磁外科已形成了以磁压榨技术、磁锚定技术、磁示踪技术、磁导航技术、磁悬浮技术和磁驱动技术为核心的临床应用体系。磁外科先进技术已用于胃肠吻合^[17-19]、血管吻合^[20]、磁锚定腔镜技术^[21]、食管闭锁再通^[22]、狭窄胆道再通^[23]、淋巴结示踪^[24]、动物疾病模型制备^[25]等诸多领域。磁驱动技术(magnetic drive technique, MDT)以非接触性磁场力的形式,通过外部可控的旋转磁场带动体内的磁体做同轴旋转运动,并将旋转运动转化成可利用的驱动力,以此来解决临床问题。该设计借助磁驱动原理,在空肠营养管头端加载带有硅胶螺纹的磁性头端,在体外驱动磁场的作用下磁性头端可旋转前进,从而带动空肠营养管快速达到空肠。

1 设计思路

该设计包含体外的磁场驱动装置和体内的磁性空肠营养管两部分。为提高空肠营养管的驱动效率,空肠营养管的头端外形采用螺旋状的结构设计,头端内部嵌有感应磁体。空肠营养管的管体和头端之间采用轴连接,以确保头端独立旋转运动,而不引起整个营养管管体旋转。体外驱动磁场可以为电磁场也可由永磁体来提供。以永磁体为例,围绕中心轴以 N 极和 S 极交替分布的方式排列磁铁,通过微型电机带动永磁体沿中心轴旋转,对外则表现出 N 极和 S 极交替出现的旋转磁场,外部旋转磁场可带动感应磁体的 N 极和 S 极做同步旋转运动。

2 基本结构

基于磁驱动技术的磁性空肠营养管的基本结构包括两部分:磁性头端和营养管管体。其核心结构是磁性头端。

2.1 磁性头端

磁性头端的结构如图 1 所示,包括轴连接装置和磁性头端主体。为使体内感应磁体在有限的体积下能与体外驱动磁体获得最大的耦合力,应选用磁学性能高的材料。烧结钕铁硼因具有较好的磁学性能且表面改性多样^[26,27],可视为首选材料。感应

磁体为圆柱体,径向饱和充磁。医用硅胶理化性能优良、生物相容性好,已在医学中被广泛应用^[28]。感应磁体外部可包被螺旋型医用硅胶外壳,硅胶壳尾端有伞形连接头,用于和常规空肠营养管头端连接组合。硅胶壳侧壁呈螺纹状。

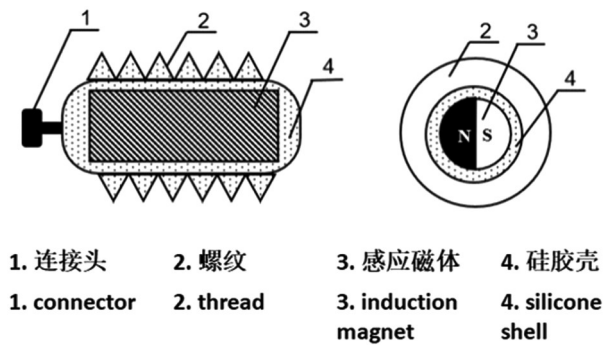


图 1 磁性头端结构示意图

Fig.1 Structure diagram of the magnetic side

2.2 磁性空肠营养管

磁性空肠营养管的管体结构如图 2 所示,图中 1 为营养管管体,在其头端有侧孔 2,头端正中有连接孔,用以接入磁性头端的伞状连接头。管体和磁性头端的连接后的结构如图 3 所示。

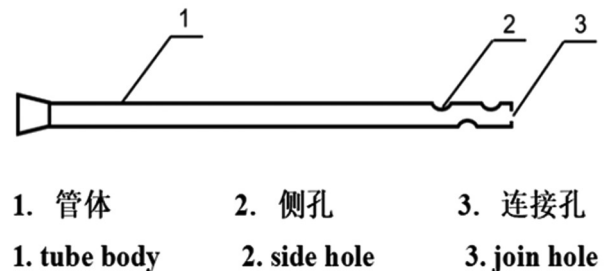


图 2 磁性空肠营养管体结构示意图

Fig.2 Structure diagram of the magnetic nasointestinal tube body

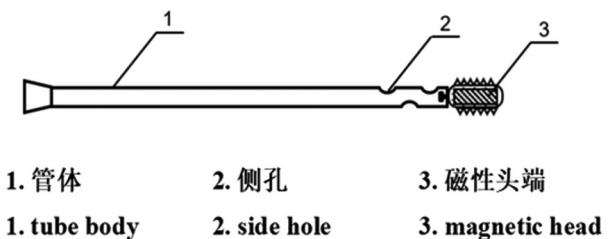


图 3 磁性空肠营养整体结构示意图

Fig.3 Structure diagram of the magnetic nasointestinal tube

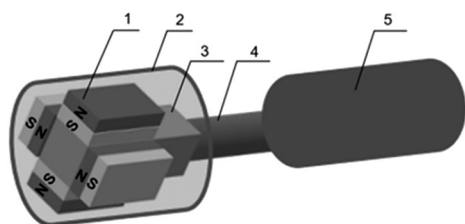
2.3 磁力驱动装置

磁力驱动装置的结构包括两部分:小型手持式电机和驱动磁体。电机控制系统可参照现有文献报道的设计方案^[29]加以改进。如图 4 所示,手持小型电机的转轴四周载有完全相同的永磁体四块,每块永磁体以同极相对、异极相邻的方式固定于转轴的四周。随着电机的启动,转轴开始按照一定的方向运转,并带动四周的永磁体旋转,从而产生交替变化的驱动磁场。

2.4 工作原理

当手持电机启动后转轴按照一定的方向带动驱动磁体运动,从而产生交替变化的驱动磁场。当驱动装置靠近磁性头端

后,由于感应磁体为径向充磁,因此,感应磁体在交替变化的驱动磁场作用下也会产生旋转,从而带动螺旋状的硅胶外壳旋转前进,作为内在驱动力带动空肠营养管前行。



1. 永磁体 2. 外壳 3. 磁轴
4. 电机轴 5. 小型电机
1. permanent magnet 2. shell 3. magnet shaft
4. motor shaft 5. small electromotor

图4 磁驱动装置结构示意图

Fig.4 Structure diagram of the magnetic drive device

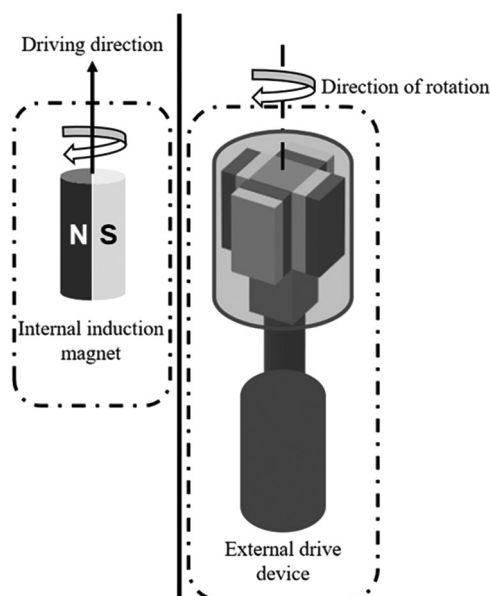


图5 磁性空肠营养管工作原理示意图

Fig.5 Working principle diagram

3 使用方法

磁性空肠营养管的置入与常规鼻肠管置入方法类似。患者取坐位或半卧位,根据磁性空肠营养管上的刻度判断磁性头端已进入胃腔后^[30],将体外驱动装置置于患者左上腹,使空肠营养管的磁性头端和体外驱动装置靠近。然后将已启动的磁力驱动装置沿胃、十二指肠、空肠起始端在体表的投影走形缓慢移动,使空肠营养管的磁性头端在胃肠道内螺旋式前进。待其移动一段距离后,至幽门处时可能有一定阻力。当向外轻拉空肠营养管尾端,若感受到较大阻力,则说明空肠营养管头端已进入十二指肠^[31,32]。继续推送空肠营养管,并继续缓慢移动体外的磁性驱动装置,根据空肠营养管深度判断是否进入空肠起始端。也可通过拍摄腹部平片以确定其位置。使用过程中需注意患者在留置空肠营养管期间应避免磁共振检查。

4 结语

基于磁驱动技术的空肠营养管的设计主要有以下优点:
① 增加了空肠营养管置入的外力。现有空肠营养管置入过程中,帮助其置入的力包括推送力、液囊重力、胃肠道蠕动力,该设计增加了磁性驱动力,有利于空肠营养管的快速置入;
② 采用高性能磁性材料:N52 烧结型钕铁硼具有很高的磁学性能,可在感应磁体体积受限的情况下,尽可能提供足够大的磁力,感应磁体外部的硅胶螺纹柔韧性好,可减少对接口的机械性损伤;
③ 操作简单、设备要求低。该空肠营养管置入可在床旁开展,所需的磁驱动装置体积小,为手持式,携带方便;
④ 适用范围广。理论上讲该空肠营养管的使用没有明显的禁忌症,可适用于临床绝大多数患者。

综上,基于磁驱动技术的空肠营养管设计巧妙,结构简单,操作灵活性高,进一步优化结构设计和加工工艺,该营养管可在临床推广使用。

参考文献(References)

- [1] Taylor BE, McClave SA, Martindale RG, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.) [J]. Crit Care Med, 2016, 44(7): 390-438
- [2] 马丹女, 陆军, 王飞, 等. 重度心力衰竭机械通气患者早期肠内营养的价值[J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31(7): 903-905
- [3] 张蕾. 早期肠内营养对急性重症胰腺炎炎症状况、细胞免疫功能及营养状况的影响[J]. 中国当代医药, 2019, 26(12): 76-78
- [4] 毛青青, 刘莹. 早期肠内营养干预对晚期食管癌同步放化疗患者肠黏膜屏障功能及营养状况的影响[J]. 世界华人消化杂志, 2019, 27(2): 101-106
- [5] Alkhwaja S, Martin C, Butler RJ, et al. Post-pyloric versus gastric tube feeding for preventing pneumonia and improving nutritional outcomes in critically ill adults[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015, 8(8): CD008875
- [6] 吴华炼, 张霞, 陈森, 等. 小肠内营养与胃内营养对呼吸相关性肺炎影响的 Meta 分析[J]. 肠外与肠内营养, 2016, 23(1): 27-33
- [7] 周娅, 陈倪. 经鼻肠管和鼻胃管肠内营养对重型颅脑损伤患者预后及并发症的影响[J]. 解放军预防医学杂志, 2019, 37(3): 72-74
- [8] 陈娜娜. 危重患者幽门后放置螺旋鼻肠管辅助方法的研究进展[J]. 临床医学研究与实践, 2019, 4(21): 197-198
- [9] 冯振洁. 液囊空肠导管应用于急性胰腺炎患者早期肠内营养的观察及护理[J]. 中外医学研究, 2017, 15(12): 60-61
- [10] 陈红跃, 高宗跃, 周晓丽. 带重力锤鼻胃管在十二指肠瘘治疗中的临床研究[J]. 医学信息: 下旬刊, 2010, 23(18): 3350-3351
- [11] Kaffarnik MF, Lock JF, Wassilew G, et al. The use of bedside electromagnetically guided nasointestinal tube for jejunal feeding of critical ill surgical patients[J]. Technol Health Care, 2013, 21(1): 1-8
- [12] Taylor SJ, Manara AR, Brown J. Treating delayed gastric emptying in critical illness: metoclopramide, erythromycin, and bedside (cortrak) nasointestinal tube placement [J]. JPENJ Parenter Enteral Nutr, 2010, 34(3): 289-294
- [13] Mathus-Vliegen EM, Duflou A, Spanier MB, et al. Nasoenteral feeding tube placement by nurses using an electromagnetic guidance system (with video)[J]. Gastrointest Endosc, 2010, 71(4): 728-736
- [14] 严小鹏, 刘变雁, 马佳, 等. 基于磁导航技术的磁性空肠营养管设

- 计[J].现代仪器与医疗, 2015, 21(3): 1-3
- [15] 杜妍莹, 卢强, 马锋, 等. 磁导航技术辅助麦芒仿生鼻肠营养管的设计和初步实验研究 [J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(13): 2583-2586
- [16] 严小鹏, 商澎, 史爱华, 等. 磁外科学体系的探索与建立[J]. 科学通报, 2019, 64(8): 815-826
- [17] 张小宾, 吝怡, 樊茜, 等. 磁压榨技术建立大鼠胃肠吻合模型的实验研究[J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(23): 4429-4433
- [18] Ma F, Ma J, Ma S, et al. A novel magnetic compression technique for small intestinal end-to-side anastomosis in rats [J]. J Pediatr Surg, 2019, 54(4): 744-749
- [19] Bai J, Huo X, Ma J, et al. Magnetic compression technique for colonic anastomosis in rats[J]. J Surg Res, 2018, 231: 24-29
- [20] Wang HH, Ma J, Wang SP, et al. Magnetic anastomosis rings to create portacaval shunt in a canine model of portal hypertension [J]. J Gastrointest Surg, 2019, 23(11): 2184-2192
- [21] Rivas H, Robles I, Riquelme F, et al. Magnetic surgery: results from first prospective clinical trial in 50 patients [J]. Ann Surg, 2018, 267(1): 88-93
- [22] Ellebaek MBB, Qvist N, Rasmussen L. Magnetic compression anastomosis in long-gap esophageal atresia gross type A: a case report[J]. Eur J Pediatr Surg Rep, 2018, 6(1): e37-e37
- [23] Jang SI, Lee KH, Yoon HJ, et al. Treatment of completely obstructed benign biliary strictures with magnetic compression anastomosis: follow-up results after recanalization [J]. Gastrointest Endosc, 2017, 85(5): 1057-1066
- [24] Ookubo T, Inoue Y, Kim D, et al. Characteristics of magnetic probes for identifying sentinel lymph nodes[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2013, 2013: 5485-5488
- [25] Gao Y, Wu RQ, Lv Y, et al. Novel magnetic compression technique for establishment of a canine model of tracheoesophageal fistula[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25(30): 4213-4221
- [26] 刘豪, 付珊, 付琴琴, 等. 医用钛铁硼体内植入表面改性研究现状 [J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(1): 175-179
- [27] 利荣森, 唐焱, 徐晋勇, 等. 烧结钛铁硼永磁体制备工艺的研究进展 [J]. 热加工工艺, 2019, 48(4): 10-14
- [28] 樊东力, 石含英. 医用硅胶在创面、瘢痕增生挛缩防治中的应用及其进展[J]. 中国临床康复, 2003, 7(32): 4396-4397
- [29] 陈涛, 赵智宇, 李东, 等. 永磁悬浮回转驱动系统的磁场分析 [J]. 重型机械, 2017, (6): 33-36
- [30] 黄莉, 宋学军, 王文菊. 延长置管深度提高老年病人螺旋形鼻肠管置管成功率的研究[J]. 护理研究: 上旬版, 2017, 31(3): 796-798
- [31] 江洁, 罗倩, 朱宝华. 改良徒手法幽门后置管在老年危重症患者中的应用研究[J]. 东南大学学报: 医学版, 2019, 38(01): 81-84
- [32] 蔡继明, 孙立, 倪卫红, 等. 床边超声引导鼻小肠管置入术在老年危重患者中的临床应用 [J]. 中华老年医学杂志, 2017, 36(10): 1103-1106

(上接第 3281 页)

- [19] Jain M. Neonatal Cholestasis - Single Centre Experience in Central India [J]. Indian Journal of Community Medicine, 2016, 41 (4): 299-301
- [20] Qingqing Jie, Su Lin, Hao Zhang, et al. Clinical analysis of 8 cases of neonatal septicemia caused by Candida haemulonii in neonatal intensive care unit[J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2016, 54(3): 197-200
- [21] Awni B M, Rahal M A, Fontes A B, et al. 145 Systematic delivery approach at 37 weeks of gestation in mild and severe preeclampsia: Maternal and neonatal outcomes: Preeclampsia in low and middle income countries[J]. Pregnancy hypertension an international journal of womens cardiovascular health, 2016, 6(3): 251-252
- [22] Shetty N S, Shah I. Neonatal cholestasis due to primary sclerosing cholangitis[J]. Journal of Family Medicine and Primary Care, 2016, 5(4): 863
- [23] Esmaeilvand M, Asadian S, Siavashi V, et al. Comparison of the Transfusion Complications in Term and Preterm Neonates with Jaundice [J]. Journal of Babol University of Medical Sciences, 2016, 18(189): 49-55
- [24] Rong Z H, Luo F, Ma L Y, et al. Evaluation of an automatic image-based screening technique for neonatal hyperbilirubinemia [J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2016, 54(8): 597
- [25] Agin M, Tumgor G, Alkan M, et al. Clues to the diagnosis of biliary atresia in neonatal cholestasis[J]. Turkish Journal of Gastroenterology the Official Journal of Turkish Society of Gastroenterology, 2016, 27(1): 37
- [26] L Harsha, Jothi Priya, Khushali K. Shah, et al. Systemic Approach to Management of Neonatal Jaundice and Prevention of Kernicterus[J]. Research Journal of Pharmacy and Technology, 2015, 8(8): 1087
- [27] Negi, Rashmi, Sorte, Dipti Y, B, Gomati. Effect of White Reflecting Curtains on Neonatal Jaundice[J]. International journal of nursing education, 2015, 7(4): 147
- [28] Basiri-Moghadam M, Basiri-Moghadam K, Kianmehr M, et al. The effect of massage on neonatal jaundice in stable preterm newborn infants: A randomized controlled trial[J]. Journal of the Pakistan Medical Association, 2015, 65(6): 602-606
- [29] Kumar K, Sohaila A, Tikmani S S, et al. Screening for G6PD Deficiency Among Neonates with Neonatal Jaundice Admitted to Tertiary Care Center: A Need in Disguise [J]. J coll physicians surg pak, 2015, 25(8): 625-626