

吞咽造影量化分析的信度研究

戴萌 万桂芳 王玉珏 卫小梅 谢纯青 武惠香 窦祖林

【摘要】目的 采用自主开发的吞咽造影数字化采集与分析系统进行吞咽造影时间学参数和运动学参数的量化分析,确定该分析方法的信度。**方法** 选取吞咽功能障碍患者 18 例,接受标准吞咽造影检查,分别选择质地为 3 ml、5 ml 由 600 kg/m³ 硫酸钡混悬液调制的稀流质、浓流质、糊状食团,每位受试者共进行 6 次吞咽。由两名分析者分别对所采集的吞咽造影视频进行间隔时间为 4 周的 2 次分析,分析参数包括口腔运送时间、软腭上抬时间、舌骨位移时间、喉关闭时间、环咽肌开放时间、舌骨向前位移、舌骨向上位移、环咽肌开放幅度及咽腔收缩率。**结果** 不同参数之间信度存在差异,除两名分析者测得的舌骨向前位移(HAM)及向上位移(HSM)的内测信度为 0.41~0.60,信度欠佳,以及间测信度为 0.61~0.80,信度中等外,其余参数信度均较好。**结论** 自主开发的吞咽造影数字化采集与分析系统信度比较理想,该软件可用于临床吞咽造影量化分析。

【关键词】 吞咽造影; 量化分析; 信度; 时间学参数; 运动学参数

The reliability of qualitative analyses of video fluoroscopic images Dai Meng, Wan Guifang, Wang Yujue, Wei Xiaomei, Xie Chunqing, Wu Huixiang, Dou Zulin. Department of Rehabilitation Medicine, The Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China
Corresponding author: Dou Zulin, Email: 13825038813@163.com

【Abstract】 Objective To analyze temporal and kinematic parameters of video fluoroscopic images of swallowing using a digital acquisition and analysis system and to verify the reliability of this method. **Methods** Eighteen patients with dysphagia were requested to completed six swallows (3 ml and 5 ml of thin liquid, thick liquid, and paste mixed with 600 kg/m³ barium sulfate suspension) in the natural sitting position. Video fluoroscopy was used to measure the oral transit times, soft palate elevation times, hyoid movement times, laryngeal closure times, cricopharyngeal muscle opening times, hyoid anterior movement (HAM), hyoid superior movement (HSM), cricopharyngeal muscle opening diameter and pharyngeal constriction rate. Each was extracted from the videos four times by two raters working separately with an interval of 4 weeks between the sets of evaluations. **Results** Reliability varied among the different observations. HAM and HSM showed inter-rater reliability between 0.41 and 0.60 and intra-rater reliability between 0.61 and 0.80. The other observations all demonstrated acceptable reliability. **Conclusion** The self-designed digital acquisition and analysis system tested showed acceptable reliability and could be applied to analyze swallowing function clinically.

【Key words】 Videofluoroscopy; Qualitative analysis; Reliability; Temporal parameters; Kinematic parameters

吞咽造影是临床已广泛开展、技术成熟的评估患者吞咽功能的重要检查方法,该检查可直观反映吞咽生理过程中参与器官的功能动态变化^[1]。随着精准医学的引入,要求吞咽造影的分析应进一步细化,不仅要定性分析,更需要定量分析。近年来,关于吞咽造影的量化分析已见报道^[2-6],归纳起来,吞咽造影量化分析的指标主要包括时间学参数和运动学参数。

时间学参数可分为持续时间和间隔时间,其中持续时间是指对某一解剖结构在一次吞咽过程中所发生

运动的持续时间,常见的参数包括舌骨运动时间、喉关闭时间、上食管括约肌(upper esophagus sphincter, UES)开放时间等^[2];间隔时间是指两个解剖结构发生动作之间的间隔时间,多用于反映吞咽的时序性,最常用参数包括吞咽启动时间、咽运送时间以及喉关闭至 UES 开放间隔时间^[3]。

运动学参数需要逐帧进行动态分析相应解剖结构在一次吞咽过程中所发生运动的幅度变化。常用的运动学参数包括舌骨位移、UES 开放程度、喉上移幅度及咽部收缩率等^[4-6],以上参数可从不同角度反映吞咽生理及病理生理学特征,但也存在下列问题:①吞咽造影量化分析的参数种类繁多,定义不统一;②由于受到方法学、研究者经验、吞咽造影视频采集质量等因素的影

响, 吞咽造影量化分析的信度仍待进一步验证, 不同国家、不同机构对于其所使用的量化分析方法的信度进行检验, 多数研究发现, 被分析参数的信度较低。

鉴于以上因素, 中山大学附属第三医院康复医学科吞咽障碍临床与研究团队与相关企业合作开发了吞咽造影采集与数字化分析系统, 在吞咽造影检查中将造影剂性质、患者体位、参照物的标准化, 采取 30 帧/s 的采集程序获取符合分析标准的吞咽造影视频图像, 并运用分析软件中统一集成的时间学、运动学参数量化评估脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能。本研究运用自主研发的吞咽造影视频采集及数字化分析系统, 旨在通过分析方法学的改进对该软件系统的信度检验。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准: ①经临床筛查和评估证实为存在吞咽功能障碍; ②年龄 16 ~ 80 岁, 男女不限; ③意识清楚, 可遵从指令, 配合造影检查者; ④本研究经中山大学附属第三医院临床伦理委员会批准, 患者均自愿签署知情同意书。

排除标准: ①对造影剂过敏者; ②不宜接受检查的重症患者, 如合并高热、出血倾向及心、肺、肝、肾等各器官、系统严重疾病的患者; ③智力、认知功能低下以致不能配合检查者。

选取 2014 年 8 月至 2015 年 5 月中山大学附属第三医院康复医学科收治且符合上述标准的吞咽功能障碍患者 18 例, 其中男 11 例, 女 7 例; 平均年龄 (55.4 ± 18.5) 岁。所有患者的一般资料见表 1。

表 1 18 例吞咽功能障碍患者一般资料

患者编号	年龄	性别	诊断
1	52	女	鼻咽癌
2	74	男	脑梗死恢复期 (左顶叶、右颞叶)
3	62	男	脑梗死恢复期 (右侧延髓)
4	20	男	星形细胞瘤术后 (左侧延髓)
5	66	女	脑梗死恢复期 (脑桥)
6	65	女	脑梗死恢复期 (左侧延髓)
7	40	女	脱髓鞘病 (延髓)
8	75	男	多发性脑梗死后遗症期 (脑干, 双侧基底节)
9	37	男	脑梗死后遗症期 (小脑)
10	55	男	吞咽困难查因
11	29	女	脑梗死恢复期 (左侧延髓)
12	80	男	脑梗死恢复期 (双侧基底节)
13	66	女	脑梗死恢复期 (左侧延髓)
14	50	女	鼻咽癌放疗化疗后
15	84	男	脑梗死 (双侧基底节、左颞叶)
16	44	男	脑出血后遗症期 (脑干)
17	65	男	脑梗死恢复期 (右侧桥脑, 双侧小脑)
18	33	男	脑出血后遗症期 (脑干)

二、吞咽造影检查设备与分析方法

(一) 吞咽造影检查设备与材料

按照吞咽造影检查拟定的标准步骤向每位患者进行详细讲解, 确认患者完全理解并能配合后, 开始实施下列方案。

1. 仪器与造影方法: 采用日本产 Toshiba DBA-300 型遥控双床胃肠透视 X 光机进行吞咽造影检测; 视频图像采集采用与广州龙之杰科技有限公司联合开发的吞咽功能影像数字化采集与分析系统, 采集视频图像的技术标准如下, ①吞咽造影视频技术指标——分辨率为 1920 × 1080, 采集帧速为 30 帧/s, 视频图像压缩比为 50:1; ②吞咽图像测量指标——点、线、面积测量的准确率 > 98%; ③吞咽运动轨迹跟踪准确率 > 80%。

2. 造影用食团配制: 稀流质 (1 号食团)——600 kg/m³ 硫酸钡混悬液; 浓流质 (2 号食团)——600 kg/m³ 硫酸钡混悬液 50 ml + 奥特顺咽 (广州奥迪特生物科技有限公司) 1.5 g; 糊状 (3 号食团): 600 kg/m³ 硫酸钡混悬液 50 ml + 奥特顺咽 4.0 g。每种食团分别选择 3 ml, 5 ml 两种容积进行吞咽测试, 为了完成本研究, 每例患者共进行 6 次吞咽。

3. 长度参照物及其放置: 将直径为 8 mm 的金属球固定于患者颈部侧位相当于 C_{5/6} 水平, 为了识别定位, 放置时避免遮盖颈椎前缘, 参照物尽量置于拍摄视野中央。

4. 患者体位及放射暴露范围: 患者取坐位, 侧位拍摄, 放射暴露范围上至鼻腔顶壁, 下至 C₇ 颈椎, 前、后至唇部和颈后。使用枕头辅助固定患者头部, 以避免晃动和错误的代偿方式对吞咽动作的干扰。

(二) 分析方法及选择参数

采用盲法进行分析, 由 2 位医学专业人员 (均接受了吞咽造影数字化分析应分析参数的定义及分析软件使用方法的培训) 对所采集的视频图像采用吞咽造影数字化分析系统 (图 1) 进行分析, 同一视频图像均进行两次分析, 间隔时间为 4 周。

1. 时间点标记: 分析时以 30 帧/s 的速度播放视频, 并逐帧回放, 每一种容积的食团吞咽时均标定以下时间点, 将其发送至软件左侧界面的对应分析框中: A 为口腔期起始——食团在口中受到舌肌推送发生形状改变的起始点; B 为口腔期结束——食团头部到达下颌支与舌根交点处; C 为软腭开始上抬——软腭上抬的起始点; D 为腭回到原位; E 为舌骨开始移动——舌骨开始上抬的时间点, 通常亦被视作咽期吞咽的起始时间点; F 为舌骨运动最远点——舌骨向上向前位移到最远距离的时间点; G 为舌骨回到原位; H 为 UES 开始开放; I 为 UES 开放至最大幅度; J 为 UES 关闭;



图1 吞咽造影数字化分析系统分析界面

K 为喉前庭关闭——会厌翻转,喉上抬,喉前庭软组织在侧位拍摄时显示为闭合的起始时间点;L 为喉前庭重新开放;M 为咽腔最大程度收缩状态;N 为患者未吞咽状态下,侧位显示咽腔静息时的最大面积。

2. 时间学参数分析:通过软件内置公式进行运算并将结果呈现在结果框中^[7],各项参数的意义如下。

①口腔运送时间(oral transit time, OTT):由 A 至 B 的时间;②软腭上抬时间(soft palate elevation time, SET):由 C 至 D 的时间;③舌骨位移时间(hyoid-bone movement time, HMT):由 G 至 E 的时间;④喉前庭闭合时间(laryngeal closure time, LCT):由 L 至 K 的时间;⑤环咽肌开放时间(UES opening time, UOT):由 J 至 H 的时间。

3. 运动学参数分析:对 E、F、I、M、N 时点的帧进行截图后,进一步通过分析软件进行下列参数分析。

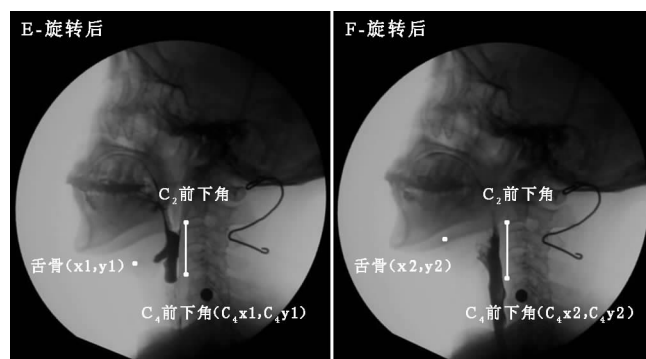
(1)舌骨向前、向上位移(hyoid-bone anterior/superior movement, HAM/HSM):在 E、F 两张图中分别以 C₄ 前下角和 C₂ 前下角连线为纵轴,通过旋转使之中立,垂直于图像水平轴。然后再分别标定 2 张图像中舌骨前上角的位置及 C₄ 前下角的位置,其坐标分别为(x₁, y₁)、(x₂, y₂) (C₄x₁, C₄y₁)、(C₄x₂, C₄y₂) 发送至左侧分析框(图 2),通过内置公式(1)和(2)计算出舌骨位移。

$$HAM = (x_2 - x_1) - (C_4x_2 - C_4x_1) \quad (1)$$

$$HSM = (y_2 - y_1) - (C_4y_2 - C_4y_1) \quad (2)$$

(2)环咽肌开放幅度(UES opening, UO):反映环咽肌的松弛功能,在 I 时点截图中,运用 C₄ 前下角至 C₆ 前下角连线作为 Y 轴将图片进行旋转,标记环咽肌最窄部位的宽度(标记直线应垂直于图像纵轴),将该

长度值发送至软件内,详见图 3。



注:x₁ 为舌骨静息位横坐标,y₁ 为舌骨静息位纵坐标;x₂ 为舌骨运动最远点横坐标,y₂ 为舌骨运动最远点纵坐标;C₄x₁ 为舌骨静息位时 C₄ 前下角横坐标,C₄y₁ 为舌骨静息位时 C₄ 前下角纵坐标;C₄x₂ 为舌骨运动最远点 C₄ 前下角横坐标,C₄y₂ 为舌骨运动最远点 C₄ 前下角纵坐标

图2 舌骨位移分析示意图

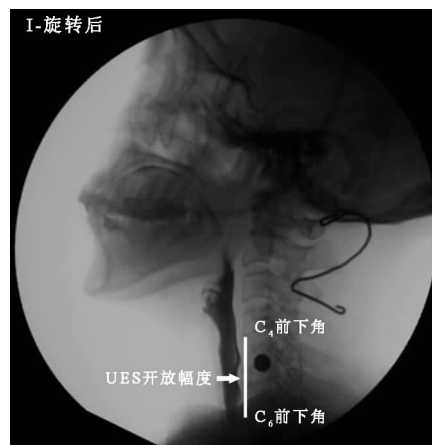


图3 环咽肌开放幅度分析示意图

(3) 咽腔收缩率 (pharyngeal constriction ratio, PCR):反映咽期吞咽时咽部收缩的程度,在 M 时点截图中描记咽部收缩下咽腔的最小面积 PAmin,在 N 时点截图中描记咽部静息时的最大面积 PAm_{ax},并将面积值发送到软件中,通过内置公式(3)自行运算,详见图 4。

$$PCR = PA_{min} / PA_{max} \tag{3}$$

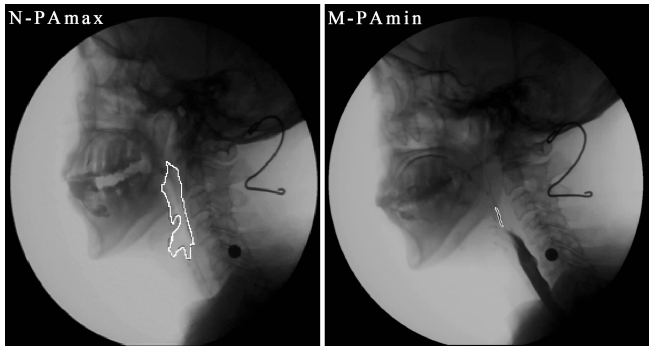


图 4 咽腔收缩率分析示意图

三、统计学方法

采用 SPSS 21.0 版统计软件包进行统计学分析处理,吞咽功能障碍评价标准的信度检验包括同一分析者 2 次分析结果之间的信度 (intra-rater reliability) 和 2 名分析者单次分析的 2 者间的信度 (inter-rater reliability),均以组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 表示。ICC 可用于评定不同评估者对统一定量测量结果的一致性和可靠性。中等为 ICC >0.80, 0.61 ~ 0.80, 一般为 0.41 ~ 0.60, 较低为 0.11 ~ 0.40, 无一致性为 <0.1^[8]。

结 果

两名分析者两次分析的内测信度和 2 名分析者单次分析的 2 者间的信度的 ICC 数据显示,口腔运送时间 (OTT)、环咽肌开放时间 (UOT)、环咽肌开放幅度 (UOD) 的间测和内测信度均 >0.80, 信度良好;分析者甲测得的喉关闭时间 (LCT)、咽腔收缩率 (PCR) 的 ICC 均 >0.80, 分析者乙测得的 ICC 及两次分析的间测信度为 0.61 ~ 0.80, 信度中等;分析者乙测得的软腭上抬时间 (SET) 的内测信度与分析者甲测得的舌骨位移时间 (HMT) 的内测信度为 0.41 ~ 0.60, 其他指标均 >0.61, 信度尚可;而两名分析者测得的舌骨向前位移 (HAM) 及向上位移 (HSM) 的内测信度均为 0.41 ~ 0.60, 信度欠佳, 间测信度为 0.61 ~ 0.80, 信度中等。详见表 2。

讨 论

本研究结果表明,不同参数的测量者内测量信度

表 2 各项时间学、运动学参数的 ICC 值

项目	分析者内测信度 (ICC)		分析者间测信度 (ICC)	
	分析者甲	分析者乙	第一次分析	第二次分析
OTT	0.988	0.984	0.998	0.998
SET	0.758	0.439	0.878	0.641
HMT	0.482	0.720	0.717	0.609
UOT	0.926	0.835	0.913	0.872
LCT	0.822	0.751	0.616	0.692
HAM	0.569	0.497	0.757	0.617
HSM	0.541	0.462	0.612	0.604
UO	0.860	0.822	0.897	0.852
PCR	0.838	0.618	0.726	0.833

和测量者间测量信度虽然存在一定差异,但总体而言,通过分析方法学的改进,运用吞咽造影视频采集及数字化分析系统进行吞咽造影的量化分析,可取得良好的分析信度。该方法基本解决了当前研究中存在的参数不统一、分析信度不高的两大基本问题,达到了预期的目标。由于口腔期、环咽肌开放的时间标记点均由食团与解剖位置的确切关系、组织器官的明确动作来确定,因而 OTT、LCT 等参数分析过程中产生分析误差的几率较低,结果表明,间测及内测信度良好。舌骨向前及向上位移的信度低,可能与分析过程产生的误差有关。本课题组认为,影响舌骨位移信度的因素可能有:①根据 C₂、C₄ 前下角连线与图像垂直轴成角进行图片旋转这一步骤在多次操作中会存在差异;②舌骨位置及 C₄ 前下角位置的标定会受到显像质量、操作方法及分析经验的影响;③分析过程中,旋转角度、标定点位置以及参照物长度标记存在差异。

Baijens 等^[9]对帕金森患者 10 例和健康受试者 10 例的连续的时间学参数、运动学参数和一般的分级指标进行了间隔时间 2 周的两次测量,结果发现,尽管评估者经验丰富并接受了评估前的训练,但许多参数的内测和间测信度仍较低。Frowen 等^[10]对头颈部肿瘤患者 40 例连续的时空变量和一般的分级指标进行间隔时间为 6 周的两次测量,结果也发现,许多变量的一致性和 ICC 偏低。结合本研究,本课题组认为可能存在以下因素的影响:①患者因素——视频采集过程中由于患者病情、体位、头部控制不佳及配合程度等因素影响了解剖部位的清晰成像,造成分析困难^[11];②分析者因素——分析者之间对于同一参数定义的理解存在差异,且分析过程工作量较大,分析步骤多,分析者的疲劳也可能带来一定的分析错误^[12];③成像因素——放射放大作用和射线的径向畸变会对分析准确性产生影响^[13],放射放大作用会使得图像上两点之间距离比实际要大,而射线的径向畸变会使得图像外围的结构长度拉伸^[13-14]。

为了解决以上因素对分析结果所产生的影响,本

研究在进行吞咽造影检查过程中,对于头部控制欠佳的患者使用特制枕头辅助固定头位,避免吞咽中发生偏移;对患者进行充分的解释,确保其配合完成检查;在开展分析前,对两名分析人员统一进行了培训;此外,将分析目标区域置于放射暴露视野中央,参照物尽可能靠近视野中心位置,如本研究将其置于颈部侧面 C_{5,6} 水平较理想,可减少射线因素可能带来的分析错误。

吞咽造影量化分析技术是吞咽功能障碍相关研究的重要研究手段,是定性分析质的飞跃。目前运用于描述吞咽的生理状态^[15-16],探讨不同疾病的吞咽病理生理特征^[17],分析年龄、性别、食团质地等因素对于吞咽的影响^[18-20]以及评估治疗疗效^[21-22]等方面,但如信度不佳将会降低分析结果的客观性,限制该分析方法的应用。本研究中所使用的量化分析系统尽可能简化了分析步骤,提高了分析效率,研究表明总体信度良好,在今后的吞咽临床量化评估中可推广应用。

本研究尚存在如下不足之处,如研究例数较少,部分参数信度分析尚需改进。下一步研究中,本课题组将加大样本例数,采用大范围多病种的受试者的结果进行评价,针对信度不佳的参数,从多方面控制影响因素,进一步改进分析方法提高信度。此外,通过与高分辨率咽腔测压(high resolution manometry, HRM)结合,还可对本分析方法的效度进行分析验证。

参 考 文 献

- [1] 窦祖林. 吞咽功能障碍评估与治疗[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009:121.
- [2] Dantas RO, de Aguiar Cassiani R, dos Santos CM, et al. Effect of gender on swallow event duration assessed by videofluoroscopy[J]. Dysphagia, 2009, 24(3):280-284.
- [3] Kendall KA, Tanner K, Kosek SR. Timing of events during deglutition after chemoradiation therapy for oropharyngeal carcinoma[J]. Head Neck, 2015, 37(8):1193-1199.
- [4] Leonard RJ, Kendall KA, McKenzie S, et al. Structural displacements in normal swallowing: a videofluoroscopic study[J]. Dysphagia, 2000, 15(3):146-152.
- [5] Kim Y, McCullough GH. Maximum hyoid displacement in normal swallowing[J]. Dysphagia, 2008, 23(3):274-279.
- [6] Lan Y, Xu G, Dou Z, et al. The correlation between manometric and videofluoroscopic measurements of the swallowing function in brainstem stroke patients with dysphagia[J]. J Clin Gastroenterol, 2015, 49(1):24-30.
- [7] Kendall KA, McKenzie S, Leonard RJ, et al. Timing of events in nor-

- mal swallowing: a videofluoroscopic study[J]. Dysphagia, 2000, 15(2):74-83.
- [8] Shrout PE. Measurement reliability and agreement in psychiatry[J]. Statistical methods in medical research, 1998;7(3):301-317.
- [9] Baijens LW, Speyer R, Passos VL, et al. Swallowing in Parkinson patients versus healthy controls: reliability of measurements in videofluoroscopy[J]. Gastroenterol Res Pract, 2011, 2011:380682.
- [10] Frowen JJ, Cotton SM, Perry AR. The stability, reliability, and validity of videofluoroscopy measures for patients with head and neck cancer[J]. Dysphagia, 2008, 23(4):348-363.
- [11] Pauloski BR, Rademaker AW, Kern M, et al. The feasibility of establishing agreement between laboratories for measures of oropharyngeal structural movements[J]. J Med Speech Lang Pathol, 2009, 17(1):9-19.
- [12] Sia I, Carvajal P, Carnaby-Mann GD, et al. Measurement of hyoid and laryngeal displacement in video fluoroscopic swallowing studies: variability, reliability, and measurement error[J]. Dysphagia, 2012, 27(2):192-197.
- [13] Ravi B, Rampersaud R. Clinical magnification error in lateral spinal digital radiographs[J]. Spine, 2008, 33(10):E311-316.
- [14] Cerveri P, Forlani C, Borghese NA, et al. Distortion correction for X-ray image intensifiers: local unwarping polynomials and RBF neural networks[J]. Med Phys, 2002, 29(8):1759-1771.
- [15] Weckmueller J, Easterling C, Arvedson J. Preliminary temporal measurement analysis of normal oropharyngeal swallowing in infants and young children[J]. Dysphagia, 2011, 26(2):135-143.
- [16] Kim Y, McCullough GH, Asp CW. Temporal measurements of pharyngeal swallowing in normal populations[J]. Dysphagia, 2005, 20(4):290-296.
- [17] Bian RX, Choi IS, Kim JH, et al. Impaired opening of the upper esophageal sphincter in patients with medullary infarctions[J]. Dysphagia, 2009, 24(2):238-245.
- [18] Molfenter SM, Steele CM. Variation in temporal measures of swallowing: sex and volume effects[J]. Dysphagia, 2013, 28(2):226-233.
- [19] Stokely SL, Molfenter SM, Steele CM. Effects of barium concentration on oropharyngeal swallow timing measures[J]. Dysphagia, 2014, 29(1):78-82.
- [20] Kang BS, Oh BM, Kim IS, et al. Influence of aging on movement of the hyoid bone and epiglottis during normal swallowing: a motion analysis[J]. Gerontology, 2010, 56(5):474-482.
- [21] 兰月, 徐光青, 林拓, 等. 吞咽造影数字化分析评价脑干卒中后吞咽障碍患者咽部功能治疗前后的变化[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2015, 37(8):577-580.
- [22] 窦祖林, 兰月, 于帆, 等. 吞咽造影数字化分析在脑干卒中后吞咽障碍患者疗效评估中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(9):799-805.

(修回日期:2015-10-30)

(本文编辑:阮仕衡)