

临床论著

比目鱼肌 H 反射监测在全麻下经皮椎板间入路
内窥镜下手术中的应用价值

夏新雷, 郑超君, 聂 聪, 金 翔, 姜建元, 吕飞舟, 马晓生, 朱 巍, 王洪立

(复旦大学附属华山医院骨科 200040 上海市)

【摘要】目的:观察全麻下经皮椎板间入路内窥镜下手术各操作步骤中使用 H 反射监测 S1 神经根功能的变化情况,明确该神经电生理参数在监测全麻下脊柱内窥镜手术中的应用价值。**方法:**14 例单侧 L5/S1 椎间盘突出症(S1 神经根损伤)患者被纳入本研究,男 7 例,女 7 例;年龄 25~53 岁;身高 160~177cm。均行全麻下经皮椎板间入路内窥镜下单纯髓核摘除术。术前、术中各操作步骤(通道置入、神经根暴露、突出髓核摘除及内窥镜系统退出)及术后分别记录双侧下肢比目鱼肌 H 反射,测量并对比潜伏期及波幅(基线-负向波峰)等参数,并对结果进行统计学分析。**结果:**以术前完成全麻插管后、在手术体位所测得的 H 反射参数作为术中 H 反射的基线值。术中,患侧 H 反射波幅自神经根暴露(通道触碰或挤压神经根)阶段开始便出现明显下降($P<0.05$),在剥离推移神经根时 H 反射波幅下降幅度最为明显[平均下降 $(43.9\pm 20.5)\%$, $P<0.05$],而后虽有回升,但较基线值仍存在统计学差异($P<0.05$);手术结束时,所有患者患侧 H 反射都得以保留,但波幅仍较基线值下降约 $(15.1\pm 9.0)\%$ ($P<0.05$)。术后第 2 日,所有患者 VAS 评分(Visual analogue scale)明显好转(术前 vs. 术后: 6.4 ± 1.3 vs. 0.6 ± 0.6 , $P<0.05$);12 例患者复测患侧 H 反射,各项参数相较于术前无明显差异($P>0.05$)。2 例患者术中出现 H 反射波幅下降超过 85%的情况,在停止操作、放松牵拉神经根后数十秒,H 反射都得以部分恢复,术后未出现明显的感觉或运动障碍。**结论:**比目鱼肌 H 反射波幅能有效反映经皮椎板间入路内窥镜手术各操作步骤中 S1 神经根的电生理传导功能,术中应用 H 反射监测技术可为全麻下脊柱内窥镜手术提供额外的、可靠的辅助监护手段。

【关键词】椎板间入路;H 反射;经皮椎间孔镜;术中监测

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2017.03.03

中图分类号:R687.3,R741.044 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-03-0207-06

Application value of intraoperative soleus H-reflex monitoring in assessment of endoscopic interlaminar approach under general anesthesia/XIA Xinlei, ZHENG Chaojun, NIE Cong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27(3): 207-212

【Abstract】Objectives: To investigate the H-reflex in evaluating the change of the function of S1 nerve root in the different operation steps of endoscopic interlaminar approach for L5/S1 disc herniation under general anesthesia, and to identify the application value of H-reflex in intraoperative monitoring spinal endoscopic surgery under general anesthesia. **Methods:** Fourteen patients with unilateral L5/S1 disc herniation(S1 nerve root injury) were included in this study(male/female, 7/7; age, 25-53 years old; height 160-177cm), and all patients underwent percutaneous endoscopic interlaminar approach for L5/S1 disc herniation under general anesthesia. Bilateral soleus H-reflexes were recorded at pre-operation, intra-operation(channel placement, nerve root exposure, removal of nucleus pulposus and endoscope system exit) and post-operation. The latency and the baseline-to-negative amplitude of H-reflex were measured. The results were analyzed by SPSS 12.0.

Results: The H-reflex recorded after anesthesia and placing the intraoperative position was defined as the baseline parameter. The amplitude of H-reflex on the involved side reduced significantly during the nerve

基金项目:上海卫生系统第二批重要疾病联合攻关重点项目(编号:2014ZYJB0008);上海市科学技术委员会项目(编号:14140903800);上海市卫生计生委科研课题(编号:201540263)

第一作者简介:男(1974-),副主任医师,博士研究生,研究方向:脊柱外科,脊柱微创

电话:(021)52887136 E-mail:xinlei@139.com

通讯作者:姜建元 E-mail:jjy@fudanspine.com

root exposure ($P<0.05$), especially in the separation of adhesive nerve root [falling by an average of $(43.9\pm 20.5)\%$, $P<0.05$], and then the amplitude recovered, but still was statistically significant difference compared with the baseline value($P<0.05$). At the end of surgery, the H-reflexes of all patients were preserved, but still lower than the baseline value which decreased by $(15.1\pm 9.0)\%$ ($P<0.05$). At the second day after surgery, all patients had significantly improved VAS score(preoperative vs. postoperative: 6.4 ± 1.3 vs. 0.6 ± 0.6 , $P<0.05$), and there was no difference of the amplitudes of H-reflex on the involved side in 12 patients between the pre- and post-operation($P>0.05$). In this study, two patients had significant reduced H-reflex(more than 85%) during the operation, and the partial recoveries of the H-reflex in these patients were found after stopping the operation for several seconds. All these two patients had no obvious sensory or motor dysfunction after surgery. **Conclusions:** In this study, the amplitude of soleus H-reflex can reflect the function of S1 nerve root during the different operation steps of endoscopic interlaminar approach under general anesthesia effectively. Therefore, the clinical application of H-reflex monitoring technology can provide additional and reliable methods to protect the nerve root during the spinal endoscopy surgery under general anesthesia.

[Key words] Interlaminar approach; H-reflex; Percutaneous transforaminal endoscopic discectomy; Intraoperative monitoring

[Author's address] Department of Orthopedics, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai, 200040, China

经皮椎间孔镜技术因创伤小、术后恢复快等优势而成为目前治疗腰椎间盘突出症的重要手段之一^[1,2]。椎板间入路的出现有效简化了高髂翼 L5/S1 椎间盘突出者的手术操作^[3],既往文献也证实了该入路在诸多方面的优势^[2,4,5]。但由于该入路术中需要对神经根进行牵拉,造成患者疼痛不适,故多采用全麻以解决这一问题^[5,6]。然而,由于全麻下无法通过术中与患者实时沟通来预防神经根损伤,因此,椎板间入路的安全性常受到质疑。在临床上,比目鱼肌 H 反射能特征性地反映 S1 神经根的功能状态^[7]。在 20 世纪 90 年代,H 反射便被应用于脊柱术中神经功能的监测^[8],近期研究进一步证实了 H 反射在评估术中神经根牵拉及减压等操作步骤安全性方面的价值^[9]。我们尝试使用比目鱼肌 H 反射对全麻下经皮椎板间入路内窥镜下手术各操作步骤中 S1 神经根的功能进行评估,进而明确该电生理参数在监测全麻下脊柱内窥镜手术中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究共纳入明确诊断为 L5/S1 单侧椎间盘突出症(S1 神经根损伤)的患者 14 例,男 7 例,女 7 例;年龄 25~53 岁;身高 160~177cm;病程 3~36 个月;其中 4 例患者存在跖屈肌力下降,14 例存在 S1 神经根支配区感觉异常,9 例双侧踝反射存在差异,12 例患侧直腿抬高试验阳性,患者下肢

放射性疼痛 VAS 评分为 6.4 ± 1.3 。所有患者均为 2015 年 2 月~2016 年 8 月于复旦大学附属华山医院脊柱外科中心就诊患者,所有患者均充分知情、自愿参加本研究并签署相关知情同意书。

单侧 L5/S1 椎间盘突出症(S1 神经根压迫性损伤)诊断主要通过临床症状、体征、影像学检查及神经电生理诊断明确。患者纳入标准:(1)症状与体征,一侧下肢放射性疼痛、感觉异常、麻木,可伴有肌力减退及踝反射减弱;(2)影像学检查,腰椎 MRI 示 L5/S1 椎间盘突出压迫一侧神经根;(3)电生理检查,腓神经及胫神经(感觉及运动)传导正常,同心圆针电极提示局限于 S1 肌节的失神经电位。排除标准:术前比目鱼肌 H 反射无法诱发的患者,运动神经元病、脊髓空洞症、脊髓肿瘤、颈椎畸形、局灶性神经病、多发性神经病、臂丛神经损伤、原发性肌营养不良、创伤、炎症、感染、颅内病变等病史,双侧根性症状及既往有脊柱手术史者。

1.2 手术方法

1.2.1 麻醉 均使用丙泊酚($8\sim 10\text{mg/kg/h}$)及芬太尼($1\sim 3\text{g/kg/h}$)行全身静脉麻醉,仅在气管内插管时使用单剂量肌肉松弛剂罗库溴铵。为减少肌松药对于研究的干扰,在切皮前使用肌松监测仪明确药物已基本代谢。

1.2.2 手术过程

均行经皮椎板间入路内窥镜下单纯髓核摘除术。手术过程分为 4 个主要部分:通道置入[(1)~

(4)], 神经根暴露[(5)~(7)], 突出髓核摘除[(8)~(10)]以及内窥镜系统退出[(11)](图 1)。

手术操作步骤:(1)患者屈膝屈髋位(屈膝约 110° , 屈髋约 110°) 俯卧于手术台上(Jackson Table);(2)在症状侧,旁开后正中线上 1.0cm 置入穿刺针至 L5 椎板下缘,同时予以侧位 C 型臂 X 线机透视以明确定位针位于 L5/S1 椎间隙水平;(3)以定位针为中心做 0.7cm 皮肤切口,切开深筋膜,置入扩张器至 L5/S1 椎板间隙(紧靠 L5 椎板下缘,顶住黄韧带);(4)沿扩张器旋入工作通道并使用 C 型臂 X 线机确认定位,而后置入椎间孔镜系统;(5)镜下篮钳及双极电凝切开黄韧带并向内外下方尽可能扩大黄韧带切除范围;(6)直视下将工作通道旋入至黄韧带下方硬膜外间隙,暴露硬膜外脂肪、神经根及硬膜囊;(7)旋转工作通道,根据不同椎间盘突出部位显露腋下或肩上髓核、同时暴露神经根;(8)确认神经根在安全位置前提下,取出肩上或腋下部分游离髓核,使神经根张力减低;(9)进一步旋转推移神经根,用髓核钳摘除各部位突出的髓核及部分退变组织,确保神经根肩上、腋下和椎间隙上下没有残留游离髓核组织;(10)使用双极电凝在椎间盘破口周围行纤维环成形术;(11)观察神经根随水流飘动及硬膜囊波动再次明确减压是否彻底,而后退出工作通道、关闭伤口。

1.2.3 H 反射检测 使用 Nihon Kohden MEB-9400(Tokyo, Japan)肌电图仪进行比目鱼肌 H 反射的检测;表面刺激电极在腓窝处刺激胫后神经(阴极位于近端),用胶带牢固固定刺激电极避免术中电极移动,同时将表面记录电极置于双侧比目鱼肌肌腹处(腓肠肌内外侧头分叉下两横指),参考电极则放置于跟腱沿线之上距离记录电极远端约 3cm 处。刺激的波宽为 1.0ms,滤过频率设定为 10Hz~10kHz,初始电流强度设置成 0.5mA,逐渐提高电流强度,直至诱发出最大波幅的 H 反射(基线波幅,图 2),每一次刺激之间的间隔约 10s,体表温度控制在 32°C 以上。在术前、术中各手术步骤[(1)~(11)]以及术后第 2 日,分别记录 H 反射的潜伏期及基线-负向波波峰的波幅,并进行对比。

当术中出现 H 反射波幅明显下降时($>85\%$ 初始波幅),则立即告知手术医生停止手术操作,予以观察及调整操作。

1.3 统计学分析

使用 SPSS 12.0 进行统计学分析。采用对比样本 t 检验分析步骤(1)中所记录到的基线参数与其余各步骤(2)~(11)中所记录到的相应参数是否存在统计学差异;术前患侧与健侧 H 反射相关参数使用对比样本 t 检验进行分析,该检验也被用以对比术前与步骤(1)、以及术前与术后 H 反射相关参数是否存在统计学差异。Spearman 检验用以检测术中各操作步骤中患侧 H 反射下降最大幅度与术前 H 反射波幅或潜伏期即 S1 神经根本身功能是否存在相关性。 $P<0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

14 例患者术前、术中及术后 H 反射的检测结果见表 1。术前患侧 H 反射较健侧潜伏期明显延长、波幅明显降低($P<0.05$)。术中步骤(1)中双侧 H 反射的潜伏期及波幅与术前比较无统计学差异($P>0.05$)。

相较于步骤(1),术中患侧 H 反射的波幅自步骤(6)开始出现明显下降($P<0.05$),至步骤(7)时下降幅度最为明显[平均下降(43.9 ± 20.5)%, $P<0.05$],而后 H 反射波幅虽有回升,但较步骤(1)仍存在统计学差异($P<0.05$);手术结束时,所有患者的患侧 H 反射都得以保留,但仍较初始时下降约(15.1 ± 9.0)%($P<0.05$)。术后第 2 日,所有患者 VAS 评分(Visual analogue scale)明显好转(0.6 ± 0.6)($P<0.05$)。12 例患者在术后复测了患侧 H 反射,各项参数相较于术前无明显差异($P>0.05$)。

在步骤(7)中,共有 2 例患者出现了 H 反射波幅下降超过 85%的情况,在停止操作、放松牵拉神经根后数十秒, H 反射都得以部分恢复,术后均未出现明显的感觉或运动障碍。

在整个术中操作过程中,健侧 H 反射参数下降的最大幅度与术前参数无统计学差异($P>0.05$)。患侧 H 反射的潜伏期在整个手术过程中发生改变较小(0~10%),各步骤与步骤(1)之间均无统计学差异($P>0.05$)。健侧 H 反射的波幅及潜伏期在整个手术操作过程中也均未出现明显改变($P>0.05$)。

3 讨论

在本研究中,比目鱼肌 H 反射随经皮内窥镜

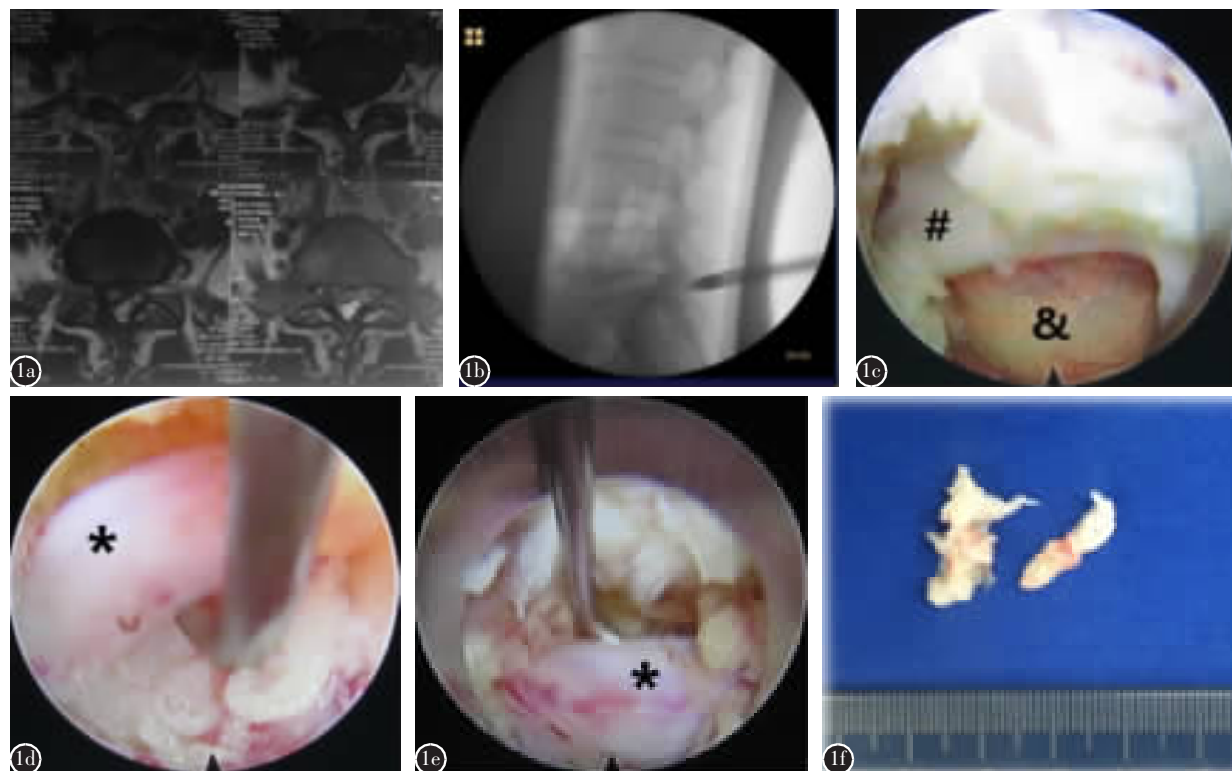


图1 患者女,31岁,右下肢放射痛8个月 a 术前腰椎MRI示L5/S1右侧椎间盘突出压迫神经根 b-e 全麻下椎板间入路经皮内窥镜手术术中操作步骤,分别为通道置入、黄韧带切开、髓核摘除、术后探查神经根(*:神经根;&:硬膜外脂肪;#:黄韧带) f 突出的髓核

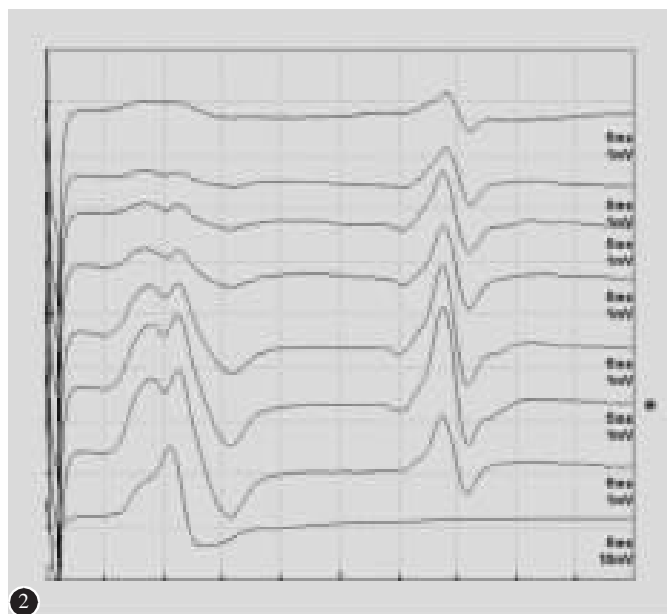


图2 H反射随刺激电量的增加呈周期性变化,测量波幅最大的H反射的相关参数作为基线参数(*)

Figure 1 A 31-year-old female patients with L5/S1 disc herniation, pain or paresthesias at right lower limb following an S1 distribution pattern for eight months a Lumbosacral MRI demonstrated unilateral S1 nerve root compression by herniated disc b-e Operation steps of percutaneous endoscopic interlaminar approach under general anesthesia(b Insert a tapered cannulated obturator c Transect the ligamentum flavum d Remove the herniated nucleus pulposus e Exploration of nerve root after surgery) (*: nerve root; &: epidural fat; #: ligamentum flavum) f Herniated nucleus pulposus

手术操作步骤的不同而产生规律性变化,暗示着H反射在评估脊柱经皮内窥镜手术中S1神经根功能方面具有一定临床价值。

既往研究证实H反射的初始潜伏期及波幅都是极为敏感的诊断S1神经根损伤的指标^[7,10]。

但在本研究中仅H反射的波幅随术中操作步骤发生改变,Bosnjak及Makovec^[9]的研究也获得了相类似的结果。这可能归因于初始潜伏期主要反映传导速度最快的神经纤维的功能状况,而波幅则主要代表神经纤维之间的同步性情况^[11]。术中

表 1 全麻下椎板间入路脊柱内窥镜手术围手术期 H 反射参数变化**Table 1** The changes of H-reflex parameters during the perioperative period of spinal endoscopic interlaminar approach surgery

	患侧 Involved side		健侧 Uninvolved side	
	潜伏期(ms) H Latency	波幅(mV) H mplitude	潜伏期(ms) H Latency	波幅(mV) H mplitude
术前 Pre-operation	29.25±1.20	1.75±0.77	28.42±1.28	3.80±1.50
术中 Intra-operation				
步骤 1 Step 1	29.25±1.19	1.71±0.74	28.41±1.31	3.76±1.54
步骤 2 Step 2	29.21±1.20	1.70±0.72	28.44±1.30	3.75±1.56
步骤 3 Step 3	29.24±1.18	1.70±0.70	28.42±1.25	3.67±1.51
步骤 4 Step 4	29.24±1.19	1.67±0.74	28.45±1.23	3.64±1.51
步骤 5 Step 5	29.25±1.23	1.67±0.76	28.43±1.31	3.71±1.48
步骤 6 Step 6	29.22±1.17	1.46±0.57 ^①	28.44±1.21	3.73±1.52
步骤 7 Step 7	29.23±1.21	0.87±0.38 ^①	28.41±1.27	3.52±1.50
步骤 8 Step 8	29.22±1.22	1.19±0.39 ^①	28.39±1.33	3.62±1.50
步骤 9 Step 9	29.20±1.20	1.10±0.43 ^①	28.35±1.23	3.66±1.48
步骤 10 Step 10	29.24±1.24	1.31±0.45 ^①	28.47±1.35	3.66±1.58
步骤 11 Step 11	29.23±1.23	1.41±0.51 ^①	28.46±1.20	3.64±1.52
术后第 2 日 Post-operation	29.23±1.20	1.71±0.80		

注:① 与步骤 1 相比 $P<0.05$ Note: ① Compared with Step 1, $P<0.05$

牵拉等操作所致局限性缺血通常仅对神经根造成轻微、暂时性干扰,因此所产生的轻微脱髓鞘改变极易被较长的 H 反射传导通路所“稀释”,相反,较长的传导通路反而可能会增加“相位抵消”及“时间弥散”效应^[10,11],从而使得 H 反射波幅的改变更为明显。

由于在本研究中,健侧 H 反射参数下降的最大幅度与术前波幅并不存在统计学差异,加之术中主要采用波幅的比值来明确是否存在损伤及神经根受到干扰的程度,因而证实了术中 H 反射波幅的改变并不会受到术前 S1 神经根本身功能状况的影响,从而进一步验证了 H 反射波幅改变与手术操作本身是密切相关的。

相对于目前常用的感觉诱发电位(sensory evoked potential,SEP),H 反射监测技术更为稳定、不存在时间滞后性,在损伤发生即刻便会出现异常改变,进而使术者能在即刻得到反馈,从而及时采取应对措施^[12]。既往研究证实,对于急性神经根损伤而言,如果能及早识别并处理,则可以有效避免永久性神经损伤^[9]。本研究中 2 例患者在术中出现一过性 H 反射波幅降低超过 85%的情况,根据既往报道这可能暗示着较大概率的手术后神经损伤^[13,14],然而在及时发现并予以相应处理后,患者术后均未出现任何功能障碍,同时 VAS 评分也得到了有效改善,这也进一步验证了术中 H 反射监测技术的临床价值。此外,相对于经颅运动诱发电位(motor evoked potential,MEP)(4%~5%),H 反射技术可以同时监测更多的运动神经元(20%~100%)^[12],并且 H 反射可用于同时监测感觉及运动神经功能(Ia 感觉纤维传入、运动纤维传出)^[15],因此监测 H 反射对于判断术中神经损伤更为敏感。近期的研究证实 H 反射不仅可用以神经根功能及相应脊髓节段的监测,甚至对于相应节段头端所有脊髓节段的功能都有监测作用^[12],其在胸椎疾患手术术中监测中的价值也得到了既往文献的证实^[16]。

通过术中 H 反射波幅在不同操作步骤中的变化可知,当内窥镜置入硬膜外间隙、操作步骤涉及神经根时,H 反射波幅会出现显著下降,这暗示着自该步骤开始,S1 神经根便会因手术操作而受到影响、给患者带来不适。这种不适感甚至可能会一直持续到手术结束,因为直至通道系统退出,H 反射的波幅仍然较手术开始时明显下降。同时,本研究也证实,相对于使用工作通道持续性牵拉神经根(步骤 8),前期神经根显露及游离的过程(步骤 7)可能更容易对神经根造成伤害,而此时可能恰恰也是患者最为不适的时候。

尽管早期研究认为全身麻醉对于电生理监测存在巨大影响,但 Leis 等^[14]近期的关键性研究证实,术中 H 反射监测并不会受到全身麻醉深度的影响。在本研究中,麻醉前后[术前与术中步骤(1)]H 反射的波幅及潜伏期无显著性差异,以及健侧 H 反射波幅在整个操作过程中都保持稳定不变等发现,都有效证实了上述观点,而这也暗示了 H 反射监测技术应用于全麻下脊柱内窥镜手术术中监测是可行且具有优势的。

在本研究中,所有患者患侧 H 反射在术后尽管仍然存在下降,但都得以保留,而上述患者术后 VAS 评分都获得了不同程度的好转,即便是 2 例术中出现过 H 反射波幅明显下降的患者亦是如此。Bosnjak 及 Makovec^[9]的研究也发现了相类似的结果,他们认为术中 H 反射的保留可能暗示着良好的预后。但是,更为可靠的结果可能需要更为大量的样本才能完成。

由于 H 反射监测技术极其敏感,因此在术中也容易受到各种因素(双极使用,体位的轻微变化等)的干扰从而产生假阳性结果,这也是限制该项技术广泛应用的主要原因。在本研究中,我们同时监测了健侧 H 反射以此有效排除了其他影响因素对于研究的干扰。但是,由于不同的研究对于术中 H 反射波幅到底下降多少才存在临床意义尚存在较大争议,因此,更为准确的评判标准也有待于进一步的研究以明确。因此,目前 H 反射技术并不适合单独用于监测 S1 神经根损伤与否。另一个限制本研究的因素便是样本量的不足,更为可靠的结论有待于进一步的大样本的研究予以证实。

总之,本研究结果证实比目鱼肌 H 反射波幅能有效地反映椎板间入路经皮内窥镜手术各操作步骤中 S1 神经根的功能情况。因此,术中应用 H 反射监测技术可以为全麻下脊柱内窥镜手术提供额外的、可靠的辅助监护手段。

4 参考文献

1. 吴闻文,李振宙,侯树勋,等. 侧后路经椎间孔镜下髓核摘除、射频热凝纤维环成形术治疗椎间盘源性腰痛[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(6): 403-407.
2. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. Full-endoscopic interlaminar and transforaminal lumbar discectomy versus conventional microsurgical technique: a prospective, randomized, controlled study[J]. Spine, 2008, 33(9): 931-939.
3. Choi KC, Park CK. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L5-S1 disc herniation: consideration of the relation between the iliac crest and L5-S1 disc [J]. Pain Physician, 2016, 19(2): E301-E308.
4. Ruetten S, Komp M, Godolias G. A new full-endoscopic technique for the interlaminar operation of lumbar disc herniations using 6-mm endoscopes: prospective 2-year results of 331 patients[J]. Minim Invas Neurosurg, 2006, 49(2): 80-87.
5. Passacantilli E, Lenzi J, Caporlingua F, et al. Endoscopic interlaminar approach for intracanal L5-S1 disc herniation: classification of disc prolapse in relation to learning curve and surgical outcome[J]. Asian J Endosc Surg, 2015, 8(4): 445-453.
6. Nie HF, Zeng JC, Song YM, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L5-S1 disc herniation via an interlaminar approach versus a transforaminal approach: a prospective randomized controlled study with 2-year follow-up[J]. Spine, 2016, 41(Suppl 19): B30-B37.
7. Burke D. Clinical uses of H reflexes of upper and lower limb muscles[J]. Clin Neurophysiol Pract, 2016, 1: 9-17.
8. Leppanen RE. Monitoring spinal nerve function with H-reflexes[J]. J Clin Neurophysiol., 2012, 29(2): 126-139.
9. Bosnjak R, Makovec M. Neurophysiological monitoring of S1 root function during microsurgical posterior discectomy using H-reflex and spinal nerve root potentials[J]. Spine, 2010, 35(4): 423-429.
10. Zhu Y, Starr A, Haldeman S, et al. Soleus H-reflex to S1 nerve root stimulation[J]. Clin Neurophysiol, 1998, 109(1): 10-14.
11. Kimura J. Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice[M]. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2001. 23pp.
12. Leppanen RE. Intraoperative applications of the H-reflex and F-response: a tutorial[J]. J Clin Monit Comput, 2006, 20(4): 267-304.
13. Leis AA, Kronenberg MF, Střtkárová I, et al. Spinal motoneuron excitability after acute spinal cord injury in humans[J]. Neurology, 1996, 47(1): 231-237.
14. Leis AA, Zhou HH, Mehta M, et al. Behavior of the H-reflex in humans following mechanical perturbation or injury to rostral spinal cord[J]. Muscle Nerve, 1996, 19(11): 1373-1382.
15. Zheng CJ, Zhu Y, Jin X, et al. Potential advantages of the H-reflex of the biceps femoris-long head in documenting S1 radiculopathy[J]. J Clin Neurophysiol, 2014, 31(1): 41-47.
16. Feyissa AM, Tummala S. Intraoperative neurophysiologic monitoring with Hoffmann reflex during thoracic spine surgery[J]. J Clin Neurosci, 2015, 22(6): 990-994.

(收稿日期:2016-12-03 修回日期:2017-01-18)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)