

- [22] Pijnappels M, Kingma I, Wezenberg D, et al. Armed against falls: the contribution of arm movements to balance recovery after tripping[J]. *Exp Brain Res*, 2010, 201(4): 689—699.
- [23] Gerdy PN. Memoires sur le mecanisme de la marche de l'homme[J]. *Physiol Exp*, 1829, 9:1—28.
- [24] Elftman H. The function of the arms in walking[J]. *Human Biol*, 1939, 11(4):529—535.
- [25] Ballesteros ML, Buchthal F, Rosenfalck P. The pattern of muscular activity during the arm swing of natural walking[J]. *Acta Physiol Scand*, 1965, 63(3):296—310.
- [26] Gray J. Studies in the mechanics of the tetrapod skeleton[J]. *Exp Biol*, 1944, 20(2):88—116.
- [27] Jackson KM. Why the upper limbs move during human walking[J]. *J Theor Biol*, 1983, 105(2):311—315.
- [28] Pontzer H, Holloway JH 4th, Raichlen DA, et al. Control and function of arm swing in human walking and running[J]. *J Exp Biol*, 2009, 212(Pt 4):523—534.
- [29] Umberger BR. Effects of suppressing arm swing on kinematics, kinetics, and energetics of human walking[J]. *J Biomech*, 2008, 41(11):2575—2580.
- [30] Li Y, Wang W, Crompton RH, et al. Free vertical moments and transverse forces in human walking and their role in relation to arm-swing[J]. *J Exp Biol*, 2001, 204(Pt 1):47—58.
- [31] Punt M, Bruijn SM, Wittink H, et al. Effect of arm swing strategy on local dynamic stability of human gait[J]. *Gait Posture*, 2015, 41(2):504—509.
- [32] Milosevic M, McConville KM, Masani K. Arm movement improves performance in clinical balance and mobility tests[J]. *Gait Posture*, 2011, 33(3):507—509.

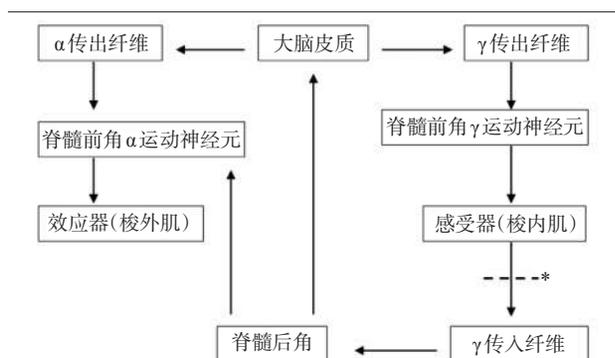
·综述·

选择性脊神经后根切断术的脑性瘫痪患者选择标准

何强勇¹ 赵勇² 尹靖宇³ 陈熙慧³ 张新斐¹

选择性脊神经后根切断术(selective posterior rhizotomy, SPR/selective dorsal rhizotomy, SDR),国内多称为SPR,作为降低肌张力缓解痉挛的一种有效治疗方法,已逐步深入普及。自20世纪90年代初被引入国内^[1-2],在脑瘫外科治疗的应用中得到了广泛的推崇。SPR降低肌张力缓解痉挛的原理见图1^[3]。理论上如果有需要,并且符合手术适应症与禁忌症,所有节段的脊神经后根都可以行SPR,最常见的应用为腰骶段选择性脊神经后根切断术。

图1 SPR手术原理图示



注:*手术选择切断部位

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.01.027

1 广东三九脑科医院康复训练中心,广州,510510; 2 佛山市南海区妇幼保健院儿童康复中心; 3 广东三九脑科医院脑瘫脊髓科
 作者简介:何强勇,男,主治医师; 收稿日期:2016-05-26

SPR不仅在脑瘫患者中实施,对非脑瘫患者的应用也有报道^[4],本篇仅涉及脑瘫患者。《中国脑性瘫痪康复指南(2015)》中对SPR的疗效给予了充分的肯定,同时强调了患者选择的至关重要性^[5]。但对患者选择标准未进行全面阐述,缺乏可执行性,且其“证据”中所引用文献的循证效力是存在争议的^[6-7]。临床实践中我们发现了诸多问题,包括SPR的选择(含三个方面^[2]:一是选择合适的患者,二是拟切断的神经节段的选择,三是在术中电刺激诱发肢体痉挛,根据神经阈值的选择。其中神经节段的选择是遵循脊神经根分布节段与肢体功能的关系,结合肢体功能异常的表现形式加以选择的),术后并发症的处理,术后康复计划的制定与执行,远期后遗症的对策,以及后期矫形手术的介入等。其中有关于手术患者选择标准的问题尤为突出和重要,因为SPR是一种不可逆的损伤性治疗,只有最佳适宜患者的选择,才能够获得良好的手术疗效。笔者就此结合国内外文献,对SPR患者选择标准的相关问题进行综述。

1 有关SPR患者选择标准的发展与现状

1.1 SPR患者选择标准的发展

最早的SPR患者选择标准是1987年Peacock^[8]在他的研究中所提到的,首先是单纯性的痉挛型并且是双下肢瘫痪的患者,其次可以独立侧坐位,并且具备一定程度的行走能力,认知良好,在术前未进行矫形手术的患者较适合。相反的那些严重肌肉挛缩及日益减弱的抗重力肌肌力,并且诊断为手足徐动和共济失调的病例被列为禁忌症。同时Peacock强调坚持长期高强度的术后康复治疗训练对取得理想的功能改善具有重要的意义。此研究结果被作为上世纪80年代的患者选择标准的指导基础,后来的多种版本都是以此为基础修改演变而成,国内早期发表的文献中所提到的患者选择标准及现阶段国内主流标准皆来源于此。

Peacock所提出的患者选择标准主要是基于临床经验,而不是科学数据来作为证据。在过去的30多年里,尽管SPR在世界范围内已经被许多单位和机构所研究,但缺乏大样本随机的临床试验限制了它基于证据的具有指导意义的选择标准的发展^[7]。近年有报道称SPR还有一个试验性的外科程序要完成,它需要建立一个更大样本的随机临床试验,以从中获得有效证据,从而建立它的效度^[9]。国内在预测SPR疗效的研究中,90年代就有利用WeeFIM讨论患者选择问题的报道^[10]。

1.2 国内SPR患者的几个特点

现阶段国内对实施SPR的患者选择标准概括起来所涉及的主要内容包括:①肌力肌张力及痉挛挛缩程度;②患者年龄及认知状况;③不同运动功能患者的手术目的;④病因学方面的脑瘫分型及痉挛分型;⑤有无并发症^[1-3,11-14]。

在日常的工作中我们了解到,目前SPR患者来源途径主要为:①儿科、神经内科、(儿童)康复科等临床医生建议;②儿童康复治疗师建议;③患者家长主动咨询直接前往神经外科进行诊疗。

目前脑瘫患者康复治疗地点的分布特点,多数集中在妇幼保健医院、儿童医院、残联医院及社会福利机构医院等专科医院,综合医院开展规模较小。现状是尽管SPR在国内开展多年,也备受重视,但由于专科医院及专科医生对SPR缺乏学科间沟通协作与深入的了解,使得SPR不能成为一个缓解痉挛降低肌张力的常规选择治疗方法,在患者早期的适宜年龄得以介入。由于SPR患者的选择标准不够明确、健全和统一,且实施选择患者的医生学科单一(一般仅仅为神经外科或矫形外科医生),加之术前术后没有得到长期强化的康复训练支持,SPR的疗效并非如同国内报道的,呈现中长期疗效良好的现象。对于部分痉挛严重患者SPR后,近期的挛缩^[15]和儿童发育期的肌肉相对缩短^[16]都鲜有报道。

2 影响SPR疗效的因素

在现阶段SPR患者选择标准缺乏有效的证据,且没有统

一健全的状况下,影响患者SPR疗效的因素值即为术前患者选择标准制定的参数,通过对这些因素的分析和研究,来进一步对SPR患者选择标准进行讨论和临床实践,继而形成和建立有充分效力证据的明确统一可执行的标准。依据国际功能、残疾和健康分类(international classification of functioning, disability and health, ICF)中“身体结构与功能”及“活动”的框架,有关于影响因素,Grunt等^[7]通过对一组(52个)相关研究中的16个有关SPR患者选择标准的meta分析中得出以下因素及其所占百分比:首要指标是痉挛等级94%;没有合并肌张力不稳定,手足徐动,共济失调等运动障碍及异常姿势62%;需要确切的诊断50%;粗大运动功能52%;肌肉力量54%;其他所提到的因素在所选研究总数中所占比例不足50%。

2.1 粗大运动功能

毋庸置疑,术前的粗大运动功能水平将直接决定术后的功能状况。同时,粗大运动功能也是唯一的ICF“活动”框架中的内容,作为选择标准,被众多的研究所应用。Kim等^[17]通过对三组(坐轮椅/爬行/行走)术前不同移动能力的患者术后表现观察发现,术前具有行走能力的一组SPR后1年疗效最为显著。Funk等^[18]由一组(54例)患者术后1—2年的观察得出粗大运动功能评定(gross motor function measure, GMFM)结果为65%—85%,术后获得的进步最为显著。Jensenby等^[19]发现SPR术前和术后10年GMFM得分的显著相关性,同时在此项研究中显示术前粗大运动功能分级系统(gross motor function classification, GMFCS)分级为I或II级的患者比IV和V级的患者功能表现出较为显著的改善。Mittal等^[20]研究发现轻中度运动障碍的患者SPR后5年的疗效分析结果良好。但McLaughlin等^[21]的一项meta分析报道称,其中只有三个牛津循证医学中心(Oxford centre for evidence-based medicine scale, OCEBMS)II级的研究表明SPR对粗大运动功能有积极的影响。与此相反Tedroff等^[22]的研究显示术前及术后10年的GMFM没有显著相关性。Engsberg等^[23]研究发现术前GMFM及步态分析参数中的步态速度在SPR术后2年的改变显示出两者存在显著的相关性。而Grunt等^[24]发现术前GMFCS水平与术后1年步态的改善存在着显著的负相关。显然,之所以得出如此不同的结论,是由于他们在研究对象的选择标准上具有很大差异。

SPR后的主要直接疗效粗大运动的改善是取决于术前的运动功能水平,但并不是术前功能水平越高SPR的疗效越显著。术前GMFCS分级处于II—III级是术后粗大运动功能改善最显著的标准,Ailon等^[25]发现在此功能水平的患者在术后10年的回访中粗大运动功能从改善到维持都显示出较为令人满意的结果。

2.2 有关肌肉的张力、痉挛与力量

SPR的直接任务为降低肌张力缓解痉挛,进而减少高张力和痉挛对运动控制的不良影响,为主动运动控制训练及功能改善奠定基础^[1-3,7,12-14]。这也是SPR的意义和初衷,其他附加效应也多是以此为基础的。对于肌张力一直以来的选择标准都是以Ashworth量表或改良Ashworth量表(Ashworth scale, AS/modified Ashworth scale, MAS)3级或以上^[1-3],近期有国内文献提出2级或以上^[11],但由于MAS信度不高的特点^[26-27],两者之间很难去考量精确的差别。建议结合使用改良的塔迪量表(modified Tardieu scale, MTS),痉挛评分量表(clinic spasticity index, CSI/composite spasticity scale, CSS)等提高肌张力及痉挛分级标准的信度。笔者认为,肌张力的高低不能直接体现出SPR术后的预期疗效,更重要的是评价肌张力对运动控制的干扰程度,和对关节活动度的抑制程度。如果高张力模式导致所有的主动肌和拮抗肌群的协调控制能力受限,即使在配合后期软组织矫形术后,也很难取得明显的功能改善。虽然SPR对运动的协调控制没有显著改善^[28],我们还是可以通过三维步态分析中的参数对术前运动控制能力进行评价^[29]。

痉挛是高张力的具体表现,而其表现形式也存在诸多不同。SPR适用于同时存在下肢髋、膝、踝或上肢肩、肘、腕、指等多关节痉挛(肢体肌群整体痉挛)的脑瘫患者,在整体解除痉挛上有任何其他手术所不具备的优越性,下肢整体痉挛需要行腰骶段SPR,上肢整体痉挛则可行颈段SPR^[1-3]。同样,有研究提示单一的肢体近端或远端的肌群存在同步的痉挛收缩模式,SPR的效果较好,肢体具有广泛痉挛或肌电记录活动兴奋性低的表现,SPR缺乏疗效^[30]。而以铅管征和齿轮征为特征的强直性痉挛,因其产生机制不同于 γ -痉挛,SPR难以奏效^[19]。痉挛的持续发展会出现挛缩,而挛缩会导致关节畸形,被列为SPR的禁忌症^[1-3,11-14],显然术后的疗效是得不到保障的。

肌力在SPR后,几乎普遍认为是被削弱的^[8,31-32],术前存在重症肌无力及其他相关肌肉疾病的患者疗效是得不到保障的^[3]。但Engsberg等^[33-34]的两组对照研究发现SPR后在缓解髋膝踝关节痉挛的同时,屈膝肌群和跖屈肌群的肌力并没有发生减退的现象。肌肉可分为抗重力肌和随意运动肌,抗重力肌同时也是参与随意运动的^[35],然而高张力可能会掩盖抗重力肌的肌力低下水平^[8,33-34],导致在张力解除后,抗重力肌不能维持原有姿势。下肢股四头肌的伸展支持作用是维持站立及迈步的重要基础之一,其在SPR后双下肢伸直模式缓解时,没有足够的伸膝力量是很难维持直立姿势的^[26,36]。在三维步态分析参数中,足背屈肌群肌力是以足背屈角度来体现的,足背屈角是重要的单因素影响因子之一,与术后的行走能力改善有显著的相关性^[37]。所以在术前要仔细甄别抗

重力肌和随意肌的肌力水平,以判断术后的疗效。

2.3 手术目的

手术目的即主要想解决的问题,也可称为目标或任务:康复治疗目标在康复治疗中具有特殊的重要地位,尤其是在评价一项干预治疗是否有效时。同样在SPR中,针对不同术前功能状况,对患者实施手术的目的和康复目标也是不尽相同的。然而,事实上在Grunt^[7]的meta分析中只有27%的研究阐述了确定的康复治疗目标,仅有9%的研究是依据不同的GMFCS分级水平提供了明确的康复治疗目标。而根据ICF模式来制定不同级别功能的康复治疗目标的研究报道是空白,仅在过去的十年中,没有应用GMFCS和ICF功能分级系统的现状已成为一种常态而存在。手术的目标是需要强调的,因为对于GMFCS为I—III级和IV—V级的患者同样进行神经外科手术,他们手术目的的差异是相当大的。SPR的目的仅仅是为了缓解痉挛还是为了后继的功能改善准备条件,将对患者的选择起到决定性作用。如果最终目标是为了缓解痉挛或是方便护理,可以选择无手术损伤的口服药物,局部肉毒毒素治疗,还可以选择鞘内巴氯芬泵方案,尽管在缓解肢体痉挛方面SPR方案比鞘内巴氯芬泵方案要更经济^[38]。

2.4 其他影响因素

随着患者年龄的变化,从发育学角度人体的生理结构功能也是在变化的,不同年龄SPR的介入,理论上术后疗效也会受到一定的影响。Kim等^[17]的研究显示术后一年疗效表现好的儿童要比手术效果差的年龄小。尽管有报道不同年龄患者术后的疗效差异没有显著性,如术后10年的粗大运动功能改善和术后1年的步态变化都没有发现与手术者的年龄有相关性^[24]。但我们还是可以根据患者不同的功能发育和痉挛状况选择在3—8岁^[1-3,11-14,17]区间的某一个年龄来介入SPR。

认知与交流能力方面,智力正常或接近正常以利于术后康复训练^[8]。国内有学者制定了具体的标准:智力小于50的患者不适宜选择SPR^[1]。

头颅影像对手术疗效的预期,本着对脑影像表现的手术预测价值及其与SPR术后粗大运动功能的改变相关性的关注,Grunt等^[39]发现正常MRI表现的患者SPR术后运动功能有显著的改善,但是,存在脑积水表现的患者术后疗效最差,脑室周围白质软化表现的患者术后疗效在两者之间。尽管此项研究的样本量相当的小,对预测SPR术后疗效的可信度相当的有限,我们在术前也要充分地挖掘和利用这方面的相关性,以为选择适宜的患者取得更佳的疗效。

术前并发症对SPR疗效存在一定程度的影响,例如常见的脊柱畸形和髋关节半脱位。Kim等^[17]报道了有关脊柱前凸和认知落后的患者在行SPR一年后的疗效观察,得出的

结果是不尽如人意的。SPR对脊柱稳定性及髋关节半脱位等的影响不确定^[18,40],但在多种术前因素分析中显示GMFCS分级水平与术后髋关节半脱位的加重有一定的相关性^[40]。所以对存在并发症的患者选择上要多加谨慎。

脑性瘫痪不同诊断分型也直接影响SPR疗效,国内外文献对此有较多和明确的说明^[1-3],对肌张力不稳定,或累及肢体非双下肢瘫类型的患者,显示的术后疗效不理想。在遵循痉挛的病因学方面,Peacock等^[32]提出没有研究提供显著的相关性说明不同的痉挛病因会对应不同的SPR疗效,尽管如此,Peacock等还是表示SPR在疗效上除痉挛型脑瘫(缺氧、脑炎、退行性疾病等新生儿期的病因)外是不明确的。

家庭经济状况表现为对康复治疗费用的支付能力问题,在国内医保还没有全面覆盖所有的康复治疗项目的现状下,家庭的经济条件直接影响患者的术前术后康复训练的配合执行情况,没有康复训练的支持与配合,患者很难取得理想的手术治疗效果。另外家庭成员态度的支持和个体的积极配合程度对良好疗效的取得也至关重要^[7]。

3 有关SRP多学科康复小组的组建

3.1 建立多学科康复小组的必要性

Grunt等^[7]所选的研究中所报道的纳入标准多无循证医学依据及标准的可复制和推广利用价值,也没有一个一致的规定来由谁制定这个患者选择标准。超过半数的研究没有涉及这个问题,是由一个人,通常是神经外科医生,还是由一个多学科康复小组来评价一个患者是否符合SPR纳入标准。

3.2 多学科康复小组的学科成员

多学科康复小组成员的选择是同贯穿整个SPR康复流程的需求密不可分的,术前患者的选择需要有丰富临床经验的儿童康复治疗师,外科、儿科、康复科、心理科医生,甚至是护士及社工的参与^[7],以保证手术方案、康复训练、心理支持、发育影响、社交生活等各个方面最终获得尽可能大的效益。尤其在患者选择标准还没有明确统一存在争议时,一个高质量的多学科康复小组对患者是大有裨益的。

4 小结

SPR在国内开展了二十余年,对于存在痉挛的脑瘫患者的治疗上具有明确的疗效,是一种有效的利用外科手术缓解痉挛降低肌张力的治疗方法。同时,据国内外研究报道,SPR还具有一系列的附加有益效应:非颈部节段SPR对上肢肌张力的改善^[41-42],SPR对癫痫发作的缓解^[43],SPR甚至对认知也有积极的影响(注意力及语言)^[44]等。要使SPR更好地为患者服务,首要解决的问题是要有统一的可执行的患者选择标准,有了这样的前提,才可能取得令人满意的功能改善^[45]。但纵观国内外,至今在对于脑瘫患者的选择标准上没有建立起

一个完整统一的可执行的准则。而国内沿用过时的患者选择标准,多学科之间沟通与协作的现状导致许多实施SPR的患者,术后疗效不明显,甚至有功能减退的表现。笔者以影响SPR疗效的因素为基准,试归纳SPR患者选择标准的原则为:①多学科康复协作小组的建立为前提和保障;②明确的手术目的和任务为导向;③早日制定出高效度的统一的可操作的各影响因素相关性数值是关键。

参考文献

- [1] 徐林,崔寿昌,赵利,等.高选择性脊神经后根切断术14例初步报告[J].中华显微外科杂志,1991,14(4):193—195.
- [2] 徐林,洪毅,易斌,等.痉挛性脑瘫选择性脊神经后根切断术的10年回顾[J].中国矫形外科杂志,2001,8(1):42—44.
- [3] 秦泗河,陈哨军,于炎冰.脑瘫的外科治疗[M].北京:人民卫生出版社,2008.216—219.
- [4] Gump WC, Mutchnick IS, Moriarty TM. Selective dorsal rhizotomy for spasticity not associated with cerebral palsy: reconsideration of surgical inclusion criteria[J]. Neurosurg Focus, 2013, 35(5):E6.
- [5] 杜青.中国脑性瘫痪康复指南(2015):第八部分[J].中国康复医学杂志,2016,31(2):248—256.
- [6] Grunt S, Becher JG, Vermeulen RJ. Long-term outcome and adverse effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review[J]. Dev Med Child Neurol, 2011, 53(6):490—498.
- [7] Grunt S, Fiegggen AG, Vermeulen RJ, et al. Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: a systematic review of the literature[J]. Dev Med Child Neurol, 2014, 56(4):302—312.
- [8] Peacock WJ, Arens LJ, Berman B. Cerebral palsy spasticity. Selective posterior rhizotomy[J]. Pediatr Neurosci, 1987, 13(2):61—66.
- [9] Crilly MA. Selective dorsal rhizotomy remains experimental in cerebral palsy[J]. BMJ, 2012, (345):e6670.
- [10] 黄东峰,李智勇,毛王璐,等.选择性脊神经后根切断术前的医疗康复残疾测量初探[J].现代康复,1999,3(7):778—779.
- [11] 邵旭,于炎冰,张黎,等.选择性腰骶段脊神经后根切断术治疗脑瘫性下肢痉挛状态手术并发症[J].北京大学学报医学版,2015,47(1):160—164.
- [12] 徐林.关于开展脑瘫SPR的若干问题[J].中国矫形外科杂志,1995,2(2):141—142.
- [13] 魏国荣.脊神经后根切断术(SPR)及术后护理康复工作[J].社会福利,2010,(1):39—40.
- [14] 王承武.正确评估合理应用SPR技术[J].中华骨科杂志,1996,10(16):603.
- [15] Carroll KL, Moore KR, Stevens PM. Orthopedic procedures after rhizotomy[J]. J Pediatr Orthop, 1998, 18(1):69—74.
- [16] Spijker M, Strijers RL, van Ouwkerk WJ, et al. Disappearance of spasticity after selective dorsal rhizotomy does not prevent muscle shortening in children with cerebral pal-

- sy: a case report[J]. *J Child Neurol*, 2009, 24(5):625—627.
- [17] Kim HS, Steinbok P, Wickenheiser D. Predictors of poor outcome after selective dorsal rhizotomy in treatment of spastic cerebral palsy[J]. *Childs Nerv Syst*, 2006, 22(1):60—66.
- [18] Funk JF, Panthen A, Bakir MS, et al. Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy[J]. *Res Dev Disabil*, 2015, (37):127—134.
- [19] Josenby AL, Wagner P, Jarnlo GB, et al. Motor function after selective dorsal rhizotomy: a 10-year practice-based follow-up study[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2012, 54(5):429—435.
- [20] Mittal S, Farmer JP, Al-Atassi B, et al. Long-term functional outcome after selective posterior rhizotomy[J]. *J Neurosurg*, 2002, 97(2):315—325.
- [21] McLaughlin J, Bjornson K, Temkin N, et al. Selective dorsal rhizotomy: meta-analysis of three randomized controlled trials[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2002, 44(1):17—25.
- [22] Tedroff K, Löwing K, Jacobson DN, et al. Does loss of spasticity matter? A 10-year follow-up after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2011, 53(8):724—729.
- [23] Engsberg JR, Ross SA, Collins DR, et al. Predicting functional change from preintervention measures in selective dorsal rhizotomy[J]. *J Neurosurg*, 2007, 106(4 Suppl):282—287.
- [24] Grunt S, Henneman WJ, Bakker MJ, et al. Effect of selective dorsal rhizotomy on gait in children with bilateral spastic paresis: kinematic and EMG-pattern changes [J]. *Neuropediatrics*, 2010, 41(5):209—216.
- [25] Ailon T, Beauchamp R, Miller S, et al. Long-term outcome after selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy[J]. *Childs Nerv Syst*, 2015, 31(3):415—423.
- [26] Allison Brashear, Elie Elovic. Spasticity:Diagnosis and Management[M]. Second Edition. New York: Demos Medical Publishing LLC, 2016. 73—75.
- [27] 严晓华,何璐,郑韵,等.改良 Ashworth量表与改良 Tardieu量表在痉挛型脑瘫患儿评定中的信度研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2015,30(1):18—21.
- [28] Olee KS, Engsberg JR, Ross SA, et al. Changes in synergistic movement patterns after selective dorsal rhizotomy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2000, 42(5):297—303.
- [29] Shin HI, Sung KH, Chung CY, et al. Relationships between Isometric Muscle Strength, Gait Parameters, and Gross Motor Function Measure in Patients with Cerebral Palsy[J]. *Yonsei Med J*, 2016, 57(1):217—224.
- [30] Wong AM, Chen CL, Hong WH, et al. Motor control assessment for rhizotomy in cerebral palsy[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2000, 79(5):441—450.
- [31] Arens LJ, Peacock WJ, Peter J. Selective posterior rhizotomy: a long-term follow-up study[J]. *Childs Nerv Syst*, 1989, 5(3):148—152.
- [32] Peacock WJ, Staudt LA. Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy [J]. *J Neurosurg*, 1991, 74(3):380—385.
- [33] Engsberg JR, Ross SA, Park TS. Changes in ankle spasticity and strength following selective dorsal rhizotomy and physical therapy for spastic cerebral palsy[J]. *J Neurosurg*, 1999, 91(5):727—732.
- [34] Engsberg JR, Ross SA, Wagner JM, et al. Changes in hip spasticity and strength following selective dorsal rhizotomy and physical therapy for spastic cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2002, 44(4):220—226.
- [35] Masani K, Sayenko DG, Vette AH. What triggers the continuous muscle activity during upright standing?[J]. *Gait Posture*, 2013, 37(1):72—77.
- [36] Damiano DL, Kelly LE, Vaughn CL. Effects of quadriceps femoris muscle strengthening on crouch gait in children with spastic diplegia[J]. *Physical Therapy*, 1995, 75(8):658—667.
- [37] Chicoine MR, Park TS, Vogler GP, et al. Predictors of ability to walk after selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy[J]. *Neurosurgery*, 1996, 38(4):711—714.
- [38] Steinbok P, Daneshvar H, Evans D, et al. Cost analysis of continuous intrathecal baclofen versus selective functional posterior rhizotomy in the treatment of spastic quadriplegia associated with cerebral palsy[J]. *Pediatr Neurosurg*, 1995, 22(5):255—265.
- [39] Grunt S, Becher JG, van Schie P, et al. Preoperative MRI findings and functional outcome after selective dorsal rhizotomy in children with bilateral spasticity[J]. *Childs Nerv Syst*, 2010, 26(2):191—198.
- [40] Hiedonmez T, Steinbok P, Beauchamp R, et al. Hip joint subluxation after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy[J]. *J Neurosurg*, 2005, 103(1 Suppl):10—16.
- [41] Gigante P, McDowell MM, Bruce SS, et al. Reduction in upper-extremity tone after lumbar selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy[J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2013, 12(6):588—594.
- [42] Kinghorn J. Upper extremity functional changes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy [J]. *Am J Occup Ther*, 1992, 46(6):502—507.
- [43] 王业华,徐林,龚维成.选择性脊神经后根切断术对大脑功能的影响[J]. *徐州医学院学报*,2002,22(5):419—421.
- [44] Craft S, Park TS, White DA, et al. Changes in cognitive performance in children with spastic diplegic cerebral palsy following selective dorsal rhizotomy[J]. *Pediatr Neurosurg*, 1995, 23(2):68—74.
- [45] Bolster EA, van Schie PE, Becher JG, et al. Long-term effect of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy, compared with reference centiles[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2013, 55(7):610—616.