

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

半椎体背侧切除术时, 术中神经生理监测的使用特点

© Sergei V. Vissarionov¹, Ayrat R. Syundyukov², Nikolay S. Nikolaev^{2, 3}, Valentina A. Kuzmina², Pavel N. Korniyakov², Maxim N. Maksimov², Irina V. Mikhailova³

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia;

² Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russia;

³ Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

论证。先天性脊椎形成障碍是儿童常见的病理。术中神经生理学监测是一项强制性程序, 由于神经结构的未成熟以及在幼儿中使用吸入麻醉剂, 该程序可能不够有效。

目的是研究先天性脊柱畸形患儿半椎体背侧切除术中神经生理监测的特点。

材料和方法。42名1-17岁的先天性脊柱畸形患者接受了46次从孤立的背侧入路(egg-shell技术)切除异常椎骨。手术阶段的术中神经生理监测包括肌肉松弛试验(TOF)、运动皮层经颅电刺激(TCeMEP)、神经入路控制(N. Proxy)和椎弓根螺钉的正确放置(Screw Integrity), 肌电图的EMG记录。螺钉放置的正确性通过Gerzbien方法评估, 神经系统疾病的存在 - 通过Frenkel量表。通过调节吸入麻醉剂(Sevoran)的供应, 控制其对运动诱发电位的影响, 并确定其对患者年龄的依赖性。

结果。患者的平均年龄为 7.7 ± 4.5 岁。TOF值为 $80.5 \pm 17\%$ 。41名患者中, N. Proxy测试不显著; 在1名患者中, 8-12 mA值不需要改变螺钉的轨迹。从塞沃兰给药开始, 54.8%的患者术中记录了来自所有受试肌肉的运动诱发电位, 8岁以上的儿童为92.8%, 在8岁以下儿童中, 35.7%的病例在其年龄组中。在其余患者中, 在服用塞沃兰的背景下, 大腿和小腿肌肉最常缺少运动诱发电位: 8岁以上儿童中7.2%的病例, 8岁以下儿童中83.3%的患者; 在7.2%的8岁以下患者中, 最初没有从任何肌肉记录到运动诱发电位。因此, 我们无法充分评估19名患者(45.2%)运动通路的传导情况, 其中13名患者(30.9%)停止使用塞沃兰, 使得100%的患者能够从所有受试肌肉获得术中运动诱发电位。为了充分管理麻醉5(50%)名1-4岁患者和1名6岁患者(5.6%)未取消, 并记录了腹部肌肉的运动诱发电位, 这使得仅评估传导成为可能在胸椎水平, 需要外科医生在矫正操作期间提高警觉性。

结论。半椎体背侧切除术中的神经生理学监测得到证实、有效, 并且可以控制脊柱操作过程中的神经系统并发症。

关键词: 背侧半椎体切除术; 神经生理监测; 术中神经监测; 运动诱发电位; 半椎体; 运动皮层的经颅电刺激; Sevorane; Egg-shell; Screw Integrity; N. Proxy.

To cite this article:

Vissarionov SV, Syundyukov AR, Nikolaev NS, Kuzmina VA, Korniyakov PN, Maksimov MN, Mikhailova IV. 半椎体背侧切除术时, 术中神经生理监测的使用特点. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2021;9(3):267-276. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

The use of intraoperative neurophysiological monitoring in dorsal resection of hemivertebrae

© Sergei V. Vissarionov¹, Ayrat R. Syundyukov², Nikolay S. Nikolaev^{2, 3}, Valentina A. Kuzmina², Pavel N. Korniyakov², Maxim N. Maksimov², Irina V. Mikhailova³

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia;

² Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russia;

³ Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

BACKGROUND: Congenital disorders of vertebrae formation are a common pathology in children. Intraoperative neurophysiological monitoring is a mandatory procedure, although it may not be effective enough due to the immature neural structures and the use of inhalation anesthetics in young children.

AIM: To study aims to investigate the characteristic features of intraoperative neurophysiological monitoring in children with a congenital deformity of the spine during dorsal resection of the hemivertebrae.

MATERIALS AND METHODS: 42 patients aged 1–17 years with a congenital deformity of the spine underwent 46 resections of the abnormal vertebra from an isolated dorsal approach (egg-shell technique). Intraoperative neurophysiological monitoring at the stages of the operation included a muscle relaxant test (TOF), transcranial electrical stimulation of the motor cortex (TCeMEP), control of the approach to the nerve (N. Proxy), correct placement of the pedicle screw (Screw Integrity), and EMG recording of the electromyogram. The accuracy of the screw placement was assessed by the Gerzbien method, and the presence of neurological disorders was tested by the Frenkel scale. The effect of inhalation anesthetic (sevoran) on motor evoked potentials was monitored by regulating its delivery, and the dependence on the age of patients was evaluated.

RESULTS: The average age of patients was 7.7 ± 4.5 years, and the TOF value was $80.5 \pm 17\%$. In 41 patients, the N. Proxy test was unremarkable, while in one patient, the 8–12 mA value did not require a change in the trajectory of the screws. From the beginning of sevoran and intraoperatively, motor evoked potentials from all tested muscles were recorded in 54.8% of patients; in children over 8 years old, this was observed in 92.8%, in children under 8 years old — in 35.7% of cases in their age groups. In other patients, motor evoked potentials were most often not recorded from the muscles of the thigh and lower leg after sevoran administration. In children over 8 years old in 7.2%, under 8 years old — in 83.3% of patients; Interestingly, in 7.2% of patients who are under 8 years of age, motor evoked potentials were not initially recorded from any muscle. Withdrawal of sevorane in 30.9% of patients allowed intraoperative motor evoked potentials to be obtained from all tested muscles in 100% of cases. For adequate management of anesthesia, 5 patients (50%) 1–4 years old and one patient 6 years old (5.6%) did not receive sevoran, and motor evoked potentials were recorded from the abdominal muscles. This allowed to assess the conduction only at the thoracic level and are required increased vigilance of surgeons when carrying out any corrective manipulations.

CONCLUSIONS: Intraoperative neurophysiological monitoring with dorsal hemivertebra resection is an effective method that allows controlling the neurological complications during manipulations on the spine.

Keywords: dorsal hemivertebra resection; neurophysiological monitoring; dorsal resection; motor potential potentials; hemivertebra; electrical stimulation; sevoflurane; egg-shell; Screw Integrity; N. Proxy.

To cite this article:

Vissarionov SV, Syundyukov AR, Nikolaev NS, Kuzmina VA, Korniyakov PN, Maksimov MN, Mikhailova IV. The use of intraoperative neurophysiological monitoring in dorsal resection of hemivertebrae. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2021;9(3):267–276. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

Received: 26.02.2021

Accepted: 31.08.2021

Published: 30.09.2021

УДК 616.711-089-053.2

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

Особенности использования интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при дорсальной резекции полупозвонков

© С.В. Виссарионов¹, А.Р. Сяндюков², Н.С. Николаев^{2, 3}, В.А. Кузьмина², П.Н. Корняков², М.Н. Максимов², И.В. Михайлова³

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия;

² Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия;

³ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Обоснование. Врожденные нарушения формирования позвонков — частая патология у детей. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг является обязательной процедурой, которая может быть недостаточно эффективной из-за незрелости невралных структур, применения ингаляционных анестетиков у детей раннего возраста.

Цель — изучить особенности проведения интраоперационного нейрофизиологического мониторинга у детей с врожденной деформацией позвоночника при дорсальной резекции полупозвонков.

Материалы и методы. 42 пациентам в возрасте 1–17 лет с врожденной деформацией позвоночника проведено 46 резекций аномального позвонка из изолированного дорсального доступа (методика egg-shell). Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг на этапах операции включал тест на миорелаксанты (TOF), транскраниальную электрическую стимуляцию моторной коры (ТСеМЕР), контроль приближения к нерву (N. Proxu) и правильности установки транспедикулярного винта (Screw Integrity), ЭМГ-запись электромиограммы. Корректность проведения винтов оценивали по методике Gerzbien, наличие неврологических нарушений — по шкале Frenkel. Регулируя подачу ингаляционного анестетика (севоран), контролировали его влияние на моторные вызванные потенциалы и выявляли их зависимость от возраста пациентов.

Результаты. Средний возраст пациентов — $7,7 \pm 4,5$ года. Значение TOF — $80,5 \pm 17$ %. У 41 пациента тест N. Proxu — без особенностей, у 1 — значение 8–12 мА не потребовало изменения траектории проведения винтов. С начала подачи севорана и интраоперационно моторные вызванные потенциалы со всех тестируемых мышц зарегистрированы у 54,8 % пациентов, у детей старше 8 лет — в 92,8 % случаев, у детей младше 8 лет — в 35,7 % случаев в своих возрастных группах. У остальных пациентов на фоне подачи севорана моторные вызванные потенциалы чаще всего отсутствовали с мышц бедра и голени: у детей старше 8 лет в 7,2 % случаев, младше 8 лет — у 83,3 % пациентов; у 7,2 % пациентов до 8 лет изначально моторные вызванные потенциалы не регистрировались ни с одной мышцы. Таким образом, мы не могли адекватно оценить проведение по двигательным путям у 19 пациентов (45,2 %), у 13 из них (30,9 %) отмена севорана позволила получить моторные вызванные потенциалы интраоперационно со всех тестируемых мышц в 100 % случаев. Для адекватного ведения анестезиологического пособия 5 (50 %) пациентам 1–4 лет и 1 пациенту 6 лет (5,6 %) севоран не отменяли, и моторные вызванные потенциалы регистрировали с мышц живота, что позволяло оценить проведение только на грудном уровне и требовало повышенной осторожности хирургов при корректирующих манипуляциях.

Заключение. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг при дорсальной резекции полупозвонка обоснован, эффективен, позволяет контролировать неврологические осложнения в ходе манипуляций на позвоночнике.

Ключевые слова: дорсальная резекция полупозвонков; нейрофизиологический мониторинг; интраоперационный нейромониторинг; моторные вызванные потенциалы; полупозвонок; транскраниальная электрическая стимуляция моторной коры; севоран; egg-shell; Screw Integrity; N. Proxu.

Как цитировать:

Виссарионов С.В., Сяндюков А.Р., Николаев Н.С., Кузьмина В.А., Корняков П.Н., Максимов М.Н., Михайлова И.В. Особенности использования интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при дорсальной резекции полупозвонков // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2021. Т. 9. № 3. С. 267–276. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS61946>

论证

先天性脊椎形成障碍是儿童时期最常见的脊柱病理。这些缺损的很大一部分是孤立的后外侧或外侧半椎骨,导致形成粗糙的刚性弯曲[1, 2]。这种疾病的治疗方法是早期手术干预:切除半椎体并完全矫正先天性畸形并使用脊柱硬件稳定最少数量的脊柱运动节段[3, 4]。最近,从背侧入路切除异常椎骨的技术已经普及[5]。然而,这种操作可能会导致神经系统并发症的发生,这不仅可以由直接机械损伤、神经结构的拉伸或压缩引起,还可以由脊髓的血液供应受损引起[6-11]。术中神经监测(IONM)的使用为手术医师提供了持续监测中枢神经系统结构功能状态、诊断手术期间发生的神经组织机械性或缺血性损伤的机会,从而防止了此类情况的发生,避免术后并发症[12,13]。目前,IONM正在成为手术干预期间控制神经并发症的世界标准,在此期间神经结构可能受到影响[14],然而,在儿科实践中使用IONM有其自身的特点,尚未得到充分的研究。根据资料来源,鉴于儿童早期患者的神经结构不成熟,神经生理学监测的有效性可能很低。经颅磁刺激显示,只有在12-14岁时,运动通路的功能特征才开始完全符合成人的参数。皮质脊髓束的髓鞘形成仅在青春期结束,通向下肢肌肉的路径的髓鞘形成在11-12岁结束,通向上肢肌肉的路径的髓鞘形成在12-17岁结束。运动通路中央部分的最终成熟仅在生命的第二个十年完成[15,16]。吸入麻醉剂的使用会对神经监测期间的运动反应产生负面影响,并且可能无法充分控制手术期间神经系统紊乱的可能性[9]。为了获得可靠的数据并排除研究的假阴性结果,有必要考虑麻醉剂对诱发活动参数的抑制作用[17-20]。众所周知,高剂量吸入麻醉剂会导致突触脉冲传递抑制,在此背景下,诱发电位的振幅-时间特征发生变化:振幅降低,潜伏期增加[12]。在这种情况下,诱发运动反应的振幅没有实际意义,因为它取决于许多因素,主要取决于神经纤维的个别传导。与初始值相比,只有响应的存在和操作期间振幅减小的事实才是显著的[10, 12]。现有文献缺乏关于儿童术中神经监测的数据。在半椎体背侧切除术中,由于在儿童期使用这种手术治疗方法,因此对IONM效率的评估是最重要的。

目的是研究先天性脊柱畸形患儿半椎体背侧切除术中神经生理监测的特点。

材料与方法

在俄罗斯卫生部联邦国家预算机构“联邦创伤、矫形和假肢中心”切博克萨雷),对一位因先天性脊柱畸形进行手术的外科医生的患者数据库进行了一项回顾性单中心连续研究。2013年至2019年共手术75例,部分患者按照入选标准被排除在观察组之外。

研究纳入标准:存在半椎体;背侧通路手术;固定不超过两个脊柱运动节段;无原发性神经功能缺损。

研究排除标准:合并畸形;超过4个级别的扩展固定。

该研究包括42名1至17岁患有先天性脊柱畸形的儿童(26名女孩和16名男孩)。患者分为年龄组:第一组包括9名1至4岁的儿童,第二至18名5至8岁的儿童,第三至8名9至13岁的儿童,第四至7名14至17岁的儿童。从符合研究目标的角度来看,该排名系统被选为最便于分析的系统。

平均年龄 $7,7 \pm 4,5$ 岁。异常椎骨位于腰椎(26例;61.9%)和胸椎(16例;38.1%)区域。20例(47.6%)患者观察到右侧半椎体排列,22例(52.4%)患者观察到左侧半椎体排列。节段性半椎体22例(52.4%),半节段性16例(38.1%),非节段性4例(9.5%)。

所有患者均从背侧入路切除一个或多个异常椎体,矫正先天性曲度,并使用多支撑金属结构稳定手术效果。在手术过程中,皮肤切开后,背部脊柱暴露在干预区。然后,根据畸形的性质,将经椎弓根螺钉安装在与异常椎体相关的相邻椎体中,如有必要,将固定点向上或向下延伸1或2段,然后切除异常椎体的肋骨,如果手术是在胸部进行的。然后切除半椎体的背侧结构,观察缺损椎体的弓根。在此之后,使用蛋壳技术通过足弓根部进行脱臼,然后切除椎体的外壳和背壳,然后,根据所选的Bollini切除术类型[21],移除终板,并在安装椎体间植入物(autobone)的情况下进行椎间盘切除术。干预是通过将杆浸入螺钉头并沿曲率的凹面和凸面进行矫正操作来完成的。在最后阶段,手术伤口分层缝合。

平均固定长度为 3.2 ± 1.1 节段。11例中一节段固定(固定仅限于与切除的半椎体相邻的两个椎体)。15例中有两个节段被固定,即,两个相邻的椎体被固定,另一个椎体-颅侧或尾侧,取决于脊柱侧凸畸形。16例三节段按相同原则固定。固定元件的数量平均为 5.8 ± 2.3 个螺钉。

采用复合气管内麻醉。在静脉注射肌肉松弛剂氯化舒沙霉素后,通过口气管法进行插管。插管后,患者转入人工肺通气。对于维持麻醉,芬太尼、异丙酚和sevoran的最大肺泡浓度为0.3-2%。

这些操作是在IONM的控制下使用NIM - Eclipse System (Medtronic, 美国)进行的。

该技术包括五项测试。

1. 进行肌肉松弛试验(TOF)以测量神经肌肉阻滞的程度,从而排除由于麻痹药物的影响而导致的假阴性结果。通过刺激相应的神经并记录其所支配的肌肉中诱发的总运动电位,从肌肉松弛剂给药的那一刻到达到正常值(超过60%),对神经肌肉阻滞进行监测。
2. 运动皮层的经颅电刺激(TCeMEP)与运动诱发电位(MEP)的登记用于评估运动皮质脊髓束的功能状态。MEP记录在与手术水平相对应的关键肌肉中。为了获得MEP,将刺激电极放置在头皮下,沿着从点 C_3 和 C_4 向前(朝向鼻子)一指宽的线以及运动皮层的相应投影。所有患者的腹直肌(T_5-T_{11})、腹斜肌($T_{12}-L_1$)、股四头肌外侧头(L_2-L_4)、胫骨前肌(L_4-L_5, S_1)或腓骨长肌(L_5-S_1)。儿科患者的一个特点是肌肉体积小,安装针电极时需要精确。第一项研究是在手术前,在使用Sevoran将孩子引入麻醉后进行的。然后在螺钉安装阶段与测试N一起评估MEP。Proxy和等 - 在外科医生的矫正操作中反复出现,对神经结构造成潜在的损害威胁。这种情况下,考虑到运动反应的存在与否(“是 - 否”标准),无论其来自腹部和下肢肌肉的幅度如何,以及MEP幅度的减小超过最初的70%。难以获得反应的幼儿中,由于七苯醚对MEP的抑制作用,麻醉师对其进行了手动给药。在那些没有记录下肢肌肉MEP的情况下,在半椎体切除和纠正行动阶段,有必要完全关闭sevoran,暂时用麻醉性镇痛

药和丙泊酚支持,直到出现表明皮质脊髓束的安全性,此后恢复了sevoran供应。

3. 神经接近控制模式(N. Proxy)允许跟踪椎弓根螺钉的根管的正确形成。外科医生的仪器上固定了一个环,用1到12 mA的电流对其施加电刺激。随着仪器正确通过椎弓,设备的监视器上会出现一条等值线。当导体接近神经结构时,出现振幅增加到最小刺激强度的肌电图(EMG)响应。在这种情况下,外科医生改变了器械的轨迹,直到肌电图反应消失。
4. 使用施加电刺激的球状探针(Screw Integrity模式)监测脊柱固定期间椎弓根螺钉的正确放置。螺钉在椎弓根内的正确放置以及经椎弓根管壁没有缺陷的证据是没有EMG反应或其对高功率刺激的出现。由于椎弓根中骨组织的缺乏,EMG反应的存在被认为是接近神经结构。更常见的是,在沿凹侧的畸形顶点处注意到类似的情况,并且可以通过该区域椎骨的解剖学和形态学特征来解释。当记录稳定的高振幅EMG响应时,螺钉的位置是使用图像增强器控制的。如果螺钉位置不正确,将被移除,如果它没有承载战略负荷,或者传导轨迹发生变化,在某些情况下,椎弓根螺钉被替换为另一个固定元件(钩子、胶带)。
5. 肌电图的EMG记录。当记录表明接近神经结构的EMG响应时,外科医生改变了器械的轨迹。

根据术后计算机断层扫描(CT)数据,评估器械固定长度和实施经椎弓根支撑元件的正确性。在操作过程中记录了IONM参数的变化。在评估经椎弓根螺钉放置的正确性时,使用了Gerzbien技术。螺钉朝向椎管的偏差被认为是发生神经系统疾病的潜在危险,以及螺钉在椎弓根外侧的偏差是神经根症状的危险因素。未考虑螺钉沿前表面超出椎体的延伸,因为在某些情况下,双皮质传导专门用于更可靠的固定。使用Frenkel量表评估神经系统疾病的存在/不存在。

使用Microsoft Excel 2007程序对获得的数据进行统计处理(Microsoft Inc., 美国)和GraphPad (GraphPad Software, 美国)。MS Excel中样本值与正态分布的对应关系是通过图形化的方法来确认的,这使得以算术平均值(M)和标准偏差(SD)的形式反映结果成为可能。为了评估

组中平均值差异的统计显著性,我们使用了配对学生t检验、Fisher精确检验。 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

所有螺钉在26例(61.9%)患者中正确进行;在16名(38.1%)患者中,一个或多个螺钉是不正确的。在安装在42名患者的243个螺钉中,位置222的位置绝对正确。与此同时,16名患者中的21个螺钉具有以下偏差:在通道的方向-6(拒绝螺钉的28.6%的螺钉和2.5%),在侧面-15螺钉(71.4%安装不正确)和6.2%全部建立)(图1)。

螺钉上方或下方的螺钉偏差未注意到在传导开口的方向上。所有患者的TOF的价值超过60%,表明没有初始的影响对离子的性能。根据IONM协议和N. Proxy测试值的评估,41患者通过测试没有特征,即与神经结构的直接接触没有标记。在L₁水平的1例患者中,测试显示了8-12 mA的值,该值被认为是允许的并且不需要在螺钉

的轨迹中的变化。根据术后CT,该患者在脊柱管道方向上鉴定了螺钉的非临界移位。在其他患者螺钉位置不正确的患者中,术中进行N. Proxy试验时,没有压缩和与神经结构直接接触的迹象。

由于在麻醉中引入儿童,记录了MEP(base line)的初始数据,在未来他们在整个操作干预过程中对该测试进行了动态评估。与未收到答案的集团相比,对刺激阳性刺激的阳性反应的患者的平均年龄为 9.1 ± 0.8 岁, ($p = 0.0005$) (3.3 ± 0.4 岁)。评估年龄接受电机响应的影响,我们揭示了统计上可靠的依赖,即患者的年龄较少,我们设法接收电动机响应的较少(图2)。

在运作开始时,在进行手术操作之前,所有患者均为9-13岁,5(83.3%)患者14-17岁,在手术过程中,他们也记录了直接和倾斜腹部肌肉的MEP与臀部和胫骨的肌肉一样。

MEP用直接和倾斜的肌肉腹部肌肉和臀部的肌肉和臀部的肌肉和7(38.9%)儿童5-8岁,只有3名(30%)超过4年的儿童。可能,这是由于皮质和脊柱的成熟的年龄特征以及七六的影响(见表)。

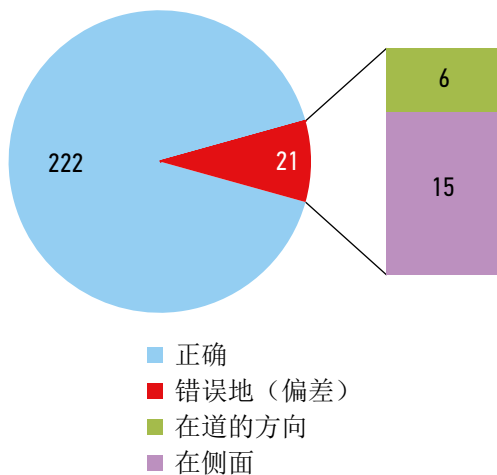


图1 螺钉的结果

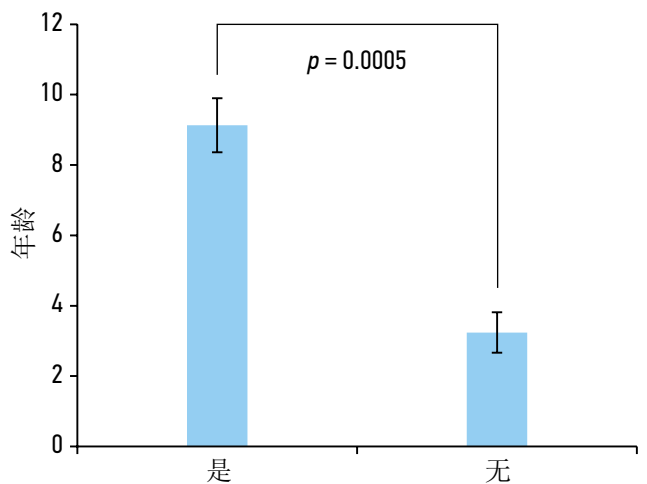


图2 在平均年龄的原始电动机诱导的电位的存在/不存在的依赖性

表格在七种背景下登记机动电位

运动诱发电位的存在与七种不同的背景	年龄, 岁								总, 绝对数 (n = 42)	总, 比重, %
	1-4 (n = 10)		5-8 (n = 18)		9-13 (n = 8)		14-17 (n = 6)			
	绝对值	比重, %	绝对值	比重, %	绝对值	比重, %	绝对值	比重, %		
腹部肌肉的答案 (L ₅ -S ₁ 中的Th ₆ 水平)	3	30	7	38.9	8	100	5	83.3	23	54.8
腹部肌肉的答案 (级别Th ₆ -Th ₁₂)	6	60	9	50	-	-	1	16.7	16	38
无应答	1	10	2	11.1	-	-	-	-	3	7.2

当引入麻醉时,从1-4岁的患者的7(70%)患者中,下肢肌肉的电动机反应未获得,11位(61.1%)5-8岁的患者和1位15岁的患者(16.7%)。与此同时,既不是其中一个经过测试的肌肉在1(10%)3岁的患者和2(11.1%)5-8岁的患者没有录制MEP。因此,我们没有在18名患者中获得预期的8岁,1岁患者14-17岁。取消对12名1-8岁没有运动反应的患者进行Searan测试,背景为7名,允许在所有情况下从腹部肌肉和腿部获得电位。在6名患者中,仅从腹部肌肉记录MEP(5名1-4岁的儿童和1名6岁的儿童)-他们没有因充分进行麻醉而取消。这使得仅在乳房水平评估行为,这需要外科医生在执行矫正操作时提高警惕性。在一个15年的病人身上,在他被废除后的7年背景下,他们的反应缺失,他们也恢复了,这表明高速公路的安全。

因此,在23例(54.8%)患者最初和术中从所有测试水平注册了MEP,而8岁以上的儿童-在92.9%的情况下,在8岁以下的儿童-在35.7%的情况下($p=0.0007$)。剩下的患者中,在供应七南的背景下,来自个体肌肉群的MEP未注册。最常见的是,这些患者没有来自大腿和腿部的肌肉的MEP:在8岁以上的儿童中-在7.1%的病例中,年轻超过8年-患者的64.3%($p=0.0058$)。在3名(10.7%)患者最多8年,最初,MEP没有用任何肌肉记录,但排除七南的减压效果使得可以获得来自各个层面的电动机反应。总的来说,在手术过程中,36名(85.7%)患者记录了来自各个层面的MEP,这表明高速公路的完整性。

在9-13岁组的1名患者中,记录到MEP振幅在矫正手法中短期降低超过70%的腿部肌肉,随后在设计背景下恢复到初始水平,引入糖皮质激素并用温等渗氯化钠溶液冲洗伤口。

随着MEP的评估以及评估使用其他IONM测试。在横向螺钉的通道形成阶段,进行N. Proxy试验,使用Screw Integrity测试检查正确安装螺钉。这些测试的结果并不依赖于七六的年龄和剂量。当记录表明接近神经结构的EMG响应时,外科医生改变了器械的轨迹。由此,没有记录单一神经功能并发症,尽管根据243安装螺钉的术后CT控制,记录了6个螺钉朝向脊通道的略微偏差,横向偏离。

讨论

在进行这种干预时,使用IONM是由于需要安全切除半非电话。由于背部切除在傻瓜袋下进行,并且靠近根的根部,因此存在神经结构工具的风险。

脊髓和脊柱的操作干预率为早期术后并发症的风险相当高。其中最困难的是以瘫痪和侵犯骨盆机构功能的形式发展持续的神经系统缺陷[22]。先天性半切削的背切除也与神经结构工具的损坏导致神经系统并发症的风险有关。IONM已经证明了其有效性,并逐渐成为现代脊柱手术的固有条件,允许防止发生严重的术后神经系统并发症。这种方法的发展前景与对其的指示的细化和刺激的最佳参数相关有关,随着麻醉患者的术中频频刺激的非侵入性方法的发展[22]。在J.M. Guerit研究有手术室的一般监测原则:“外科医生、麻醉师和神经生理学家之间必须达成公开协议,根据该协议,监测技术的使用不应伴随着大脑结构受损的风险;外科医生同意期待完成神经生理学家研究的那一刻,以便将他们的行动与re联系起来监测结果;麻醉师同意将其技术用于MEP登记,并在患者参数过程中持续保持神经生理学家“[22]。

根据现代指南,在整个手术过程中,脊髓幕上的手术必须在躯体感觉诱发电位(SSF)和经颅电刺激诱发的肌肉诱发电位的控制下进行。许多研究证实了早期的报告,即SSP监测能够确保仅对敏感脊髓路径进行充分的电生理控制。手术干预期间SSF参数的正常值不能保证术后无运动神经功能缺损[12]。

IONM的方法在特别指南中有详细描述,但是在儿童实践中使用IONM的关注较少。在SSVP的控制下和wake-up test测试12岁以上的儿童描述了在脊柱上进行操作[23]。在进行IONM时,建议不要使用吸入麻醉剂,但Sevrans通常用于儿童麻醉学,它对引起的活动参数有抑制作用。在没有MEP的情况下,建议暂停手术操作,并采取纠正措施恢复MEP[24]。在这种情况下,患者进行了唤醒试验(STAGNARA试验),该试验检测肢体运动,然后将患者转换为复合麻醉,同时获得感觉和机动诱发电位[13]。

为了实施安全的手术操作,有必要在运动束的各个层面监测MEP。由于Sevoran的影响以及外

科医生移除半梁和矫正动作的动作，他们的腿部肌肉缺失。当运动道损伤的风险最高时，有必要在大剂量药物和异丙酚的临时支持下完全关闭 Sevoran，直到出现表明皮质和脊柱路径安全的电位，之后 Sevoran 的供应恢复。

如果没有发生 MEP 的恢复，则应完成操作，因为患者会产生重型电机缺损[24]。当引入麻醉时，我们没有收到来自 19 名患者的下肢肌肉的电机反应，但取消 Sevoran 允许在其中 13 个中登记 MEP。其余 6 名患者为 1-6 岁，Sevoran 未被取消，目标肌肉缺乏 MEP 的原因显然是后者的降压作用以及儿童皮质和脊髓束的不成熟。没有记录电动机缺乏的外观。

它是通过测试 N. Proxy[22] 的可行性来认识到。该试验用于评估横向螺钉的正确位置，并控制其对神经结构的近似，以防止分段性神经系统的发育。声音和视觉监视器信号警告关于神经结构的接近位置使得可以避免其非彻底损坏。只有 2.5% 的螺钉被拒绝了渠道，并且它们都没有导致术后期间的神经症状。

结论

MEP 作为神经系统并发症的重要测试控制是从外科手术干预的主要阶段的所有测试肌肉中记录了 85.7% 的患者。在 6 例患者中 (14.3%)，仅从腹部肌肉获得 MEP，该肌肉需要增加的外科医生。

检测到统计学意义 ($p=0.0005$) 初始响应对来自年龄的电动机皮层的电刺激的依赖性的

依赖性。与没有答案的组相比，对刺激有积极反应的患者的平均年龄在统计学上显著更高 ($p=0.0005$)。

为了获得有关幼儿运动束功能的可靠信息，需要在暂时禁用吸入麻醉剂的背景下登记 MEP。在无法取消 Sevoran 的情况下，在进行操作时需要增加外科医生的人数，以防止神经并发症。

术中神经生理监测的使用在从背根访问中传导半畸变时进行了高效。

附加信息

资金来源。 该研究在未经赞助和财务支持的情况下进行。

利益冲突。 作者声明，不存在与本文发布有关的明显和潜在利益冲突。

伦理审查。 在俄罗斯卫生部“FTCT00”的医院医疗理事会会议上 (Cheboksary) FSBU “FTCT0” 俄罗斯卫生部的伦理委员会 (Cheboksary) 被协议研考虑。结论在 19.02.2021 号议定书中：委员会成员一致批准临床研究并出版其结果。

作者获得了患者 (或其法律代表) 的书面同意，以发布医疗数据。

作者贡献。 S.V. Vissarionov - 研究的想法，在执行步骤中控制，编辑文章的文本。A.R. Syundyukov - 材料的统计处理，写作文章。N.S. Nikolaev - 概念和设计设计，编辑文本文本。V.A. Kuzmina - 编辑文章，图形材料的准备。P.N. Korniyakov - 物料收集和加工，制备图形材料。M.N. Maksimov, I.V. Mikhailova - 材料的收集和加工。

所有作者都对文章的研究和准备做出了重大贡献，在发表前阅读并批准了最终版本。

REFERENCES

- Ul'rikh EV. Spinal anomalies in children: A guide for doctors. Saint Petersburg: Sotis; 1995. (In Russ.)
- Udalova IG, Mikhaylovskiy MV. Neurological complications in scoliosis surgery. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2013;(3):38-43. (In Russ.)
- Crostelli M, Mazza O, Mariani M. Posterior approach lumbar and thoracolumbar hemivertebra resection in congenital scoliosis in children under 10 years of age: results with 3 years mean follow up. *Eur Spine J*. 2014;23(1):209-215. DOI: 10.1007/s00586-013-2933-z
- Klemme WR, Polly DW Jr, Orchowski JR. Hemivertebra excision for congenital scoliosis in very young children. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(6):761-764.
- Vissarionov SV, Syundyukov AR, Kokushin DN. Comparative analysis of surgical treatment of preschool children with congenital deformity of the spine with isolated hemivertebrae from combined and dorsal approaches. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*. 2019;7(4):5-14. (In Russ.)
- Guo J, Zhang J, Wang S, et al. Surgical outcomes and complications of posterior hemivertebra resection in children younger than 5 years old. *J Orthop Surg Res*. 2016;11(1):48. DOI: 10.1186/s13018-016-0381-2
- Li J, Lü GH, Wang B, et al. Pedicle screw implantation in the thoracic and lumbar spine of 1-4-year-old children: evaluating the safety and accuracy by a computer tomography follow-up. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26(2):E46-52. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31825d5c87
- Wang S, Zhang J, Qiu G, et al. Posterior hemivertebra resection with bisegmental fusion for congenital scoliosis: more than 3 year outcomes and analysis of unanticipated surgeries. *Eur Spine J*. 2013;22(2):387-393. DOI: 10.1007/s00586-012-2577-4
- Khabirov FA. Guidelines for clinical neurology of spine. Kazan: Medicine; 2006. (In Russ.)
- Wright N. P141. Instrumented extreme lateral interbody fusion (XLIF) through a single approach. *Spine J*. 2005;5(4 Suppl.):S177-S178. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.05.356

11. Auerbach JD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(14):1198–210. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824fffde
12. Gurskaya OE. Electrophysiological monitoring of the central nervous system. Saint Petersburg: ONFD; 2015. (In Russ.)
13. Hit MA, Kolesov SV, Kolbovsky DA, Morozova NS. The role of intraoperative neurophysiological monitoring in prevention of postoperative neurological complications in scoliotic spinal deformation surgery. *Neuromuscular diseases*. 2014;(2):36–41. (In Russ.)
14. Schekutev GA. Neurophysiological researches in clinic research institute of neurosurgery named after NN Burdenko. Moscow: Antidor; 2001. (In Russ.)
15. Nikitin SS, Kurenkov AL. Magnetic stimulation in the diagnosis and treatment of diseases of the nervous system. A guide for doctors. Moscow: SASHKO; 2003. (In Russ.)
16. Müller K, Kass-Iliyya F, Reitz M. Ontogeny of ipsilateral corticospinal projections: a developmental study with transcranial magnetic stimulation. *Ann Neurol*. 1997;42(5):705–711. DOI: 10.1002/ana.410420506
17. Simon M, Borges L. Intramedullary spinal cord tumor resection. In: Simon MV (ed). Intraoperative clinical neurophysiology. A comprehensive guide to monitoring and mapping. New York: Demos-medical; 2010. P. 179–208.
18. Deiner S. Highlights of anesthetic considerations for intraoperative neuromonitoring. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;14(1):51–53. DOI: 10.1177/1089253210362792
19. Kalkman CJ, Drummond JC, Ribberink AA. Low concentrations of isoflurane abolish motor evoked responses to transcranial electrical stimulation during nitrous oxide/opioid anesthesia in humans. *Anesthesia and Analgesia*. 1991;73(4):410–415. DOI: 10.1213/00000539-199110000-00008
20. Sloan TB. Anesthetic effects on electrophysiological recordings. *J Clin Neurophysiol*. 1998;15(3):217–226. DOI: 10.1097/00004691-199805000-00005
21. Bollini G, Docquier PL, Jouve JL. Hemivertebrectomy in early-onset scoliosis. In: Akbarnia B, Yazici M, Thompson G. (eds.). The growing spine. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016. P. 555–569. DOI: 10.1007/978-3-662-48284-1_31
22. Belova AN, Baldova SN. Neurophysiological intraoperative monitoring during operations on the spine and spinal cord (literature review). *Russkiy meditsinskiy zhurnal*. 2016;(23):1569–1574. (In Russ.)
23. Novikov VV, Novikova MV, Tsvetovskiy SB, et al. Prevention of neurological complications during surgical correction of gross deformities of the spine. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2011;(3):66–76. (In Russ.)
24. Buzunov AV, Vasyura AS, Dolotin DN, et al. Multimodal approach in intraoperative neuromonitoring of the spinal cord during the correction of spinal deformities. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2021;18(1):31–38. (In Russ.). DOI: 10.14531/ss2021.1.31-38

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ульрих Э.В. Аномалии позвоночника у детей: Руководство для врачей. Санкт-Петербург: Сотис, 1995.
2. Удалова И.Г., Михайловский М.В. Неврологические осложнения в хирургии сколиоза // Хирургия позвоночника. 2013. Т. 3. С. 38–43. DOI: 10.14531/ss2013.3.38-43
3. Crostelli M., Mazza O., Mariani M. Posterior approach lumbar and thoracolumbar hemivertebra resection in congenital scoliosis in children under 10 years of age: results with 3 years mean follow up // *Eur. Spine J*. 2014. Vol. 23. No. 1. P. 209–215. DOI: 10.1007/s00586-013-2933-z
4. Klemme W.R., Polly D.W. Jr, Orchowski J.R. Hemivertebral excision for congenital scoliosis in very young children // *J. Pediatr. Orthop*. 2001. Vol. 21. No. 6. P. 761–764.
5. Виссарионов С.В., Сундюков А.Р., Кокушин Д.Н., и др. Сравнительный анализ хирургического лечения детей дошкольного возраста с врожденной деформацией позвоночника при изолированных полупозвонках из комбинированного и дорсального доступов // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. № 4. С. 5–14. DOI: 10.17816/PTORS745-14
6. Guo J., Zhang J., Wang S., et al. Surgical outcomes and complications of posterior hemivertebra resection in children younger than 5 years old // *J. Orthop. Surg. Res*. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 48. DOI: 10.1186/s13018-016-0381-2
7. Li J., Lü G.H., Wang B., et al. Pedicle screw implantation in the thoracic and lumbar spine of 1–4-year-old children: evaluating the safety and accuracy by a computer tomography follow-up // *J. Spinal. Disord. Tech*. 2013. Vol. 26. No. 2. P. E46–52. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31825d5c87
8. Wang S., Zhang J., Qiu G., et al. Posterior hemivertebra resection with bisegmental fusion for congenital scoliosis: more than 3 year outcomes and analysis of unanticipated surgeries // *Eur. Spine J*. 2013. Vol. 22. No. 2. P. 387–393. DOI: 10.1007/s00586-012-2577-4
9. Хабиров Ф.А. Руководство по клинической неврологии позвоночника. Казань: Медицина, 2006.
10. Wright N. P141. Instrumented extreme lateral interbody fusion (XLIF) through a single approach // *Spine J*. 2005. Vol. 5. No. 4 (Suppl.). P. S177–S178. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.05.356
11. Auerbach J.D., Lenke L.G., Bridwell K.H., et al. Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012. Vol. 37. No. 14. P. 1198–210. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824fffde
12. Гурская О.Е. Электрофизиологический мониторинг центральной нервной системы. Санкт-Петербург: ОНФД, 2015.
13. Хить М.А., Колесов С.В., Колбовский Д.А., Морозова Н.С. Роль интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в предотвращении развития послеоперационных неврологических осложнений в хирургии сколиотической деформации позвоночника // Нервно-мышечные болезни. 2014. № 2. С. 26–41.
14. Щекутьев Г.А. Нейрофизиологические исследования в клинике НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. Москва: Антидор, 2001.
15. Никитин С.С., Куренков А.Л. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. Москва: САШКО, 2003.
16. Müller K., Kass-Iliyya F., Reitz M. Ontogeny of ipsilateral corticospinal projections: a developmental study with transcranial

magnetic stimulation // *Ann. Neurol.* 1997. Vol. 42. No. 5. P. 705–711. DOI: 10.1002/ana.410420506

17. Simon M., Borges L. Intramedullary spinal cord tumor resection. In: Simon M.V. (ed). *Intraoperative clinical neurophysiology. A comprehensive guide to monitoring and mapping.* New York: Demosmedical, 2010. P. 179–208.

18. Deiner S. Highlights of anesthetic considerations for intraoperative neuromonitoring // *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2010. Vol. 14. No. 1. P. 51–53. DOI: 10.1177/1089253210362792

19. Kalkman C.J., Drummond J.C., Ribberink A.A. Low concentrations of isoflurane abolish motor evoked responses to transcranial electrical stimulation during nitrous oxide/opioid anesthesia in humans // *Anesthesia and Analgesia.* 1991. Vol. 73. No. 4. P. 410–415. DOI: 10.1213/00000539-199110000-00008

20. Sloan T.B. Anesthetic effects on electrophysiologic recordings // *J. Clin. Neurophysiol.* 1998. Vol. 15. No. 3. P. 217–226. DOI: 10.1097/00004691-199805000-00005

21. Bollini G., Docquier P.L., Jouve J.L. Hemivertebrectomy in early-onset scoliosis. In: Akbarnia B., Yazici M., Thompson G. (eds). *The growing spine.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. P. 555–569. DOI: 10.1007/978-3-662-48284-1_31

22. Белова А.Н., Балдова С.Н. Нейрофизиологический интраоперационный мониторинг при операциях на позвоночнике и спинном мозге (обзор литературы) // *Русский медицинский журнал.* 2016. Т. 23. С. 1569–1574.

23. Новиков В.В., Новикова М.В., Цветовский С.Б., и др. Профилактика неврологических осложнений при хирургической коррекции грубых деформаций позвоночника // *Хирургия позвоночника.* 2011. Т. 3. С. 66–76.

24. Бузунов А.В., Васюра А.С., Долотин Д.Н. Мультимодальный подход в интраоперационном нейромониторинге спинного мозга во время коррекции деформаций позвоночника // *Хирургия позвоночника.* 2021. Т. 18. № 1. С. 31–38. DOI: 10.14531/ss2021.1.31-38

AUTHOR INFORMATION

Sergei V. Vissarionov, MD, PhD, D.Sc.,
Professor, Corresponding Member of RAS;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
eLibrary SPIN: 7125-4930; e-mail: vissarionovs@gmail.com.

***Ayrat R. Syundyukov**, MD, PhD;
address: 33, Fyodor Gladkov str., Cheboksary,
Chuvash Republic, 428020, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8276-9216>;
eLibrary SPIN: 6275-4184; e-mail: sndk-ar@yandex.ru

Nikolay S. Nikolaev,
MD, PhD, D.Sc., Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>;
eLibrary SPIN: 8723-9840; e-mail: nikolaevns@mail.ru

Valentina A. Kuzmina,
MD, doctor of functional diagnostics;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3159-4764>;
eLibrary SPIN: 9577-9200;
e-mail: kuzmina_va@orthoscheb.com

Pavel N. Korniyakov, MD, orthopedic and trauma surgeon;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7124-5473>;
eLibrary SPIN: 9706-1851; e-mail: pashat-1000@mail.ru

Maxim N. Maksimov,
MD, anesthesiologist-resuscitator;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3762-4864>;
eLibrary SPIN: 6031-8080; e-mail: fc@orthoscheb.com

Irina V. Mikhailova, MD, Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7665-2572>;
eLibrary SPIN: 1998-0610; e-mail: ira1840@rambler.ru

ОБ АВТОРАХ

Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук,
профессор, чл.-корр. РАН;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
eLibrary SPIN: 7125-4930; e-mail: vissarionovs@gmail.com

***Айрат Рашитович Сюндюков**, канд. мед. наук;
адрес: 428020, Россия, Чувашская Республика,
г. Чебоксары, ул. Федора Гладкова, д. 33;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8276-9216>;
eLibrary SPIN: 6275-4184; e-mail: sndk-ar@yandex.ru

Николай Станиславович Николаев,
д-р мед. наук, профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>;
eLibrary SPIN: 8723-9840; e-mail: nikolaevns@mail.ru

Валентина Александровна Кузьмина,
врач функциональной диагностики;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3159-4764>;
eLibrary SPIN: 9577-9200;
e-mail: kuzmina_va@orthoscheb.com

Павел Николаевич Корняков, врач — травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7124-5473>;
eLibrary SPIN: 9706-1851; e-mail: pashat-1000@mail.ru

Максим Николаевич Максимов,
врач — анестезиолог-реаниматолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3762-4864>;
eLibrary SPIN: 6031-8080; e-mail: fc@orthoscheb.com

Ирина Владимировна Михайлова, доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7665-2572>;
eLibrary SPIN-код: 1998-0610; e-mail: ira1840@rambler.ru