

СКРЫТЫЙ СИНДРОМ ФИКСИРОВАННОГО СПИННОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ (КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

К.В. Сысоев, Е.Н. Жарова, Ю.М. Забродская, В.А. Хачатрян

Российский нейрохирургический институт им. проф. А.Л. Поленова — филиал ФГБУ
«СЗФМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, 191104, Санкт-Петербург, ул. Маяковского, д. 12

Целью исследования явилось определение особенностей диагностики и показаний к хирургическому лечению скрытого СФСМ.

Материалы и методы. Клиническое, интроскопическое, нейрофизиологическое, урологическое обследование, интраоперационная диагностика и морфометрия проведены у девочки 9 лет.

Результаты. Продemonстрирован регресс клинических и электрофизиологических проявлений заболевания после хирургического лечения.

Заключение. При наличии стойких к медикаментозной терапии клинических проявлений СФСМ существуют показания к дефиксирующей операции, даже при отсутствии нейровизуализационных признаков фиксации спинного мозга.

Ключевые слова: скрытый синдром фиксированного спинного мозга, диагностика, хирургическое лечение.

Introduction: The one of the actual pediatric neurosurgery problems remains the optimal strategy selection for treatment of occult tethered cord syndrome (TCS), which presents no neuroimaging signs of spinal cord tethering in spite of clinical manifestation and characteristic of TCS.

Objective: to define the specific aspects of the TCS diagnostics and to determine the indications for surgical treatment.

Methods: clinical, neurovisualization, neurophysiological, urological examination, intraoperative diagnostics and morphometry in female patient 9 years old with TCS.

Results: clinical and electrophysiological improvement after surgical treatment was observed.

Conclusions: the presence of clinical manifestations of the TCS resistant to drug therapy is an indication for surgery, even in the absence of neuroimaging signs of the spinal cord tethering.

Key words: occult tethered cord syndrome, diagnostics, surgical treatment

Введение

Одной из актуальных проблем детской нейрохирургии является выбор оптимальной тактики лечения скрытого синдрома фиксированного спинного мозга (СФСМ), при котором, несмотря на выявляемую характерную клиническую картину в виде чувствительных и двигательных нарушений в нижних конечностях, тазовых расстройств и скелетно-мышечных деформаций, отсутствуют такие нейровизуализационные признаки СФСМ, как низкое расположение конуса спинного мозга (ниже уровня тела L2 позвонка), а также утолщение (более 2 мм в диаметре) и/или укорочение конечной нити [16, 25]. Развитие клинической симптоматики при СФСМ связывают с натяжением каудальных отделов спинного мозга в результате их иммобилизации при аномалиях развития, рубцово-пролиферативных и иных патологических процессах [1, 2, 29]. Учитывая, что частота встречаемости СФСМ при изолированных аномалиях конечной нити не превышает 0,1% [4], а описываемые группы наблюдений скрытого СФСМ сравнительно невелики, к настоящему времени не сложилось единого мнения относительно оптимальной тактики лечения этой патологии [5, 21]. Большинство авторов указывают на целесообразность иссечения напряженной конечной нити и приводят данные о высокой

эффективности этой манипуляции [9, 13, 16, 18, 20, 25, 26], тогда как ряд специалистов, напротив, выражают сомнения относительно наличия достаточных оснований для проведения хирургического вмешательства при скрытом СФСМ [3, 5, 21]. Их скептицизм основан, в том числе, на том, что расстройства мочеиспускания у детей, считающиеся наиболее характерным признаком скрытого СФСМ [6, 22], связаны с этой аномалией не более чем в 1,5% случаев [4], а истинными его причинами могут быть патологии других органов [7]. Учитывая описанные трудности в диагностике и выборе тактики лечения скрытого СФСМ, а также недостаточное освещение этой проблемы в отечественной литературе, на наш взгляд, актуально представить к обсуждению следующее клиническое наблюдение.

Описание клинического наблюдения.

Девочка, 9 лет. С раннего возраста наблюдалась ортопедом по поводу дисплазии тазобедренных суставов с подвывихом справа. В возрасте 3 лет родители стали отмечать изменение походки. При осмотре ортопеда выявлено усиление поясничного лордоза, правосторонний сколиоз I степени, гипотрофия, укорочение правой нижней конечности до 1 см, деформация правой стопы

по типу «стопы Фридрейха». С 7 лет отмечались периодическое дневное и ночное недержание мочи, императивные и ложные позывы к мочеиспусканию. При проведении урологического обследования (цистоманометрия) выявлены признаки гипорефлекторного мочевого пузыря. На фоне консервативного лечения улучшения не отмечено. В связи с появившимися жалобами на боли в пояснице была выполнена МСКТ позвоночника, по результатам которой выявлена spina bifida posterior S3 (рис. 1).

При осмотре обращало на себя внимание ограничение тыльной флексии, эквинусная установка

правой стопы. На МРТ с трактографией спинной мозг оканчивается на уровне межпозвоночного диска L1-L2, терминальная нить толщиной 1,3 мм, МР-сигнал от нее изоинтенсивен сигналу от корешков конского хвоста, проводники спинного мозга сохранены на всем его протяжении (рис. 2).

При регистрации вызванных двигательных потенциалов (ВДП) с mm. tibialis anterior выявлено увеличение времени центрального проведения и снижение амплитуды моторных ответов, $D>S$ (рис. 3).

Интраоперационно было установлено истончение твердой мозговой оболочки в месте прилегания напряженной конечной нити (рис. 4).

При электростимуляционном картировании корешков спинного мозга двигательные ответы с мышц нижних конечностей были получены при силе тока 0,2 мА (рис. 5).

После электростимуляционной идентификации (сила тока до 10 мА) выполнено пересечение конечной нити. Сформировавшийся диастаз между отрезками составил 2 см (рис. 6).

При гистологическом исследовании фрагмента конечной нити обращали на себя внимание истончение и склеротические изменения, повреждение

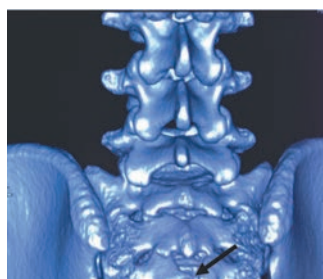
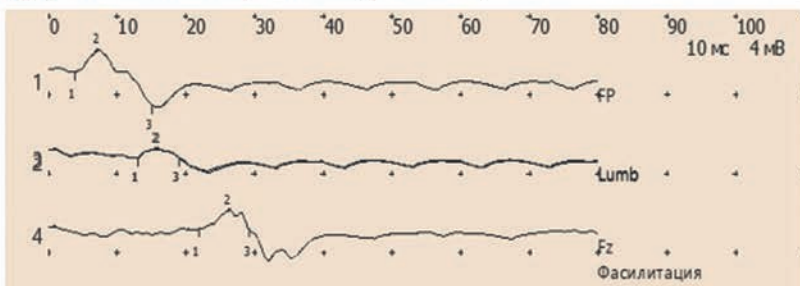


Рис. 1. МСКТ пояснично-крестцового отдела позвоночника, spina bifida posterior S3 — указано стрелкой.
Fig. 1. Lumbar and sacral MRI revealed spina bifida posterior of S3 (arrow).



Рис. 2. МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника: T2, T1, ДВИ-трактография.
Fig. 2. Lumbar and sacral MRI: T2, T1, DWI tractography.

pp., Tibialis anterior, Peroneus, L4 L5 S1



N	Зона стимуляции	Точка стимуляции	Латентность, мс	Амплитуда, мВ	Длительность, мс	Площадь, мВ×мс	Время проведения, мс
2	Сегментарная	Lumb	12,9	0,429	5,95	1,7	9,2
1	Периферическая	FP	3,7	1,16	11,2	6,4	

Рис. 3. Параметры вызванных двигательных потенциалов с m. tibialis anterior dexter.
Fig. 3. The characteristics of motor evoked potentials from m. tibialis anterior dexter.

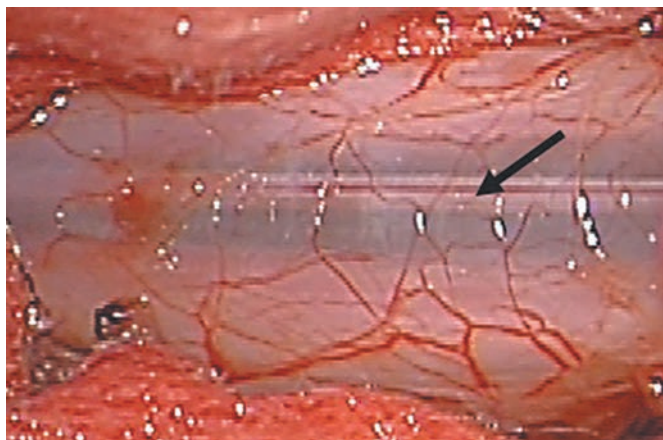


Рис. 4. Конечная нить прилегает к истонченной твердой мозговой оболочке — указано стрелкой.
Fig. 4. Terminal filament borders on thinned dura mater (arrow).

эластических волокон с деформацией, распрямлением, фрагментацией и очаговым опустошением. Кроме того, выявлено диффузное окрашивание альциановым синим стромального компонента конечной нити, что может свидетельствовать о дезорганизации соединительной ткани (рис. 7).

В послеоперационном периоде отмечен регресс двигательных, чувствительных и тазовых расстройств. Увеличилась амплитуда моторных ответов при регистрации ВДП, D>S (рис. 8).

При контрольном уродинамическом обследовании (цистоманометрия, профилометрия уретры, урофлоуметрия) патологии не выявлено.

Обсуждение

Известно, что при сгибании туловища высота позвоночного канала увеличивается более чем на

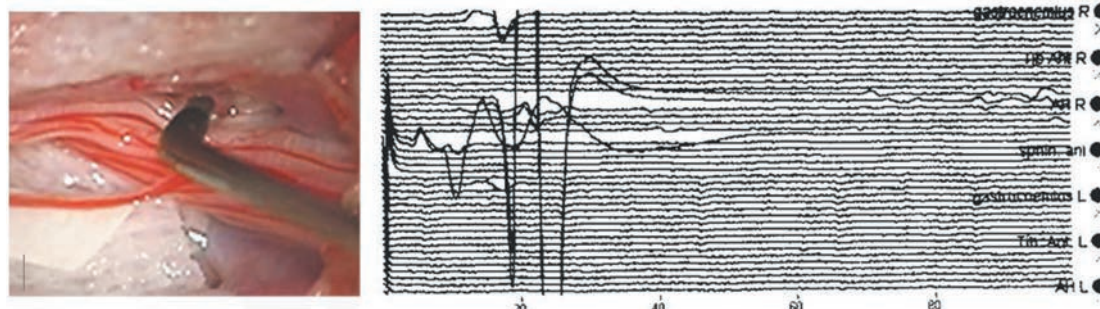


Рис. 5. Монопольная электростимуляция корешка, двигательный ответ с мышцы-мишени.
Fig. 5. Monopolar electrostimulation of radix, motor answer from target muscle.



Рис. 6. Электростимуляционная идентификация и пересечение конечной нити.
Fig. 6. Electrostimulative identification and cutting the terminal filament.

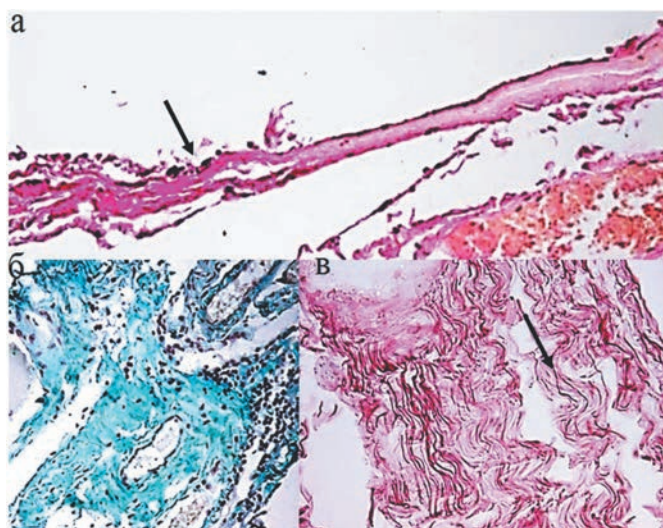
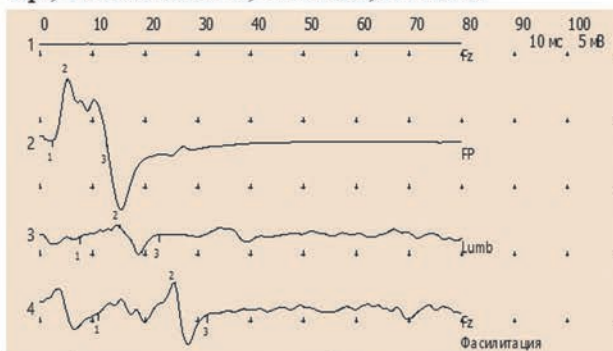


Рис. 7. Микрофотография конечной нити при скрытом фиксированном спинном мозге: а — истончение и склероз конечной нити, ув. 20. Окраска по Ван Гизону; б — дезорганизация соединительной ткани в виде мукоидного набухания стромы, реактивная пролиферация арахноидэндотелия, ув. 20. Окраска альциановым синим; в — неравномерное распределение эластических волокон, их выпрямление, фрагментация, ув. 40. Окраска орсеином.

Fig. 7. Photomicrography of terminal filament of patient with occult tethered cord syndrome: а — thinning and sclerosis of terminal filament, zoom.20. van Gieson's stain; б — disorganization of connective tissue — mucoid degeneration of stroma and reactive proliferation of arachnoidendothelium, zoom 20. alcian blue stain; в — nonuniform distribution of elastic fibers with their straightening and fragmentation, zoom 40. Orcein stain.

пр., Tibialis anterior, Peroneus, L4 L5 S1



N	Зона стимуляции	Точка стимуляции	Латентность, мс	Амплитуда, мВ	Длительность, мс	Площадь, мВ×мс	Время проведения, мс
2	Сегментарная	Lumb	7,54	0,877	14,9	6,9	5,14
1	Периферическая	FP	2,4	4,56	10,3	25,5	

Рис. 8. Параметры вызванных двигательных потенциалов с m. tibialis anterior dexter после операции.

Fig. 8. The characteristics of motor evoked potentials from m. tibialis anterior dexter after operation.

7% [23]. При этом амортизация продольного натяжения, передаваемого на спинной мозг, обеспечивается за счет эластических свойств конечной нити, обусловленных сбалансированным сочетанием эластиновых, коллагеновых и ретикулярных волокон. Возможными причинами развития скрытого СФСМ считаются инвазия жировой ткани, склерозирование и дистрофические изменения конечной нити, в результате чего снижается ее эластичность [12]. При недостаточной компенсации растяжения оно передается каудальным отделам спинного мозга, а при дальнейшем нарастании вертебро-медуллярной диспропорции распространяется на выше расположенные миеломы [24]. Формирование развернутой клинической картины СФСМ может занимать длительный период времени и носить ремиттирующий характер на фоне периодов замедления роста и рефлекторного ограничения двигательной активности [1, 2, 29], при этом часть из сформировавшегося двигательного, чувствительного или ортопедического дефицита может оказаться необратимой [10, 28]. Очевидно, что ранняя диагностика и своевременная коррекция скрытого СФСМ оказывают существенное влияние на прогноз заболевания. Учитывая трудности в интроскопической диагностике этой патологии, было предложено оценивать такие ее косвенные признаки, как дорсальное смещение конечной нити при проведении МРТ в положении пациента лежа на животе [15, 27], а также снижение подвижности спинного мозга по данным функциональной МРТ [8]. По ряду причин эти методы обследования не получили широкого применения. В той же степени недостаточно освещена диагностическая ценность нейрофизиологических и уродинамических методов обследования [11, 14].

Принято считать, что в основе патогенеза клинических проявлений СФСМ лежат обратимые

дисциркуляторно-ишемические метаболические нарушения в тканях спинного мозга [17, 29]. О функциональном характере выявляемых в нашем наблюдении при регистрации ВДП с нижних конечностей нарушений проведения по кортикоспинальному тракту косвенно свидетельствует сохранность проводников спинного мозга по данным МРТ-трактографии (см. рис. 3). Определяемое интраоперационно истончение твердой мозговой оболочки на уровне прилегания натянутой конечной нити (см. рис. 4) может рассматриваться в качестве интраоперационного морфометрического критерия диагностики скрытого СФСМ [25]. Обнаруженные изменения микроструктуры конечной нити, в частности обеднение и деформация эластических волокон, склерозирование и мукоидное набухание, а также имеющиеся у ребенка диспластические изменения тазобедренных суставов не исключают возможную роль системного процесса — дисплазии соединительной ткани в развитии скрытого СФСМ.

Таким образом, следует признать, что диагностика скрытого СФСМ основывается на оценке данных неврологического осмотра, анализе динамики клинических проявлений и эффективности консервативных методов лечения. При сочетании стойких к медикаментозной терапии тазовых расстройств и/или болевого синдрома, а также при наличии характерных неврологических и ортопедических нарушений у детей со spina bifida occulta, на наш взгляд, существуют показания к иссечению конечной нити, даже при нормальном расположении каудальных отделов спинного мозга. Для уточнения показаний к операции в алгоритм обследования, вероятно, целесообразно включать нейрофизиологическое и уродинамическое обследование, а также МРТ исследование в положении пациента лежа на животе и МРТ-трактографию спинного мозга.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сысоев Кирилл Владимирович — врач-нейрохирург, аспирант отделения нейрохирургии детского возраста РНХИ им. проф. А.Л. Поленова, e-mail: sysoev.rnsi@mail.ru.

Жарова Елена Николаевна — к.м.н., зав. отделением реабилитации РНХИ им. проф. А.Л. Поленова

Забродская Юлия Михайловна — д.м.н., зав. лабораторией патологической анатомии РНХИ им. проф. А.Л. Поленова

Хачатрян Вильям Арамович — проф., руководитель отделения нейрохирургии детского возраста РНХИ им. проф. А.Л. Поленова.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Еликбаев Г.М., Ким А.В., Самочерных К.А. Современный взгляд на проблему диагностики и лечения синдрома фиксированного спинного мозга у детей (литературный обзор). *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2008; 3: 72 — 77
- 2 Хачатрян В.А., Сысоев К.В. Об актуальных проблемах патогенеза, диагностики и лечения синдрома фиксированного спинного мозга (аналитический обзор). *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2014; 3: 76—87.
- 3 Albright AL. Occult tight filum terminale syndrome: results of surgical untethering. *Pediatr Neurosurg* 2005; 41:58.
- 4 Bademci G, Saygun M, Batay F, Cakmak A, Basar H, Anbarci H, Unal B. Prevalence of primary tethered cord syndrome associated with occult spinal dysraphism in primary school children in Turkey. *Pediatr Neurosurg*. 2006; 42: 4—13.
- 5 Drake JM. Occult tethered cord syndrome: not an indication for surgery. *J Neurosurg*. 2006; 104 (5 Suppl Pediatrics): 305—308.
- 6 Fabiano AJ, Khan MF, Rozzelle CJ, Li V. Preoperative predictors for improvement after surgical untethering in occult tight filum terminale syndrome. *Pediatr Neurosurg*. 2009; 45: 256—261.
- 7 Firoozi F, Batniji R, Aslan AR, Longhurst PA, Kogan BA. Resolution of diurnal incontinence and nocturnal enuresis after adenotonsillectomy in children. *J Urol*. 2006; 175: 1885—1888.
- 8 Johnson DL, Levy LM. Predicting outcome in the tethered cord syndrome: a study of cord motion. *Pediatr Neurosurg*. 1995; 22: 115—119.
- 9 Khoury AE, Hendrick EB, McLorie GA, Kulkarni A, Churchill BM. Occult spinal dysraphism: Clinical and urodynamic outcome after division of the filum terminale. *J Urol*. 1990; 144: 426—429.
- 10 Komagata M, Endo K, Nishiyama M, Ikegami H, Imakiire A. Management of tight filum terminale. *Minim Invasive Neurosurg*. 2004; 47: 49—53.
- 11 Lavalley LT, Leonard MP, Dubois C, Guerra LA. Urodynamic testing is a useful tool in the management of children with cutaneous stigmata of occult spinal dysraphism? *J Urol*. 2013; 189: 678—683.
- 12 Liu FY, Li JF, Guan X, Luo XF, Wang ZL, Dang QH. SEM study on filum terminale with tethered cord syndrome. *Childs Nerv Syst*. 2011; 27: 2141—2144.
- 13 Metcalfe PD, Luerksen TG, King SJ, Kaefer M, Meldrum KK, Cain MP, Rink RC, Casale AJ. Treatment of the occult tethered spinal cord for neuropathic bladder: results of sectioning the filum terminale. *J Urol*. 2006; 176: 1826—1829, discussion 1830.
- 14 Meyrat BJ, Tercier S, Lutz N, Rilliet B, Forcada-Guex M, Vernet O. Introduction of a urodynamic score to detect pre and postoperative neurological deficits in children with a primary tethered cord. *Childs Nerv Syst*. 2003; 19: 716—721.
- 15 Nakanishi K, Tanaka N, Kamei N, Nakamae T, Izumi B, Ohta R, Fujioka Y, Ochi M. Use of prone position magnetic resonance imaging for detecting the terminal filum in patients with occult tethered cord syndrome. *J Neurosurg Spine*. 2013; 18: 76—84.

- 16 Nazar GB, Casale AJ, Roberts JG, Linden RD. Occult filum terminale syndrome. *Pediatr Neurosurg*. 1995; 23: 228—235.
- 17 Schneider SJ, Rosenthal AD, Greenberg BM, Danto J. A preliminary report on the use of laser-Doppler flowmetry during tethered spinal cord release. *Neurosurgery*. 1993; 32: 214—217.
- 18 Selcuki M, Unlu A, Ugur HC, Soygun T, Arikan N, Selcuki D. Patients with urinary incontinence often benefit from surgical detethering of tight filum terminale. *Childs Nerv Syst*. 2000; 16: 150—154, discussion 155.
- 19 Selcuki MV, Atanasever S, Inan S, Erdemli E, Bgadatoglu C, Polat A. Is a filum terminale with a normal appearance really normal? *Childs Nerv Syst*. 2003; 19: 2—10.
- 20 Selden NR, Nixon RR, Skoog SR, Lashley DB. Minimal tethered cord syndrome associated with thickening of the terminal filum. *J Neurosurg*. 2006; 105 (3 Suppl): 214—218.
- 21 Steinbok P, Garton HJ, Gupta N. Occult tethered cord syndrome: a survey of practice patterns. *J Neurosurg*. 2006; 104: 309—313.
- 22 Steinbok P, Kariyattil R, MacNeily AE. Comparison of section of filum terminale and non-neurosurgical management for urinary incontinence in patients with normal conus position and possible occult tethered cord syndrome. *Neurosurgery*. 2007; 61: 550—555.
- 23 Tani S, Yamada S, Fuse T, Nakamura N. Changes in lumbosacral canal length during flexion and extension—dynamic effect on the elongated spinal cord in the tethered spinal cord. *No To Shinkei*. 1991; 43: 1121—1125.
- 24 Tani S, Yamada S, Knighton R. Extensibility of the lumbar and sacral spinal cord. *Pathophysiology of tethered spinal cord*. *J Neurosurg*. 1987; 66: 116—123.
- 25 Warder DE, Oakes WJ. Tethered cord syndrome and the conus in a normal position. *Neurosurgery*. 1993; 33: 374—378.
- 26 Wehby MC, O'Hollaren PS, Abtin K, Hume JL, Richards BJ. Occult tight filum terminale syndrome: results of surgical untethering. *Pediatr Neurosurg*. 2004; 40: 51—57, discussion 58.
- 27 Witkamp TD, Vandertop WP, Beek FJ, Notermans NC, Gooskens RH, van Waes PF. Medullary cone movement in subjects with a normal spinal cord and in patients with a tethered spinal cord. *Radiology*. 2001; 220: 208—212.
- 28 Yamada S, Schultz RL, Mandybur GT, Liwnicz B, Adey WR, Thompson B. Axonal degeneration after sudden forceful traction of the spinal cord. Is it the cause of permanent neurological deficit? *J Neurosurg*. 2003; 98: 681, (Abstract)
- 29 Yamada S, Won DJ, Yamada SM. Pathophysiology of tethered cord syndrome: correlation with symptomatology. *Neurosurg Focus*. 2004; 16(2): E6

REFERENCES

1. Еликбаев Г.М., Ким А.В., Самочерных К.А. The modern view on the problem of diagnosis and treatment of the tethered spinal cord syndrome in children (literature review). *Pediatric Neurosurgery and Neurology*. 2008; 3: 72 — 77 (in Russian)
2. Khachatryan V.A., Sysoev K.V. Current issues of pathogenesis, diagnostics and treatment of the tethered spinal cord syndrome (analytical review). *Pediatric Neurosurgery and Neurology*. 2014; 3: 76—87. (in Russian)
3. Albright AL. Occult tight filum terminale syndrome: results of surgical untethering. *Pediatr Neurosurg* 2005; 41:58.
4. Bademci G, Saygun M, Batay F, Cakmak A, Basar H, Anbarci H, Unal B. Prevalence of primary tethered cord syndrome associated with occult spinal dysraphism in primary school children in Turkey. *Pediatr Neurosurg*. 2006; 42: 4—13.
5. Drake JM. Occult tethered cord syndrome: not an indication for surgery. *J Neurosurg*. 2006; 104 (5 Suppl Pediatrics): 305—308.
6. Fabiano AJ, Khan MF, Rozzelle CJ, Li V. Preoperative predictors for improvement after surgical untethering in occult tight filum terminale syndrome. *Pediatr Neurosurg*. 2009; 45: 256—261.
7. Firoozi F, Batniji R, Aslan AR, Longhurst PA, Kogan BA. Resolution of diurnal incontinence and nocturnal enuresis after adenotonsillectomy in children. *J Urol*. 2006; 175: 1885—1888.

8. Johnson DL, Levy LM. Predicting outcome in the tethered cord syndrome: a study of cord motion. *Pediatr Neurosurg.* 1995; 22: 115–119.
9. Khoury AE, Hendrick EB, McLorie GA, Kulkarni A, Churchill BM. Occult spinal dysraphism: Clinical and urodynamic outcome after division of the filum terminale. *J Urol.* 1990; 144: 426–429.
10. Komagata M, Endo K, Nishiyama M, Ikegami H, Imakiire A. Management of tight filum terminale. *Minim Invasive Neurosurg.* 2004; 47: 49–53.
11. Lavallee LT, Leonard MP, Dubois C, Guerra LA. Urodynamic testing is it a useful tool in the management of children with cutaneous stigmata of occult spinal dysraphism? *J Urol.* 2013; 189: 678–683.
12. Liu FY, Li JF, Guan X, Luo XF, Wang ZL, Dang QH. SEM study on filum terminale with tethered cord syndrome. *Childs Nerv Syst.* 2011; 27: 2141–2144.
13. Metcalfe PD, Luerssen TG, King SJ, Kaefer M, Meldrum KK, Cain MP, Rink RC, Casale AJ. Treatment of the occult tethered spinal cord for neuropathic bladder: results of sectioning the filum terminale. *J Urol.* 2006; 176: 1826–1829, discussion 1830.
14. Meyrat BJ, Tercier S, Lutz N, Rilliet B, Forcada-Guex M, Vernet O. Introduction of a urodynamic score to detect pre and postoperative neurological deficits in children with a primary tethered cord. *Childs Nerv Syst.* 2003; 19: 716–721.
15. Nakanishi K, Tanaka N, Kamei N, Nakamae T, Izumi B, Ohta R, Fujioka Y, Ochi M. Use of prone position magnetic resonance imaging for detecting the terminal filum in patients with occult tethered cord syndrome. *J Neurosurg Spine.* 2013; 18: 76–84.
16. Nazar GB, Casale AJ, Roberts JG, Linden RD. Occult filum terminale syndrome. *Pediatr Neurosurg.* 1995; 23: 228–235.
17. Schneider SJ, Rosenthal AD, Greenberg BM, Danto J. A preliminary report on the use of laser-Doppler flowmetry during tethered spinal cord release. *Neurosurgery.* 1993; 32: 214–217.
18. Selcuki M, Unlu A, Ugur HC, Soygun T, Arikian N, Selcuki D. Patients with urinary incontinence often benefit from surgical detethering of tight filum terminale. *Childs Nerv Syst.* 2000; 16: 150–154, discussion 155.
19. Selcuki MV, Atanasev S, Inan S, Erdemli E, Bgadatoglu C, Polat A. Is a filum terminale with a normal appearance really normal? *Childs Nerv Syst.* 2003; 19: 2–10.
20. Selden NR, Nixon RR, Skoog SR, Lashley DB. Minimal tethered cord syndrome associated with thickening of the terminal filum. *J Neurosurg.* 2006; 105 (3 Suppl): 214–218.
21. Steinbok P, Garton HJ, Gupta N. Occult tethered cord syndrome: a survey of practice patterns. *J Neurosurg.* 2006; 104: 309–313.
22. Steinbok P, Kariyattil R, MacNeily AE. Comparison of section of filum terminale and non-neurosurgical management for urinary incontinence in patients with normal conus position and possible occult tethered cord syndrome. *Neurosurgery.* 2007; 61: 550–555.
23. Tani S, Yamada S, Fuse T, Nakamura N. Changes in lumbosacral canal length during flexion and extension—dynamic effect on the elongated spinal cord in the tethered spinal cord. *No To Shinkei.* 1991; 43: 1121–1125.
24. Tani S, Yamada S, Knighton R. Extensibility of the lumbar and sacral spinal cord. *Pathophysiology of tethered spinal cord.* *J Neurosurg.* 1987; 66: 116–123.
25. Warder DE, Oakes WJ. Tethered cord syndrome and the conus in a normal position. *Neurosurgery.* 1993; 33: 374–378.
26. Wehby MC, O'Hollaren PS, Abtin K, Hume JL, Richards BJ. Occult tight filum terminale syndrome: results of surgical untethering. *Pediatr Neurosurg.* 2004; 40: 51–57, discussion 58.
27. Witkamp TD, Vandertop WP, Beek FJ, Notermans NC, Gooskens RH, van Waes PF. Medullary cone movement in subjects with a normal spinal cord and in patients with a tethered spinal cord. *Radiology.* 2001; 220: 208–212.
28. Yamada S, Schultz RL, Mandylor GT, Liwnicz B, Adey WR, Thompson B. Axonal degeneration after sudden forceful traction of the spinal cord. Is it the cause of permanent neurological deficit? *J Neurosurg.* 2003; 98: 681, (Abstract)
29. Yamada S, Won DJ, Yamada SM. Pathophysiology of tethered cord syndrome: correlation with symptomatology. *Neurosurg Focus.* 2004; 16(2): E6