گزارش سه مورد مانیتورینگ چند جانبه حسی و حرکتی در جراحی اصلاحی ستون مهره‌ای در مبتلایان به کیفواسکولیوز ایدیوپاتیک

دکتر علیرضا جمشیدی فرد*، دکتر محسن دالوندی*

چکیده:

جراحی اصلاحی کیفواسکولیوز ممکن است به صدمات نخاعی و ضایعات عصبی منجر شود. با روش مانیتورینگ چند جانبه نوروفیزیولوژیک حین جراحی (MIOM) می‌توان ضایعات احتمالی ریشه‌های عصبی و نخاع را هنگام عمل مشخص و از پیدایش آن جلوگیری کرد. سه مورد جراحی اصلاح کیفواسکولیوز، برای اولین بار در کشور انجام شد. در این بیماران پتانسیل‌های برانگیخته حسی پیکری (SSEPs)، تحریک الکتریکی قشرحرکتی از روی جمجمه (tceMEPs)، پتانسیل‌های برانگیخته قشری نخاعی (csEPs)، امواج حرکتی D از نخاع (D motor waves)، الکترومیوگرافی (EMG) دائمی یا پس از تحریک، در مراحل مختلف جراحی و حسب لزوم انجام می‌شد. پس از عمل، هیچ یک از سه بیمار تغییر معنی‌داری در پاسخ‌های SSEP یا رادیکولوپاتی‌هایی جدا از آنچه قبل از عمل مشخص شده بود، نداشتند. در این سه جراحی، در ۷۸/۳٪ از تحریکات tceMEPs پاسخ عضلانی پایدار ثبت شد. از نظر بیهوشی، پروپوفول یا ترکیب پروپوفول، کتامین و نارکوتیک برای داشتن پاسخ‌های حرکتی پایدار از عضلات مناسب هستند. پیشنهاد می‌شود از روش MIOM برای جراحی‌های اصلاحی ستون فقرات در بیماران اسکولیوز استفاده شود. این روش‌ها عملاً احتمال پیدایش آسیب‌های نورولوژیک را کم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کیفواسکولیوز ایدیوپاتیک، جراحی اصلاحی ستون فقرات

زمینه و هدف

جراحی اصلاحی کیفواسکولیوز ممکن است به صدمات نخاعی و ضایعات عصبی منجر شود. قرار دادن پیچ در داخل پدیکول به خودی خود روشی چالش‌برانگیز است و نفوذ پیچ به داخل سوراخ بین مهره‌ای یا کانال نخاعی می‌تواند به ضایعه‌ای بزرگ و ماندگار منجر شود. امکان نفوذ به سوراخ بین مهره‌ای در ستون فقرات اسکولیوتیک با مهره‌هایی غیرطبیعی و پدیکول‌های غیر متعارف و غیر همسان و در مهره‌ای به طرفین چرخیده بسیار بیشتر می‌شود و استفاده از مشخصه‌های سطحی آناتومیک برای تعیین ویژگی هر پدیکول دشوارتر است. با روش مانیتورینگ چندجانبه نوروفیزیولوژیک حین جراحی [Multimodal IntraOperative Monitoring - (MIOM)] می‌توان ضایعات احتمالی ریشه‌های عصبی و نخاع را هنگام عمل مشخص و از پیدایش آن جلوگیری کرد. پتانسیل‌های برانگیخته حسی [Somatosensory Evoked Potentials-(SSEPs)]

* استادیار گروه جراحی مغز و اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی اراک، بیمارستان ولی عصر(عج) اراک

تاریخ وصول: ۱۳۹۱/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۱/۲۸

نویسندهٔ پاسخگو: دکتر علیرضا جمشیدی فرد

تلفن: ۲۲۳۰۵۱۲-۰۸۶۱

E-mail: dr.jamshidifard@arakmu.ac.ir

از ۱۹۷۰ به منظور مانیتورینگ حین جراحی به کار می‌رود.[۱] اما با گسترش کاربردهای آن، تقریباً مشخص شده که SSEPs به تنهایی برای ارزیابی راه‌های حرکتی نزولی کارایی ندارد.[۲] در دهه ۱۹۸۰ پتانسیل‌های برانگیخته حرکتی tceMEPs در مانیتورینگ جراحی اسکولیوز مطرح شد[۳] و روش تحریک و ثبت مستقیم از نخاع - [Spinal Cord Evoked Potentials (SCEPs)] برای جلوگیری از صدمات حرکتی پیشنهاد شد.[۴] با پیشرفت الکترونیک امکان تحریکات الکتریکی پیاپی میسر شده است. داروهای بیهوشی داخل وریدی مثل پروپوفول و اوپوئیدهای با اثر کوتاه مدت یا کتامین نیز معرفی شده‌اند.[۵] تاکنون تجربیات و روش‌های گوناگونی برای مانیتورینگ چندجانبه راه‌های حسی و حرکتی و ارزیابی ریشه‌های نخاعی در جراحی اصلاحی کیفواسکولیوز مطرح و آزمون شده است.

با فراهم شدن تجهیزات لازم برای این گونه بررسی‌ها در کشور، از سال ۱۳۸۷ تاکنون از این روش برای ارزیابی راه‌های حسی - حرکتی نخاع و ریشه‌های نخاعی در حین جراحی‌هایی که برای فیکس کردن مهره‌ها، پیچ پدیکولار (Traspedicular Screw) به کار رفته است، در بیمارستان ولیعصر اراک به صورت روتین استفاده می‌شود (تصویر ۱).

تصویر ۱ - وسایل MIOM و نحوه قرارگیری آنها در اتاق عمل

معرفی بیماران

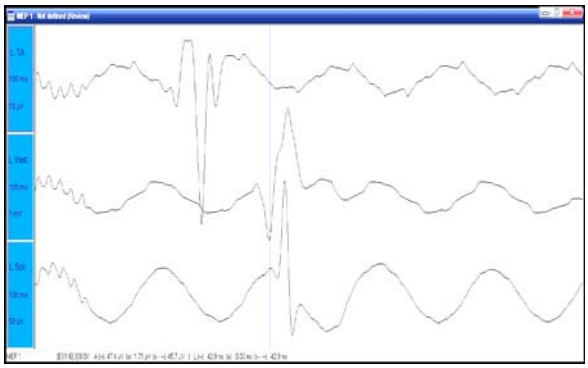
جراحی اصلاحی کیفواسکولیوز در سه مورد نوجوان (یک پسر ۱۶ ساله و دو دختر ۱۷ و ۱۴ ساله) پس از گرفتن شرح حال و ارزیابی‌های فیزیکی قبل از جراحی و با کسب رضایت آگاهانه از ولی بیماران، صورت گرفت. بی‌هوشی بیمار با پرپوفول، رمیفنتانیل و کتامین با هماهنگی متخصص بیهوشی گروه حفظ شد و هیچ گونه شل‌کننده یا بلوک‌کننده صفحه عصب ـ عضله داده نشد. در هر سه بیمار با مواجهه خلفی ستون فقرات باز و مهره‌ها در دسترس قرار گرفت و از روش‌های استاندارد فیکس کردن با میله و پیچ پدیکولار متعدد استفاده شد. در این سه مورد جمعاً ۳۹ پدیکول سوراخ و توام با روش‌های گوناگون مانیتورینگ پیچ‌گذاری شد (تصویر ۲).

تصویر ۲ ـ اصلاح قوس‌ها و روش پیچ‌گذاری در پدیکول

تمامی روش‌های مانیتورینگ در این گزارش با استفاده از دستگاه مانیتورینگ چند جانبه الکتروفیزیولوژیک ۴۰ کاناله (Nicolet Endeavor, VIASYS Healthcare, 2005, USA) انجام شد.

در این بیماران پتانسیل‌های برانگیخته حسی پیکری (SSEPs)، تحریک الکتریکی قشر حرکتی از روی جمجمه [Transcranial Electrical Motor Evoked Potentials – (tceMEPs)]، پتانسیل‌های برانگیخته قشری نخاعی [Corticospinal Evoked Potentials – (CSEPs)]، امواج حرکتی D از نخاع (D Motor Waves)، الکترومیوگرافی (EMG) دائمی یا پس از تحریک، در مراحل مختلف جراحی و برحسب لزوم انجام شد.

برای برانگیختن (tceMEPs) و ثبت [Compound Muscle Action Potentials – (CMAPs)] از عضلات واستوس داخلی، تیبیالیس قدامی و گاستروکنمیوس در هر دو اندام‌های تحتانی، یک سری ۳ تا ۶ تایی تحریکات پیاپی با فواصل ۲ mSec و طول پالس ۵۰۰ -۷۰۰ µSec و شدت ۴۰۰ V – ۱۵۰، استفاده شد (تصویر ۳).

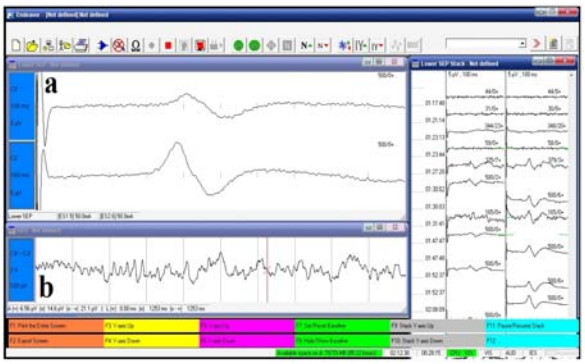


تصویر ۳- CMAPs ثبت شده از اندام تحتانی با روش tceMEPs

تحریکات از طریق دو الکترود Corkscrew بسته شده در نقـاط Cz-Fz روی پوست جمجمه اعمـال شدند. بر اثر تحـریکات خصـوصاً شدیدتر از ۲۰۰ V، علاوه بر مـوج اولیه ثبت شده از راه‌های نـزولی حـرکتی، امـواج حرکتی D از نخاع (D Motor Waves)، با زمان تأخیر تقریباً ۲ برابر پاسخ اولیه، به ویژه در مهره‌های گردنی و مهره‌های پروگزیمال توراسیک قابل ثبت و بررسی است و ظهور و فقدان آن نسبت به شدت تحریکات الکتریکی بر روی جمجمه و تغییرات در روش و عمق بیهوشی دارد.

در روش csEPs، به کمک الکترودهای ۱۲ میلیمتری تک قطبی اپیدورال که بین بقایای لیگامان‌های بین خاری کاشته شد، امواج آوران ناشی از تحریک تیبیال داخلی از روی ستون خلفی و امواج وابران حرکتی D ناشی از tceMEPs در مواردی که امکان الکترود گذاری بود، ثبت شد. پاسخ‌های CMAP عضلات نیز با دو الکترود Golden Cup با سطح $1Cm^2$ در همه موارد لازم استفاده شد. موقعیت هر یک از پیچ‌های پدیکولار در حین جراحی با روش‌های استاندارد رادیوگرافی قدامی خلفی و جانبی ارزیابی شـد و در مـورد مهره‌های با چرخش، قبل و بعد از زدن سوراخ پدیکول و بعد از پیچ‌گذاری با تحریک مستقیم ریشه عصبی مربوطه یا تحریک خود پیچ و ثبت EMG از میـوتوم مـرتبط، علاوه بر SSEPs دائمـی، مانیتورینگ انجام شد.

پتانسیل‌های برانگیخته حسی پیکری (SSEPs) اولین روشی بوده‌اند که در مانیتـورینگ جراحی‌های اصلاحی ستون فقـرات در اسکولیـوز گـزارش شده‌اند.[۶] لااقل در مواجهه خلفی - قدامی مسیر آوران‌های ستون خلفی لمینسکوسی بیشتر از سایر راه‌های نخاعی در معرض آسیب است و در این روش معمولاً با تحریک عصب تیبیال داخلی، پشت قوزک داخلی پا در انـدام تحتـانی و عصب مدیان در مچ دست در اندام فـوقانی، ثبت دائمی از چند ناحیه در مسیر تا سطح جمجمه و روی قشـر حسی، پشت شیار مرکزی مغز، انجام می‌شود (تصویر ۴).



تصویر ۴ - (a) پاسخ ثبت شده از پوست جمجمه بر اثر تحریک اعصاب تیبیال داخلی در مچ پاها (b) امواج الکتروانسفالوگرافی بیمار

وقتی عصب تیبیال تحریک می‌شود، می‌توان پاسخ برانگیخته را از حفره پوپلیته آل، مهره‌های گردنی و روی جمجمه انجام داد و در آنجا که عصب مدیان تحریک شود، از شبکه بازویی در نقطه ارب، مهره‌های ۴ یا ۵ گردنی و روی جمجمه می‌توان ثبت‌ها را به خوبی انجام و بر حسب موضع جراحی مسیرهای مرتبط را مانیتور کرد. پاسخ‌ها معمولاً میانگین حداقل ۱۰۰ تحریک الکتریکی است که می‌توانند هر چند دقیقه یک بار تکرار شوند.

برای بررسی SSEPs تحریکات الکتریکی با زمان 0.5 mS و شدت ۲۰ mA و تکرار ۴ Hz روی اعصاب مدیان یا تیبیال و با استفاده از الکترودهای سطحی به مساحت $2 Cm^2$ استفاده می‌شد و از الکترودهای Corkscrew بر روی 'Cz یا C3-C4 و Fz در سیستم الکترودگذاری استاندارد ۲۰-۱۰ استفاده شد.

در این سه جراحی، در اکثر موارد از تحریکات الکتریکی مغز [Transcranial Electrical Stimulation (TES)] پاسخ عضلانی واضح ثبت شد (برای ثبت CMAPs حداقل سه تکانه پیاپی ۵۰۰ µSec با شدت ۱۷۸ V و حداکثر پنج تکانه پیاپی ۷۰۰ µSec با شدت ۳۱۵ V).

بطور کلی اگر آمپلی تود پاسخ‌های tceMEPs یا SSEPs بیش از ۵۰٪ کاهش می‌یافت و یا زمان تأخیر آنها بیش از ۱۰٪ افزایش نسبت به ثبت اولیه نشان می‌داد و یا در هنگام پیچ‌گذاری‌ها و هر گونه ثبت از عضله مرتبط با عصب تحریک

شده‌اش، کاهش بلندی پاسخ یا تغییر شکل CMAP به امواج پلی فازیک ناهمزمان، پاتولوژیک در نظر گرفته می‌شد. افزایش شدت تحریک لازم نیز برای برانگیختن هر نوع پاسخ حرکتی از سطح جمجمه در روش‌های MEPs معنی‌دار تلقی می‌شد.

فیلتراسیون برای باند عبور ۲۰ تا KHz ۲۰ و زمان mS ۱۰۰ و میانگین ۵۰۰ پاسخ استفاده می‌شد. این روش و نتایج آن با سایر مطالعات در این روش مانیتورینگ مطابقت داشت.[۸] معمولاً در بررسی‌های tceMEPs و csEPs باند عبور امواج بین ۳۰ تا ۳۰۰۰ Hz تنظیم می‌شد.

پتانسیل‌های برانگیخته حرکتی نخاعی با تحریک اپیدورال در سیگمان‌های تحتانی گردنی یا فوقانی توراسیک برحسب مورد انجام و از عضلات تیبیالیس قدامی یا سولئوس در اندام تحتانی همان طرف، پاسخ عضله ثبت می‌شد. با استفاده از دو تحریک پیاپی (300 µS, 30-35 mV, 1 mS interval) با کمک پدیده جمع زمانی (Temporal Summation) و قرار دادن سوزن های کوتاه (۱۲ میلی‌متری) زیر جلدی همیشه پاسخ الکترومیوگرافی بلند و پایداری قابل ثبت است.[۹]

الکترومیوگرافی (EMG) دائمی یا پس از تحریک دیواره پدیکول یا در مواردی پیچ پدیکولار قبل از اینکه در جای خود کاملاً محکم شده باشد، در مراحل مختلف جراحی و حسب لزوم انجام شد. ارزیابی الکتروفیزیولوژیک هر سوراخ پیچ قبل از وارد کردن پیچ با استفاده از الکترومیوگرافی عضلات پاراورتبرال همان سیگمان به آسانی میسر بود. تحریک بوسیله یک پروب محرک داخل سوراخ زده شده و ثبت بوسیله سوزن زیر جلدی از عضلات پاراورتبرال یا بین دنده‌ای‌ها انجام می‌شد. معمولاً قضاوت بر اساس آستانه تحریک برای کمترین انقباض عضله است. این آستانه معمولاً حدود ۲۰ میلی‌آمپر است و پاسخ با شدت تحریک کمتر از ۱۱ میلی‌آمپر به منزله نفوذ مته به دیواره و مجاورت با ریشه نخاعی است.[۱۰] همچنین تغییر شکل پاسخ CMAP به امواجی پلی‌فازیک و ناهمزمان در هنگام محکم کردن پیچ‌گذاری‌ها، پاتولوژیک در نظر گرفته شد.

بحث

تکنیک‌های موفق برای یک مانیتورینگ چند جانبه حسی و حرکتی، برانگیختن پاسخ‌های حسی و حرکتی مستقیماً از طریق نخاع که در ۱۰۱۷ مورد به کار رفته است توسط همکاران دیگر نیز گزارش شده است.[۱۱] آنچه موجب گزارش این موارد شد انجام مانیتورینگ چند جانبه (MIOM) در این جراحی‌ها برای اولین بار در ایران بوده است در حالیکه سابقه جراحی اسکولیوزیس در کشور بیش از چهل سال است.

متداول شدن مانیتورینگ SSEPs در جراحی‌های ستون فقرات به تنهایی باعث شده که در بررسی وسیعی که انجمن تحقیقات اسکولیوز آمریکا (Scoliosis Research Society) و انجمن دفورمیتی‌های ستون فقرات اروپا (European Spinal Deformities Society) منتشر کرده‌اند، میزان صدمات حین جراحی را از ۴ -۰/۷ درصد به ۰/۵۵ درصد کاهش دهد.[۱۲]

از آغاز پیدایش تکنیک تحریک الکتریکی مغز امواج نزولی حرکتی در راه‌های کورتیکواسپینال برای مانیتورینگ مسیرهای حرکتی در جراحی اسکولیوز به کار رفته است.[۳] دو روش برای تحریک راه‌های حرکتی نزولی در این گونه جراحی‌ها ممکن است. اول، با تک پالس‌های تحریکی روی جمجمه در ناحیه کورتکس حرکتی پتانسیل‌های برانگیخته قشری نخاعی در تمام طول نخاع منتشر می‌شود که از ناحیه سرویکال با شدت بیشتر و تا یکی دو مهره اول لومبار به کمک الکترودهای دو قطبی اپیدورال قابل ثبت است. دوم با تحریک مستقیم قسمت خلفی جانبی نخاع (بیرون‌تر از لبه‌های ستون خلفی) در بالاترین نقطه باز شده در جراحی. در روش اخیر خصوصاً در شدت‌های تحریک بالاتر احتمال تحریک سایر راه‌ها حتی الیاف حسی میسر است.[۳] به نظر می‌رسد در روش اول تحریکات بر روی راه‌های حرکتی متمرکز باشد و امکان اندازه‌گیری سرعت هدایت در راه‌های حرکتی نزولی را نیز دارد.

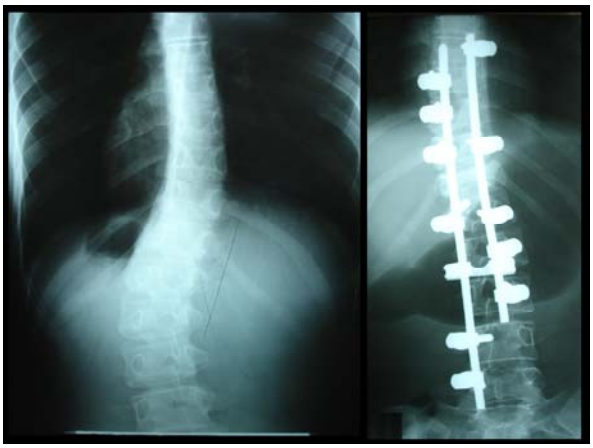
دراین سه مورد نیز پس از عمل، هیچ یک از سه بیمار تغییر معنی‌داری در پاسخ‌های SSEPs یا رادیکولوپاتی هایی جدا از آنچه قبل از عمل ذکر کرده بودند، نداشتند. ساعت اول جراحی، هنگامی که طول زیادی از ستون فقرات باز شده و در معرض هوای خنک اتاق عمل قرار می‌گرفت، به صورت دو طرفه، کاهش کمی در آمپلیتود و افزایش کمی در زمان تأخیر SSEPs ظاهر می‌شد، ولی شکل امواج تغییر نمی‌کرد. برعکس این تغییرات دوباره هنگام بخیه شدن عضلات پاراورتبرال و افزایش دمای نخاع در ساعات پایانی عمل مشاهده گردید.

از نظر بیهوشی، پروپوفول یا ترکیب پروپوفول - کتامین و نارکوتیک برای داشتن پاسخ‌های حرکتی پایدار و مکرر tceMEPs مناسب هستند. روش‌های ثبت یا تحریک کورتکس، به شدت به مصرف مواد بیهوشی استنشاقی حساس است. هالوتان و ایزوفلوران با غلظت‌های بالاتر از 0.5 MAC پاسخ‌های این روش و پتانسیل‌های برانگیخته حسی پیکری را از بین می‌برد.

گاز Nitrous Oxide نیز به همین طریق بیشترین تأثیر کاهنده آمپلیتود و افزایش زمان تأخیر را در پاسخ‌های tceMEPs و قدری خفیف‌تر در SSEPs دارد حتی اگر با پروپوفول استفاده شود.[۷]

قبل از انجام tceMEPs یا هنگام بررسی‌های مرتبط با EMG، از آتراکوریوم یا سایر شل کننده‌های عضلانی غیر دپلاریزان بایستی اجتناب شود. غلظت بالای شل کننده‌های دفع نشده، میانگین فشار خون (MAP) کمتر از ۷۰ mmHg می‌توانست به صورت دو طرفه موجب کاهش یا قطع پاسخ‌های حسی - حرکتی شوند.

در رادیوگرافی داخل اتاق عمل هیچ اشکالی در پیچ‌گذاری‌ها دیده نشد و پس از جراحی هیچ مشکل قابل طرح کلینیکی بوجود نیامده بود (تصویر ۵).



تصویر ۵- رادیوگرافی‌های یکی از بیماران پس از عمل

نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های MIOM برای جراحی‌های اصلاحی ستون فقرات در بیماران کیفواسکولیوز پیشنهاد می‌شود. با وجود عمر کوتاه این تکنیک‌ها، تقریباً همه جراحان فعال در ستون فقرات (ارتوپدها و جراحان مغز و اعصاب) به استفاده از این روش برای کاهش عوارض بعد از جراحی عقیده دارند.[۱۳] مانیتورینگ عملاً احتمال پیدایش آسیب‌های نورولوژیک را کم می‌کند و ضرورت انجام مکرر روش بیداری حین جراحی (Wake-up Test) را کاهش می‌دهد. تجربه ما در اعمال مذکور همچنین نشان داد که هنگام عمل با استفاده از پیچ‌های پدیکولار، بررسی SSEPs کافی نیست، زیرا عملاً فقط ریشه‌های حسی مرتبط با عصب محیطی تحریک شده را در نظر دارد. در این روش و موارد مشابه، اگر ضرورتی برای مانیتورینگ باشد، بایستی روش‌های با کارایی و حساسیت بیشتر به کار روند در ضمن، برای انجام مانیتورینگ‌های چند جانبه همکاری نزدیک تیم بیهوشی ضروری خواهد بود.

عوامل متعددی مثل میدان‌های وسیع الکترومغناطیسی در اتاق عمل، جابجایی وسایل و پرسنل، فشار خون و دمای بدن بیمار و نوع و غلظت مواد بیهوشی ممکن بر پاسخ‌ها اثر بگذارند و نبایستی هر گونه تغییر جزئی و گذرایی را به جراح منعکس کرد مگر آنکه بیش از یک بار ثبت شوند و حداقل در دو مودالیته در حال اجرا (دو روش مانیتورینگ بطور همزمان) دیده شوند که بایستی بلافاصله توسط مانیتوریست اعلام شود. لذا شناخت صحیح و تجربه وی شرط اصلی استفاده مفید از این تکنیک‌ها محسوب می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری متخصصین و کارشناسان گرانقدر گروه بیهوشی، پرسنل و کارشناسان محترم اتاق عمل بیمارستان ولیعصر (عج) اراک که در طول این جراحی‌های طولانی مدت نهایت همکاری را با ما در اجرای این روش‌ها داشتند سپاسگزاری می‌نماییم.

Abstract:

Multimodal Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Corrective Spine Surgery for Idiopathic Kyphoscoliosis, Our Early Methodological Expriences in 3 Cases

Jamshidi Fard. A. R. MD[*]*, Dalvandi M. MD*[*]

(Received: 14 May 2012 Accepted: 18 April 2013)

Surgical correction of kyphoscoliosis may result in spinal cord injury and neurologic deficits. Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) may allow for early detection and reversal of spinal cord and nerve roots potential injuries. In three consecutive kyphoscoliosis corrections, MIOM were performed. In all cases Somatosensory evoked potentials (SSEPs), transcranial electrical motor evoked potentials, corticospinal evoked potentials, spinal descending D motor waves, free run and/or stimulated electromyography were performed when required. None of the 3 patients had significant SSEPs changes or postoperative radiculopathies distinct from their preoperative presentations. In our cases, tceMEPs were obtained in 78.3% of the applied transcranial stimulations. Propofol or Propofol/Ketamine mixture plus narcotic is suitable to obtain stable reproducible tceMEPs. MIOM is recommended to be used in patients with scoliosis who undergo surgery for spinal deformity. Monitoring can practically reduce possibilities of neurologic deficit.

***Key Words:** Idiopathic Kyphoscoliosis, Corrective Spine Surgery*

[*]*Assistant Professor of Neurosurgery Surgery, Arak University of Medical Sciences and Health Services, Vali Asr Hospital, Arak, Iran*

References:

1. Nash CL, Brodkey JS, Croft TJ. A model for electrical monitoring of spinal cord function in scoliosis patients undergoing correction. J Bone Joint Surg Am 1972; (54A): 197-198.
2. Deletis V, Sala F. Intraoperative neuropphysiological monitoring during spine surgery: an update. Curr Opin Orthop 2004; 15: 154-158.
3. Boyd SG, Rothwell JC, Cowan JMA, Webb PJ, Morely T, Asselman P, Marseden CD. A method of monitoring function in corticospinal pathways during scoliosis surgery with a note on motor conduction velocities. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1986; 49: 251-257.
4. Kurokawa T. Spinal cord action potentials evoked by epidural stimulation of the spinal cord-a report of human and animal record. Jpn J Electroenceph Electromyogr 1972; 1: 64-66.
5. Zentner J. Motor evoked potential monitoring during neurosurgical operations on the spinal cord. Neurosurg Rev 1991; 14(1): 29-36.
6. Brown RH, Nash CL Jr. Current status of spinal cord monitoring. Spine 1979; 4(6): 466-470.
7. Pajewski TN, Arlet V, Phillips LH. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. Eur Spine J 2007; 16 (Suppl 2): S115-S129.
8. Hermanns H, Lipfert P, Meier S, et al. Cortical somatosensory-evoked potentials during spine surgery in patients with neuromuscular and idiopathic scoliosis under propofol-remifentanil anaesthesia. Br J Anaesth 2007; 98: 362-5.
9. Taylor BA, Fennelly ME, Taylor A, Farrell J. Temporal summation-the key to motor evoked potential spinal cord monitoring in humans. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1993; 56: 104-106.
10. Leppanen RE, Abnm D, American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative monitoring of segmental spinal nerve root function with free-run and electrically-triggered electromyography and spinal cord function with reflexes and F-responses. A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. J Clin Monit Comput. 2005 Dec; 19(6): 437-61.
11. Martin Sutter M, Eggspuehler M, Muller A, Dvorak J. Multimodal intraoperative monitoring: an overview and proposal of methodology based on 1,017 cases. Eur Spine J 2007; 16 (Suppl 2): S153-S161.
12. Dawson EG, Sherman JE, et al. Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey. Spine 1991; 6 (8 Suppl): S361-S364.
13. Peeling L, Hentschel S, Fox R, Hall H, Fourney DR. Intraoperative spinal cord and nerve root monitoring: a survey of Canadian spine surgeons. Can J Surg, 2010 Oct; 53(5): 324-8.