



**Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular. Comparación con la técnica de desrotación apical y análisis de las complicaciones y comorbilidades**

Tesis para el grado de Doctor en medicina clínica

Con mención Tesis Internacional

Presentada por:

**Dra. Karen Weissmann Marcuson**

Dirigida por

Director:

**Prof. Dr. Carlos Barrios Pitarque**

Tesis internacional:

**Virginie Lafage PhD**

**Valencia 2021**



**Dr. D. CARLOS BARRIOS PITARQUE**, Profesor de Cirugía Ortopédica con Acreditación Nacional de Catedrático y Decano de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

**CERTIFICA:**

Que la presente tesis doctoral titulada “Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular. Comparación con la técnica de desrotación apical y análisis de las complicaciones y comorbilidades”, ha sido realizada por la Dra. Karen Weissmann Marcuson, bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado Título del Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud, para la obtención del título de Doctor por la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir con mención de Tesis internacional.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta tesis doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a día de mes de año.

**Fdo.: Carlos Barrios Pitarque**



A mis hijas Gabriela y Valentina,  
Never let the sun set on your dreams.

Mom.



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los que se han visto involucrados de una u otra manera en este proyecto.

Al Dr. Carlos Barrios Pitarque, por su invitación a embarcarme en este desafío, sacarme a flote algunas veces, servir de compás y sextante muchas veces, a la distancia, desde otro continente, pero siempre disponible.

A Mme. Lafage qui était mon vrai maître, avec immense patience, beaucoup de conseils, de foi stricte, de foi affectueuse, mas toujours fier du travail qui nous avons en train de faire.

To all the guys at the lab in New York, who helped me unconditionally, especially Renaud with uncanny ability to get me out of technological trouble, always there to share a beer with after a hard day of work.

A mis cachorros, Marcelo, Waiki, Diego, Fran, y algunos otros ya repartidos por el país; capaces de buscar fichas, registros y datos y plantarse unas horas de trabajo por una pizza y muchas carcajadas.

A mi hermano Cristián, por desarmarme el mal genio con un chiste oportuno y navegar conmigo las ironías de la vida.

A José Miguel, siempre dispuestos a seguirme en mis quijotadas, con una sonrisa, un oído dispuesto y un abrazo. No sería la persona que soy sin ti. Thanks Hon, you are the best!

A mis hijas, Gaby y Vale. Chicas, espero que ésta no sea la última aventura que hacemos juntas. Gracias por su paciencia y apoyo, no podría haber terminado este proyecto sin ustedes.



## ABSTRACT

**TITLE:** Vertebral Coplanar alignment technique versus Bilateral apical vertebral derotation technique in Neuromuscular scoliosis. Analysis of comorbidities and complications.

**BACKGROUND:** The concept of neuromuscular scoliosis includes a wide variety of pathologies associated with both the nervous and muscular systems they represent a challenging population to treat. As such, determining the correct surgical plan can oftentimes be complex given the multitude of variables to consider, ranging from clinical (i.e., ventilatory function, comorbidities) to biomechanical (i.e., pelvic obliquity, curve magnitude and rigidity, bone quality, sitting balance). Currently, no clear patterns of neuromuscular curvatures have been described in the literature and there remains a lack of consensus on the best technique to achieve a balanced posture.

In the setting of neuromuscular scoliosis, a surgeon has multiple corrective techniques at his or her disposal to select from. The use of traction, either preoperatively or intraoperatively, has been previously reported in patients with high grade curves. Combined approaches have a role in correction when treating patients with rigid curves and permit better control of pelvic obliquity; however, they are also associated with increased OR time and EBL. The posterior-only approach on the other hand has been associated with fewer complications and thus remains the preferred technique for a majority of spine surgeons.

The Vertebral Coplanar Alignment (VCA) technique takes into consideration aspects of vertebral anatomy that the Apical Derotation (AD) techniques do not. Because the medial cortex of the vertebral body is wider and more resistant than the lateral cortex, this allows for more anchor points during derotation for a better distribution of forces. Furthermore, VCA takes advantage of the fact that children have stronger ligaments and more elastic bones by relying on this strong attachment to guide correction. By relocating the normal coplanar axis into a single plane, translation and derotation can be achieved in one gesture.

With such a heterogeneous group of disorders, it is difficult to establish guidelines for preoperative planning, surgery, and postoperative treatment. Although patients are evaluated individually, the identification of shared characteristics can be valuable for treatment algorithms. Complications in neuromuscular scoliosis surgery are difficult to anticipate and no association has been studied between perinatal comorbidities, preoperative evaluation, surgical parameters, and postoperative complications.

One of the complications is profuse bleeding, the mechanisms of addressing this issue are either replacing blood, involving autotransfusions, cell saver and allotransfusions, all which are potentially associated with complications, increase procedures and higher costs, or saving blood. In recent years tranexamic acid has taken precedence in this matter.

**PURPOSE:** The aims of this study were to compare the 3D corrective ability of the vertebral coplanar alignment (VCA) technique with that of the apical derotation (AD) technique in the setting of pediatric patients with neuromuscular scoliosis; to investigate, the association between perinatal comorbidities, pre – operative evaluation, surgical parameters an surgical complications in this patients, with special emphasis in bleeding complications and the use of intravenous and topical tranexamic acid.

**STUDY DESIGN/SETTING:** Following approval by the institutional review board (IRB), a retrospective analysis of prospectively collected data was performed on patients with neuromuscular scoliosis that underwent posterior spinal fusion at our hospital from 2013 to 2017. Inclusion criteria consisted of neuromuscular scoliosis or collagenopathy patients, age 25 or younger, who underwent a posterior-only approach. Exclusion criteria included patients who underwent revision surgery as well as the presence of any growing rods. All procedures were performed by the same surgeon.

All measurements were performed using Surgimap 2.2.14 (Nemaris Inc, New York, NY). Flexibility of the main curve was assessed on traction and bending x-rays; the coronal surgical correction

of the main curve was evaluated by the pre- to post changes in Cobb angles as well as the difference between bending/traction Cobb angles and the corresponding postoperative Cobb angle.

**PATIENT SAMPLE:** 64 neuromuscular scoliosis, 34 in the VCA and 30 AD group with 2 years of follow – up.

**OUTCOME MEASURES:** Demographics such as age, gender, diagnosis, and comorbidities were collected from the electronic medical records.

All patients underwent the same pre – operative evaluation protocol, with a cardiac, pulmonary, psychological and laboratory assessment. Data collection regarding perinatal morbidity included pregnancy characteristics, type of delivery, gestational weeks at birth, maternal diseases during pregnancy, birth weight and birth size.

The evaluation of the current physical condition included gait, pre and postoperative height and weight, comorbidities, previous surgeries, sports practiced, presence of thelarche in girls and increase in testicular volume in boys, age of menarche in girls or voice change in boys, use of preoperative brace, allergies, and use of medications. All patients had preoperative laboratory testing including hematocrit (Ht, expressed as %), hemoglobin (Hb, g/dl) and platelets count (100,000 plts/field), coagulation analysis consisting of activated partial thromboplastin time (aPTT, seconds), and prothrombin time (PT, %); and a biochemical analysis of blood urinary nitrogen (BUN) and glucose (Gl) both in mg/dl.

To evaluate the use of tranexamic acid, Patients were categorized in four groups according to the way TXA was used during their surgery:

- No tranexamic acid (No TXA): The wound was packed with gauzes soaked in saline.
- IV tranexamic acid (IV TXA): TXA IV dose of 20 mg/kg in bolus and then a continuous infusion of 1 mg/kg/hr until skin closure. The bolus was injected at the time of the incision.

- Topical tranexamic acid (topical TXA): 6 g of TXA diluted in a 3L saline solution. The gauzes for packing were soaked in this solution; if solution remained after the surgery, it was irrigated directly into the wound. If more irrigation was needed it was performed with pure saline.
- Topical and IV tranexamic acid (topical + IV TXA): This group received both interventions with the previously described doses.

Patients were assessed by a pediatric cardiologist with a bidimensional echocardiogram to search for any malformations. Ejection fraction was measured in patients when an adequate acoustic window permitted it. When possible, spirometry with and without a  $\beta_2$ -sympathomimetic agent measured forced expiratory volume during the first second (FEV1). When spirometry was not possible due to mental or physical issues, thoracic anteroposterior (AP) and lateral (L) x-rays, along with clinical evaluation, were used for preoperative assessment. Other respiratory parameters analyzed were the use of nocturnal external respiratory aids such as bilevel positive airway pressure (BiPAP) and the number of lower respiratory tract infections (LRTI) per year in the pre and postoperative period.

All patients underwent a complete urinalysis and culture. The number of urinary tract infections (UTI) per year was registered. If the uroculture was positive or the patient had previous urocultures, colonizing bacteria type was evaluated. If a culture had 80,000 colonies/field or less, it was considered colonization, and was left untreated.

Neurological evaluation was also obtained when possible. Patients with epilepsy were preoperatively administered escitalopram for three days to avoid seizures related to neuromonitoring unless they were already been taking this drug. The number of pre and postoperative seizures along with number and type of anticonvulsants taken were registered as well.

A psychological evaluation was performed on all complying patients to identify situations that would be contraindicated for surgery and to provide support and recommendations for families and patients. Usually, three sessions were performed: two prior to surgery, and one postoperatively.

Preoperatively, an anesthesiologist evaluated all patients one month prior to surgery and classified the patients by the American Society of Anesthesiologist (ASA) physical status classification. Preoperative temperature in °C, blood pressure in mmHg, heart rate (HR) in bpm, and oxygen saturation percentage were also recorded.

Intraoperative bleeding was determined by measuring the amount of blood collected in the suction canister and subtracting the amount of irrigation saline used, including the one in the sponges for packing. These were crushed to remove all liquid and weighted along with compresses used during surgery. The drain debit was measured every 12 h and recorded in the patient's chart. In the first 24 h, the drain was left with negative pressure and posteriorly at free fall. The total blood loss was defined as the sum of the intraoperative bleeding and the total drain output.

Additionally, we reported the intraoperative and postoperative hematocrit and hemoglobin, use of vasoactive drugs and surgical time.

Post – operative assessment included use and days with drainage, post-operative antibiotics, length of stay in critical care patients and medico-surgical units, reactive c protein and associated complications.

Full length radiographs were collected in anteroposterior (AP), lateral, traction, and bending films at preop, in the immediate postoperative period and at 2-year follow-up. Coronal plain films were used to determine each patient's Risser classification, coronal Cobb angle for each curve (proximal thoracic (PT), thoracic/thoracolumbar (T/TL), and lumbar curve), pelvic obliquity (defined as the angle between both

iliac crests and the horizontal) and apical vertebral rotation (AVR) as measured by the Raimondi method. Sagittal parameters included cervical lordosis (CL), thoracic kyphosis (TK), lumbar lordosis (LL), sacral slope (SS), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), sagittal vertebral axis (SVA), T9 spino-pelvic inclination (T9Spi) for evaluation of the gravitational center, and T1Spi for assessment of global sagittal alignment.

## **METHODS**

Under Neuromonitoring and radioscopy, patients were first positioned prone on the operating table. A total facetectomy was then performed to help in freehand screw placement. Screws were either in an “all-screws” construct, or in a “zigzag” distribution (i.e., four screws at both ends of the construct, then one screw per vertebra on alternate pedicles). Osteotomy types ranged from Schwab type 2 to 5. Patients were assigned to one of two surgical techniques (apical derotation or vertebral coplanar alignment technique) by osteosynthesis material availability. Both techniques have been described in the literature. The apical derotation technique (AD) consisted of bilateral rotation of the apical vertebrae toward the convexity, after the rods have been already placed, addressing only the apex of the deformity (Fig.1), while the vertebral alignment technique (VCA) aimed at providing a simultaneous 3D correction by inserting a pre-bent rod through pre-aligned slotted tubes (Fig. 8 to 11). For grafting, osteoconductors and local bone were used. Wound closure was performed in four stages; drains were placed deep and superficial when an osteotomy was performed and only superficial when the spinal canal was left intact.

Descriptive statistics were used to describe overall demographic, surgical, and radiographic metrics for both cohorts. The distribution of the parameters was then evaluated with a Kolmogorov-Smirnov test, and the two groups were compared using either unpaired t-test or Mann-Whitney U test as appropriate. Operative data such as numbers of levels fused, surgical time, estimated blood loss, hardware material, and neuromonitoring were collected and compared between derotation techniques. Use of a drain, length of stay, and discharge location were also compared using Chi-square and Fisher exact test. Correction potential for each technique was compared using the same process previously described. Loss of correction

at two-year follow-up was also assessed between the two techniques by subtraction of the two-year follow-up value from the immediate postoperative value for coronal, sagittal and axial parameters. Finally, a sub-analysis to determine the ability to maintain kyphosis was done by stratifying the patient's preoperative thoracic kyphosis in three groups ( $< 20^\circ$ ,  $20 - 50^\circ$ ,  $>50^\circ$ ) and evaluating the difference between pre and post-operative kyphosis. Statistical analysis was performed using SPSS 20.0 (IBM, Chicago, IL, USA) and  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

For comorbidities and complications Univariate analysis was carried out to compare patients who sustained a complication versus those who did not using a Chi-Squared or a two tailed Student's t-test. Similar analyses were carried out for major and mechanical complications. Statistically significant parameters in the univariate analysis were then used in a binary logistic regression to investigate the variables with the largest impact associated with the likelihood of developing complications. The statistical analysis was performed with SPSS (IBM, Chicago, IL, USA) and the level of significance was set at 0.05.

## **RESULTS:**

### *Preoperative Evaluation*

Out of the 64 patients included, 40 were females, with a mean age of 15 years old (8 to 25 years old). The most common diagnosis was Cerebral Palsy (N = 20) (Table 8). Comorbidities were present in 94.1% of patients in the VCA group with a mean of 2.5 comorbidities per patient, and 96.5% for the apical derotation with a mean of 3.8 comorbidities per patient ( $p = 0.015$ ). On average, patients in the VCA group were 10 kg heavier ( $p = 0.025$ ) than those in the AD group. There were no other significant differences in demographics or preoperative lab values between cohorts

### *Preoperative Radiographic Presentation*

The highest magnitude curve had a mean Cobb angle of  $64.8 \pm 24.6^\circ$  for VCA and  $66.9 \pm 26.9^\circ$  for the AD group ( $p = 0.758$ ). The AVR of this curve was  $19.2 \pm 13.7^\circ$  for the VCA group and  $18.6 \pm 11.2^\circ$  for the AD group ( $p = 0.878$ ). The AD group had a significantly larger ( $p = 0.036$ , Table 14) but less rigid

(Table 15) proximal thoracic curve. The AD group had significantly higher values for PI and SS than the VCA group

### *Clinical and Surgical Outcomes*

The average number of levels instrumented was 12.56 for the coplanar group, and 13.53 for AD group ( $p = 0.229$ ). Surgical time did not differ between the groups and averaged 198.4 minutes for the VCA, and 203 minutes for the AD ( $p = 0.384$ ). There was no significant difference in the type of rod material used, type of screw placement, number and type of osteotomy, or additional maneuvers between the 2 groups (Table 16). Two patients in the coplanar group and 6 in the apical derotation group underwent detethering during surgery. There were no dural fistulas in these patients.

The estimated blood loss (EBL) was 938.9 mL with a maximum of 4,000 mL. There was no significant difference between the surgical techniques in terms of EBL (1,041 mL in VCA, and 827 mL in AD group,  $p = 0.265$ ), postoperative hematocrit/hemoglobin, number of transfusions needed, or use of vasoactive drugs (Table 17, Table 18).

Analysis of neuromonitoring revealed that 74% of patients in the coplanar and 50% in the Apical derotation group had normal baseline motor and Somatosensitive evoked potentials. VCA had 3 intraoperative neuromonitoring alerts, while AD had 7 alerts ( $p = 0.106$ ); these alerts resolved before the end of the surgery with a mild decrease in correction maneuvers. One case in the AD group had postoperative unilateral paresis that resolved 3 weeks after the surgery.

Drains remained for 3.5 days in the VCA group and 2.9 days in AD group ( $p = 0.169$ ). Drain output for both groups was not statistically different ( $p = 0.305$ ) with 452.4 mL for VCA patients and 352.07 mL for AD (Fig.14).

Averaged hospitalization time was 10.5 days; there was no significant difference between both groups regarding length of stay ( $p = 0.789$  for ICU (Intensive care unit),  $p = 0.928$  for ITU (Intermediate care unit),  $p = 0.518$  for MQ (Medico-surgical)) (Table 17).

At 2-year follow-up, the difference in weight was maintained ( $p = 0.025$ ).

### *Post-Operative Alignment*

The analysis of the pre to post changes (i.e. correction) by group revealed significant differences in coronal alignment except for pelvic obliquity for both groups ( $p = 0.056$  for VCA, and  $p = 0.109$  for AD) and AVR of the proximal and distal curves for the VCA group (Table 19). At immediate post-op (Table 19), the maximum Cobb angles were corrected by  $34.6+13.2^\circ$  for the VCA and  $33.2+15.6^\circ$  for AD patients ( $p = 0.721$ ), AVR correction was  $7.8 + 14.4^\circ$  in the VCA group and  $7.1 + 11.8^\circ$  for AD ( $p = 0.335$ ). There were no significant differences in the correction ability between both techniques for each curve regarding curve magnitude, AVR or pelvic obliquity ( $p = 0.978$ ). In the sagittal plane, there was a significant difference in the amount of flattening of the thoracic kyphosis in the immediate post-op period, with the VCA group losing  $4.2 + 26.6^\circ$  and the AD losing  $13.2 + 21.3^\circ$  ( $p = 0.048$ ).

At 2-year follow-up, the AD group lost significantly more correction than the VCA for this parameter ( $p = 0.046$ ). The rest of the correction in the sagittal parameters was not significant between the 2 techniques. The stratification by preoperative thoracic kyphosis revealed no significant changes in thoracic kyphosis for the hypokyphotic ( $<20^\circ$ ) and normokyphotic curves ( $20-50^\circ$ ), whereas the hyperkyphotic patients ( $>50^\circ$ ) had a significant flattening of thoracic-kyphosis at immediate postop ( $50.2\%$ ,  $p = 0.000$ ). There was a significant correlation between preoperative kyphosis and correction percentage ( $p = 0.000$ , RR 0.763) for the whole cohort, as well as for both groups individually (VCA:  $p = 0.000$ , RR 0.841, AD:  $p = 0.000$ , RR = 0.665). The analysis of maintenance of correction at 2-years (50% follow-up) demonstrated a small but significantly greater loss of thoracic kyphosis for the AD group ( $3.7^\circ$  vs  $1.8^\circ$ ,  $p = 0.046$ ).

Complications were present in 54,6% of the patients, with 46.9% consisting of major complications, and 84.4% being early complications. Univariate analysis revealed that the presence of perinatal comorbidities, independent of other comorbidities, increased the risk of complications ( $p=0.029$ ). Preoperative hypoglycemia, high number of instrumented levels, longer surgical time, use of an all-screw construct, lower preoperative pelvic obliquity, postoperative lower kyphosis, high thoracic spinopelvic angle (as measured by T9SPi), absence of deep drain, and use of superficial drain were all associated with postoperative complications (all  $p<0.05$ ). The use of combined i.v. and topical tranexamic acid also increased the likelihood of complications ( $p=0.035$ ).

Logistic regression showed that comorbidities, increased surgical time, hypoglycemia and absence of deep drains are predictors for complications. Independent variables that predicted major complications included the number of levels fused, postoperative kyphosis ( $p=0.025$ , OR =1.074) and high screw density ( $p=0.014$ , OR=4.380).

## **DISCUSSION:**

Neuromuscular scoliosis patients have different needs than AIS patients. The goal of surgical treatment in neuromuscular scoliosis is to obtain a solid foundation through a balanced spine, subsequently leading to better ventilation, deglutition and a reduction in pain. In this study, we demonstrated that both the VCA and AD techniques are efficient in correcting the coronal and axial planes, but the global approach offered by the VCA technique allows for the maintenance of thoracic kyphosis and places less stress on the apex of the curve.

Apical derotation has been for many years the first technique to consider the concept of axial rotation in addition to rod rotation and translation. However, when describing the concept of apical derotation, Suk et al. never took into account the globality of the spine, instead applying corrective forces directly to the apex of the vertebra. In this technique, the rod is first forced into the screws before the derotation forces are applied, thus the rod has already been flattened and as only the apex is derotated,

the rest of the rod is already fixed into the spine's established pattern. VCA proposes a more indirect approach as it distributes forces across the entirety of the spine, thus including all vertebrae in the process. This translates into less torque being applied at one point of the rod, reducing the degree of rod flattening. Additionally, in osteoporotic patients, this more harmonious distribution of forces could prevent screw pullout and pedicular fractures.

Studies demonstrated that VCA had a higher potential to correct main thoracic curves versus AD techniques in AIS patients. However, it is important to note that the curves in AIS patients tend to be more flexible than those with neuromuscular scoliosis; in a study the flexibility for the major curve in AIS patients was found to be 43%. In our current study on neuromuscular scoliosis patients with much more rigid curves, we found that both AD and VCA attained a similar degree of correction in the coronal and axial planes. Correction capacity in the coronal plane is achieved by a combination of natural curve correction that occurs when the patient is placed in prone positioning along with the overall efficacy of the surgical technique.

In AIS, apical vertebral rotation correction is important as non-instrumented levels usually compensate for this rotation with an increase in curve magnitude. The correcting ability of AD has been reported between 25-60% while the correcting ability of VCA has ranged between 52.9-56.1%. In the current study, both techniques obtained slightly less than 50% of correction in the apical vertebral rotation, with no statistical difference in their derotation capacity. It is possible that baseline spasticity plays an important role in the rigidity seen in neuromuscular scoliosis patients and that once this factor is eliminated during anesthesia, curve correction can be achieved to comparable levels that are seen in AIS patients with more flexible spines. This must be taken into consideration when planning future surgeries for patients with neuromuscular scoliosis as they may not require as aggressive of correction maneuvers that their low preoperative curve flexibility might suggest.

VCA in AIS patients results in increased thoracic kyphosis for hypo-kyphotic patients and no changes for the normo-kyphotic and hyper-kyphotic patients. In the current study, both the patients receiving VCA and those receiving AD achieved a satisfactory thoracic kyphosis by the end of the procedure. Following stratification by preoperative thoracic kyphosis, only the hyper-kyphotic group demonstrated flattening of thoracic kyphosis. This was an expected result of the surgical strategy since the use of posterior osteotomy aims at reducing the degree of thoracic kyphosis for these patients. Interestingly, while both techniques seem adequate in terms of final postoperative thoracic kyphosis, the VCA group had significantly less flattening of the kyphosis with almost 10° of difference when compared to the AD group. This appears to be the main benefit of the VCA technique, as loss of kyphosis remains one of the biggest issues in pediatric deformity patients. Limiting hypokyphosis is advantage in neuromuscular patients as most of them already have restrictive ventilatory patterns and diminishing kyphosis might further affect their ventilatory capacity.

Complications were similar in both groups. Although not statistically significant, we reported a larger number of neuromonitoring events for the apical derotation maneuver (7 alerts for AD vs 3 alerts for VCA)

The best defense against complications is to prevent them. In a study of 2,154 patients with neuromuscular scoliosis, the overall complication rate was 33.1%–40.1%, an unacceptable value for any surgical procedure, indicating that it is necessary to assess patients in advance to obtain all pertinent information that might impact a complication. Patient history must begin before the patient is even born, including the mother's pregnancy and birthing circumstances. We did not find any study analyzing the association between perinatal characteristics and complications; however, our findings support the importance of perinatal pathologies in the incidence of surgical complications in neuromuscular scoliosis. In a retrospective study that evaluated the cause of complications in 7,252 children with neuromuscular scoliosis aged >5 years, 59% of them were found to have more than four comorbidities,

which correlated with a higher incidence of surgical complications. Similarly, in our study, the presence of four or more comorbidities served as an independent predictor of complications.

Conditions strongly associated with longer hospitalizations and readmission include bladder dysfunction, epilepsy, and chronic respiratory insufficiency. Although our numbers do not support this completely, neurogenic bladder is also very common and predisposes to renal damage. Wounds and dressings get easily contaminated with colonized urine, which increases the risk of infection and prevents the wound from healing. In our study, 35% of patients with myelomeningocele self-catheterized, and 54% had vesicoureteral reflux with UTI in the preoperative evaluation. Two patients presented with seizures in the immediate postoperative period, with one patient having a past history of Rett syndrome. Interestingly, this increased the LOS in the ICU. Hence, we recommend checking anticonvulsant plasmatic levels in advance.

A good preoperative evaluation and preparation is mandatory in patients with respiratory failure undergoing surgery. Patients who present with inadequate ventilatory mechanics due to hypotonicity, spasticity, or trunk shortening have a high incidence of pneumonia during their lives at a rate of 8.0 for every 100 patients. Importantly, our study findings support that the number of LRTIs in patients decreased to 51.9% after surgery. This decrease is significant as it is associated with important increases in the overall quality of life and life expectancy.

To expand more on the improvement of quality of life after surgery, our results disclosed significant decreases in the incidences of UTI, LRTI, and epilepsy after the surgery. These decreases relieve patients and parents of significant non-scoliosis-related issues; a stable spine allows for better hygiene, easier access to catheterization (leading to a decreased risk of developing UTIs), better ventilation and less gastroesophageal reflux, and therefore less incidence of LRTIs. We can only theorize regarding the significant decrease in seizures, but a vicious position is painful and stressful. We

hypothesize that the relief caused by surgery probably diminishes the reactive threshold to trigger a seizure.

Cardiac sequelae stemming from neuromuscular pathologies include cardiac malfunctions due to primary myocardial alterations or collagen quality. High-magnitude curves are associated with increased deterioration of diastolic function. Due to the curve magnitude, the cardiac evaluation oftentimes may be incomplete. In one study, only 49.3% of patients were able to undergo an appropriate echocardiogram, with 33% of them undergoing surgery suffering from a minor cardiac-related complication after surgery. In our patient series, 100% of them underwent an echocardiogram, but ejection fraction (EF) could be measured in only 23% of them. We did not find any correlation between the curve magnitude/rotation and the ability to measure the EF. Importantly, we found that curves  $>80^\circ$  were associated with an EF  $<60\%$ , thus providing further evidence of the importance of preventing neuromuscular patients from reaching such levels of deformity. Myocardial stress correlates with poor nutrition, and poor nutrition has been shown to correlate with complications, poor surgical results, and greater length of hospital stay. Due to hypotonia or spasticity, deglutition capacity is diminished and therefore serves as a significant obstacle to adequate weight gain. Furthermore, we found that a lower preoperative glycemia is a predictor of complications, even if it is not in hypoglycemia levels. This point must be considered when scheduling surgeries as patients generally fast for long hours and reach the surgery at low glycemic levels. Conversely, obesity has also been correlated with increased risk for complications in the literature. In our country, 60% of children are over-weight or obese, which correlates with a higher complication rate, poor healing, and high levels of inflammatory mediators.

Non-ambulatory patients have been reported to have a higher prevalence of postoperative complications. We did not find this association in our study; however, all patients with myelomeningocele who had early complications were non-ambulatory, whereas those with late complications were ambulatory. Potentially, mechanical loading is more important in ambulatory patients, and immobility predisposes non-ambulatory patients to early complications.

Preoperative curve magnitude increased the risk for complications. Fusion to the pelvis, a higher number of levels, and a longer surgical time are associated with longer lengths of hospital stay. Although we did not find an association between curve magnitude or rigidity and an increased risk for complications, we believe that this principle holds true, as rigid, bigger curves tend toward longer surgical times and more bleeding, and our study demonstrated that surgical time is a predictor of complications. Poor or excessive reduction increases the risk for major complications. We found that excessive correction of kyphosis was a predictor of major complications and that unbalanced patients with higher T9SPI values were also at risk. We also found that rigid all-screw constructs predicted the presence of mechanical complications. These patients are typically osteoporotic, and reductions must be adequate and not perfect, as too much expectation may compromise the result of the surgery.

Although in this patient series osteotomies and detethering were not associated with the development of complications, Cognetti et al. reported the opposite result. Considering that <20% of the osteotomies included more than one column in our series, we believe that osteotomies increase the surgical time and bleeding and therefore correlate with a major complication-driven event. Detethering during the same surgical time does not add comorbidity; in a study performed on 3,682 pediatric patients who were detethered, there was no increase in the incidence of complications compared with patients undergoing scoliosis surgery without this added procedure.

We did not find any study analyzing the association between perinatal characteristics and complications; however, our findings support the importance of perinatal pathologies and presence of four or more comorbidities served as an independent predictor of complications in neuromuscular scoliosis. Poor or excessive reduction increases the risk for major complications. We found that excessive correction of kyphosis was a predictor of major complications and that unbalanced patients with higher T9SPI values were also at risk. We also found that rigid all-screw constructs predicted the presence of mechanical complications, however complications were similar in both groups.

Patients with neuromuscular scoliosis demonstrated increased blood loss compared with their adolescent idiopathic scoliosis counterparts. We found that the use of deep drains served as a protective factor for these patients. Therefore, we specifically recommend the use of deep drains in patients with myelomeningocele where dead space after closure remains an issue.

There were some uncommon complications in our patient series, which included smallpox in a hospitalized, vaccinated patient, thereby demonstrating how immuno-suppressed these patients are after such a major surgery. One patient also suffered a tongue laceration due to mal-positioned buccal protection. This finding reveals that we must always be prepared for the unexpected. Based on our study findings, we state that there are important factors that must be considered to reduce the probability of developing complications in patients with neuromuscular scoliosis. In the preoperative setting, obtaining a global patient history and developing a good preoperative plan that considers reduction in terms of established thresholds are key. Intraoperatively, achieving an adequate kyphosis with a balanced center of mass and a low PO, while at the same time decreasing the surgical time and blood loss, can further reduce the probability of developing complications. Unlike what's been published, mainly in AIS, in neuromuscular scoliosis bleeding is profuse but tranexamic acid might not be as valuable a tool in preventing bleeding as in other pathologies.

**CONCLUSIONS:** Both apical derotation technique and vertebral coplanar alignment allow for correction in the three planes in patients with neuromuscular scoliosis. VCA is a novel approach for surgical correction of neuromuscular scoliosis as it is a less hypokyphosing technique than AD. Both are valid techniques for correcting neuromuscular scoliosis patients.

Complications in neuromuscular scoliosis are increased by comorbidities, long surgeries, the use of combined i.v. and topical tranexamic acid and inadequate correction. Preventive measures to decrease these complications include appropriate preoperative patient preparation and surgical planning.



## RESUMEN

**MARCO TEORICO:** Existen múltiples consideraciones en escoliosis neuromuscular, grandes deformidades, curvas rígidas, mala calidad ósea y oblicuidad pélvica. No hay consenso en cual es la mejor técnica quirúrgica para seguir con estos pacientes. La técnica de desrotación coplanar considera tres aspectos, no evaluados previamente: que la corteza medial del pedículo es mas gruesa que la corteza lateral, el aumento de los puntos de torque permite una mejor distribución de las fuerzas y el uso de ligamentotaxis como coadyuvante en la maniobra de reducción. Si logramos realinear la coplanaridad normal, la traslación y desrotación vertebral son posibles en un solo gesto quirúrgico. Las comorbilidades y complicaciones son considerable en este grupo de pacientes y difíciles de predecir. Una de las complicaciones mas importantes es el sangrado masivo, dentro de los mecanismos para enfrentarlo, está el uso de acido tranexámico, habitualmente utilizado de manera endovenosa, se ha explorado también su uso tópico.

**OBJETIVO:** Comparar la capacidad de corrección de el Sistema de desrotación coplanar (DC) versus el de desrotación apical (DA) en pacientes pediátricos con escoliosis neuromuscular. Como objetivo secundario, determinar los factores predictores de riesgo de complicaciones en escoliosis neuromuscular, con énfasis en el sangrado y el uso de acido tranexámico endovenosos y tópico para su prevención.

**MATERIALES Y METODO:** Se realizó un análisis retrospectivo con datos recopilados de manera prospectiva, en pacientes pediátricos con escoliosis neuromuscular sometidos a artrodesis posterior instrumentada de 2013 a 2017. Criterios de inclusión: Escoliosis neuromuscular o colagenopatías, pacientes menores de 25 años, cirugía por su deformidad de columna, solo cirugía posterior definitiva. Criterio de exclusión: cirugía de revisión, sistemas de crecimiento guiado. Se realizó un análisis univariable usando t – student para variables continuas y  $\chi^2$  para no continuas (IC 95%). Para determinar los predictores independientes de complicaciones se utilizó un análisis multivariable.

**Muestra:** 64 pacientes con escoliosis neuromuscular, 34 en el grupo de DC y 30 en el de DA, 2 años de seguimiento.

**VARIABLES EVALUADAS:** Parámetros radiológicos coronales, sagitales, y axiales, capacidad de corrección post – operatoria inmediata y a 2 años plazo, variables clínicas e intraoperatorias. Parámetros secundarios medidos fueron: edad, sexo, centro hospitalario, peso, talla, número de convulsiones por mes, infecciones urinarias por año, infecciones respiratorias por año, características del embarazo, el parto, peso y talla de nacimiento, comorbilidades perinatales, edad de telarquía y menarquía, uso previo de corsé, capacidad de marcha, deporte, Risser, alergias, tiempo quirúrgico, sangrado, unidad de cuidados en el post operatorio, uso de ventilación mecánica, número de días de drenaje y parámetros de laboratorio. Se dividen los pacientes en 4 categorías según uso de ácido tranexámico: Sin, endovenoso solo, tópico solo, endovenoso y tópico.

**Técnica quirúrgica** La técnica de DA consiste en la rotación bilateral de las vértebras apicales de las curvas estructuradas, hacia la convexidad. La DC intenta realizar una desrotación tridimensional simultánea al insertar una barra premoldeada en tubos de alineamiento.

**RESULTADOS:** Este estudio incluyó 34 pacientes en el grupo de DC y 30 en el de DA (promedio de edad 15 años). No hubo diferencias estadísticamente significativas en la habilidad de corrección entre ambas técnicas, en relación con la magnitud de la curva, rotación de la vértebra apical u oblicuidad pélvica. Se observó una importante disminución en la cifosis torácica en el grupo de DA ( $4,2 \pm 26,6^\circ$  en DC and  $13,20 \pm 21,3^\circ$  en DA ( $p=0,048$ )). Se presentaron complicaciones en 54,6% de los pacientes, 46,9% mayores, 84,4% tempranas. El análisis univariable mostró que la presencia de comorbilidades perinatales, independiente de otras comorbilidades aumenta el riesgo de complicaciones ( $p=0,029$ ), más de 4 comorbilidades ( $p=0,009$ ), glicemia pre – operatoria baja ( $p=0,016$ ) mayor número de niveles instrumentados ( $p=0,044$ ), más tiempo quirúrgico ( $p=0,012$ ), mayor densidad de tornillos ( $p=0,010$ ), una oblicuidad pélvica pre – operatoria más baja ( $p=0,050$ ) una cifosis post operatoria más baja ( $p=0,050$ ), un

valor elevado para T9Spi ( $p=0,043$ ), la ausencia de drenaje profundo ( $p=0,003$ ) o el uso de drenaje superficial ( $p=0,021$ ), el uso de ácido tranexámico combinado tópico y endovenoso ( $p=0.035$ ) aumenta las complicaciones post – operatorias. El análisis de regresión logística mostró la mas de 4 comorbilidades, un mayor tiempo quirurgo, una glicemia baja y la ausencia de drenaje profundo son predictores independiente de complicaciones. Para complicaciones mayores, las variables independientes son el número de niveles fusionados, una baja cifosis post operatoria ( $p=0,025$ , OR =1,074) y para complicaciones mecánicas, una mayor densidad de tornillos ( $p=0,014$ , OR=4,380).

**CONCLUSIONES:** Tanto la DC como la DA permiten una adecuada corrección en los tres planos y disminuyen la oblicuidad pélvica en escoliosis neuromuscular. La técnica de DC es menos hipocifosante que la DA. Las complicaciones en escoliosis neuromuscular aumentan por la presencia de comorbilidades perinatales, una mala reducción, uso de ácido tranexámico combinado tópico con endovenoso, cirugías prolongadas con alta densidad de tornillos y muchos niveles instrumentados.



## INDICE

<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	8
<i>ABSTRACT</i> .....	10
<i>RESUMEN</i> .....	27
<i>INDICE</i> .....	31
<i>INDICE DE TABLAS</i> .....	34
<i>INDICE DE FIGURAS</i> .....	35
<i>ABREVIATURAS</i> .....	36
<i>INTRODUCCION</i> .....	38
¿Qué es la escoliosis neuromuscular? .....	38
Fisiopatología.....	42
Tratamiento .....	44
Tratamiento Conservador .....	44
Tratamiento Quirúrgico .....	45
Historia de las Técnicas quirúrgicas .....	46
Técnicas quirúrgicas actuales .....	48
Vía anterior .....	48
Vía posterior .....	49
Técnicas mínimamente invasivas .....	50
Osteotomías.....	52
Sistemas de corrección por vía posterior: .....	53
Fusión .....	55
Consideraciones pre-operatorias.....	56
Evaluación Ventilatoria .....	56
Evaluación cardiaca .....	57
Evaluación Urológica .....	59
Evaluación neurológica .....	59
Evaluación Nutricional .....	60
Evaluación Psicológica.....	61
Sangrado .....	61
Otras evaluaciones .....	63
Utilidad de la neuromonitorización en escoliosis neuromuscular .....	63
Análisis de Costos.....	65
Calidad de vida .....	67
Complicaciones.....	68
<i>HIPOTESIS Y OBJETIVOS</i> .....	71
Hipotesis .....	71
Objetivo principal: .....	71
Objetivos secundarios: .....	71
<i>MATERIALES Y MÉTODO</i> .....	73
Comité de ética .....	73

Diseño del estudio.....	73
Elección de técnica .....	73
Tamaño Muestral .....	73
Criterios de Inclusión: .....	74
Criterios de Exclusión: .....	74
Recolección de datos.....	74
Variable recogidas en el Pre – operatorio .....	75
Análisis demográfico .....	75
Respecto a patología perinatal .....	75
Anamnesis y examen físico actual.....	75
Variables Radiológicas .....	77
Preparación preoperatoria. ....	83
Anestesia .....	83
Posicionamiento.....	84
Asepsia y antisepsia prequirúrgica .....	85
Osteotomías y liberación posterior .....	93
Corrección con la Técnica Coplanar .....	93
Corrección con la técnica de desrotación apical.....	100
Variables intraoperatorias .....	103
Variables postoperatorias.....	104
Análisis estadístico.....	104
<i>RESULTADOS</i> .....	<i>106</i>
Demografía y evaluación pre – operatoria.....	106
Características Perinatales .....	107
Peso y Talla.....	107
Clasificación de las curvas.....	109
Cirugías previas .....	109
Comorbilidades .....	109
Capacidad de Marcha.....	109
Alergias .....	110
Deporte.....	110
Cambios Hormonales.....	110
Uso de corset.....	110
Epilepsia.....	110
Infecciones urinarias. ....	111
Infecciones respiratorias bajas. ....	111
Evaluación cardiológica.....	112
Evaluación Psicológica .....	112
Genética .....	113
Anestesia.....	113

Otros medicamentos.....	113
Plan quirúrgico.....	114
Codificación.....	115
Evaluación radiológica pre – operatoria .....	115
Resultados intraoperatorios.....	117
Alineamiento post – operatorio.....	120
Resultados Postoperatorios .....	123
Complicaciones.....	125
Análisis .....	127
<i>DISCUSION</i> .....	<i>131</i>
<i>CONCLUSIONES</i> .....	<i>140</i>
<i>CONCLUSIONS</i> .....	<i>142</i>
<i>ANEXOS</i> .....	<i>159</i>
Anexo 1: Formulario de Consentimiento informado y aprobación por comité de ética.....	159
Anexo 2: Protocolo de Alergia al Látex del Hospital Exequiel González Cortés .....	164
Anexo 3: Artículos publicados.....	173

## INDICE DE TABLAS

Nº tabla	Contenido
<b>1</b>	Clasificación de la Escoliosis neuromuscular.
<b>2</b>	Incidencia de escoliosis neuromuscular según la etiología
<b>3</b>	Clasificación de escoliosis con curvas mayores a 100°
<b>4</b>	Clasificación de SRS – Schwab para las osteotomías vertebrales.
<b>5</b>	Estudio pre – operatorio de pacientes con escoliosis neuromuscular.
<b>6</b>	Estudio radiológico preoperatorio.
<b>7</b>	Parámetros radiográficos y su forma de medición
<b>8</b>	Diagnóstico etiopatogénico de la cohorte
<b>9</b>	Características demográficas y parámetros pre – operatorios para los dos grupos
<b>10</b>	frecuencia de uso de anticonvulsivantes
<b>11</b>	Uso de otros medicamentos
<b>12</b>	Niveles instrumentados
<b>13</b>	Diferencias entre la planificación pre – operatorias y la cirugía realizada
<b>14</b>	Parámetros radiológicos pre – operatorios para ambos grupos
<b>15</b>	Flexibilidad de la curva para ambos grupos
<b>16</b>	Maniobras de reducción adicionales, utilizadas en ambos grupos
<b>17</b>	Parámetros intra y post – operatorios para ambos grupos
<b>18</b>	Resultados comparativos para subgrupos de pacientes con escoliosis neuromuscular tratados con ácido tranexámico.
<b>19</b>	Comparación entre el alineamiento y postoperatorio y la corrección
<b>20</b>	Mantenimiento de la corrección de post-op a 2 años de follow-up
<b>21</b>	Complicaciones
<b>22</b>	Líneas de base del neuromonitoreo de pacientes con escoliosis neuromuscular
<b>23</b>	Correlaciones entre parámetros clínicos, radiológicos y quirúrgicos y complicaciones.
<b>24</b>	Parámetros radiológicos y su riesgo de complicación

## INDICE DE FIGURAS

N° figura	Contenido
<b>1</b>	Clasificación de osteotomías de Schwab-SRS
<b>2</b>	Maniobras de la técnica de Desrotación Apical (DA)
<b>3</b>	Clasificación de Risser y Método de Raimondi
<b>4</b>	Método Raimondi
<b>5</b>	Mediciones radiológicas sagitales y coronales
<b>6</b>	Abordaje y marcaje de T12
<b>7</b>	Facetectomía
<b>8</b>	Primeros pasos
<b>9</b>	Descenso de barra
<b>10</b>	Técnica de alineamiento coplanar
<b>11</b>	Técnica de alineamiento coplanar: parte 2
<b>12</b>	Paciente de 18 años, sexo masculino, Síndrome de Prader-Willis ambulatorio, técnica de desrotación coplanar.
<b>13</b>	Paciente de sexo masculino 14 años, trauma raquímedular a los 10 años, técnica de desrotación apical.
<b>14</b>	Débito del drenaje por días y técnicas.

## ABREVIATURAS

<b>Abr</b>	<b>Glosa</b>
<b>DC</b>	Técnica de Desrotación Coplanar
<b>DA</b>	Técnica de Desrotación Apical
<b>ENM</b>	Escoliosis Neuromuscular
<b>EIA</b>	Escoliosis idiopática del adolescente
<b>MMC</b>	Mielomeningocele
<b>TXA</b>	Ácido tranexámico
<b>Ht/Hb</b>	Hematocrito/Hemoglobina
<b>PCR</b>	Proteína C Reactiva
<b>TTPK</b>	Tiempo de Protrombina Parcial activada
<b>BUN</b>	Nitrógeno ureico en sangre
<b>P02/PC02</b>	Presión parcial de oxígeno/Presión parcial de dióxido de carbono en sangre
<b>PAS</b>	Presión arterial sistólica
<b>APD</b>	Presión arterial diastólica
<b>PAM</b>	Presión arterial media
<b>lpm</b>	Latidos por minuto
<b>T°C</b>	Temperatura en grados Celcius
<b>EESS/EEII</b>	Extremidades superiores/Extremidades inferiores
<b>VEF1</b>	Volumen espiratorio máximo durante el primer minuto
<b>VEI</b>	Vértebra del extremo superior de la curva
<b>VES</b>	Vértebra del extremo inferior de la curva
<b>CrCo</b>	Cromo - Cobalto
<b>ERAS</b>	Enhanced Recovery after surgery
<b>SRS</b>	Scoliosis Research Society
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>UIV</b>	Upper Instrumented Vertebrae
<b>LIV</b>	Lower Instrumented Vertebrae
<b>LC</b>	Lordosis cervical
<b>CT</b>	Cifosis torácica
<b>LL</b>	Lordosis lumbar
<b>T/TL</b>	Curva Torácica/Tóracolumbar
<b>L</b>	Curva Lumbar
<b>TP</b>	Curva Torácica Proximal
<b>OP</b>	Oblicuidad Pélvica
<b>IP</b>	Incidencia Pélvica
<b>SS</b>	Sacral slope
<b>VP</b>	Versión pelviana
<b>SVA</b>	Sagital Vértebral Aligement



## INTRODUCCION

### ¿Qué es la escoliosis neuromuscular?

Las enfermedades neuromusculares, agrupan a un grupo de patologías que afectan el sistema nervioso y/o músculo-esquelético, se pueden manifestar durante la niñez, siendo de las más conocidas las parálisis cerebrales o en la adultez; como por ejemplo, aquellos pacientes que presentan síndromes parkinsonianos.

Las etiologías son muy diversas, pueden ser genéticas, congénitas, perinatales, post-infecciosas o post traumáticas (1). Lo que no logramos comprender, es por qué, cuando se presenta una injuria al Sistema Nervioso Central o a la unión de la placa motora, durante el desarrollo, el niño desarrolla una escoliosis. Este tipo de escoliosis, tiende a ser más rápidamente progresivas y alcanzar mayores magnitudes (2) que las escoliosis idiopáticas del adolescente.

Pese a ser un grupo tan heterogéneo de patologías, su clasificación permite guiar parcialmente el tratamiento.

La Scoliosis Research Society(3) (Tabla 1) clasifica las escoliosis según su trastorno de base en:

1. *Neuropáticas*: Secundarias a una disfunción de la primera motoneurona, por ejemplo, aquellas asociadas a parálisis cerebral.
2. *Miopáticas*: Secundarias a alteraciones de la placa motora o de la constitución de la fibra muscular los ejemplos más frecuentes de este tipo de alteraciones son las distrofias musculares tales como la enfermedad de Duchenne o Central Core Disease (4).
3. *Mixtas*: Una disfunción mixta de la neurona motora superior e inferior por ejemplo pacientes con espina bífida.

**Tabla 1.** Clasificación de la Escoliosis neuromuscular.

Neuropatías Primarias	Miopatías Primarias	Neurona Motora Inferior
Neurona Motora Superior	Distrofia Muscular	Poliomielitis
Parálisis Cerebral	Duchenne y Becker	Otras mielitis virales
Degeneración espinocerebelar	Pélvica (Limb-girdle)	Trauma
Ataxia de Friedreich	Facioescapulohumeral	Atrofia espinal
Enfermedad de Roussy-Levi	Distrofia miotónica	Charcot-Marie-Tooth
Ataxia espinocerebelar	Artrogriposis	Atrofia espinal (Tipo I y II)
Siringomielia	Hipotonía congénita	Disautonomía
Tumor intramedular		Síndrome Riley-Day
Trauma raquímedular		
Lesión medular		
Miopatías Congénitas	Motoneuronal Mixta	Colagenopatías
Nemalínica	Esclerosis Lateral Amiotrófica	Síndrome de Marfan
Central Core Disease	Mielomeningocele	Síndrome de Ehlers-Danlos
	Médula anclada	

**Fuente:** Allam AM & Schwabe AL. 2013.

Las colagenopatías, que no están explícitamente integrados en esta clasificación, son esencialmente disautonómicas, hipotónicas y presentan un comportamiento muy similar al resto de las escoliosis sindrómicas es por esto que consideraríamos integrarlas a esta serie (5).

Los pacientes que presentan patología neuromuscular, tienden a desarrollar escoliosis, de manera mucho mas frecuente que el resto de la población, 25 a 90% de incidencia en pacientes con patología neuromuscular, versus 2 a 4% en la población normal (6), si bien ciertas patologías tiene mayor incidencia de deformidades de columna que otras (Tabla 2).

**Tabla 2.** Incidencia de escoliosis neuromuscular según la etiología.

Diagnóstico	Incidencia
Parálisis cerebral (paraparesia o hemiparesia)	25%
Mielodisplasia (nivel lumbar)	60%
Atrofia espinal	67%
Ataxia de Friedreich	80%
Parálisis cerebral (tetraparesia)	80%
Atrofia muscular de Duchenne	90%
Mielodisplasia (Nivel torácico)	100%
Parálisis traumática (en mayor de 10 años)	100%

**Fuente:** Cognetti D, Keeny HM, Samdani AF, Pahys JM, Hanson DS, Blanke K, et al. 2017.

En pacientes que presentan enfermedades neuromusculares de rápida progresión y con esqueleto inmaduro, la probabilidad de desarrollar escoliosis es muy alta (60 - 80%) (7). En pacientes con enfermedades de progresión mas lenta, la escoliosis se presenta en menos de un 32% (7)

Lonstein et. al, desarrollaron la única clasificación para escoliosis neuromuscular, que califica a los pacientes por morfología y no por etiología, que es lo que definen el resto de las clasificaciones, considera solo dos parámetros: la forma de la curva y la presencia o ausencia de oblicuidad pelviana.

1. *Grupo uno:* curva doble torácica y lumbar con poca oblicuidad pélvica, paciente balanceado.
2. *Grupo dos:* curvas lumbares o tóraco-lumbares mayores con severa oblicuidad pélvica y paciente desbalanceado (8)

Ninguna clasificación permite definir una conducta a seguir, pero en aquellos pacientes con curvas mayores a 100°, se diseñó una clasificación morfológica, que guía parcialmente el pronóstico de estos pacientes. Esta clasificación, si bien muy utilizada en escoliosis neuromuscular, no fue diseñada específicamente para estos pacientes, es independiente de la etiología de la curva y netamente definida por magnitud.

El grupo FOCOS, liderado por el Dr. Boachie(9) , diseñó una clasificación morfológica basada en radiografías de columna anteroposterior y lateral, pero también en tomografía axial computada (TAC) con reconstrucción 3D.

Se traza una línea horizontal que bisecta la vértebra apical. En el TAC con reconstrucción 3D se identifica la VES (Vértebra del extremo superior) – VEI (Vértebra del extremo inferior), según estas dos mediciones, se determina el tipo de curva, según la posición de ambas vértebras (VES y VEI) en relación a la horizontal (Tabla 3).

**Tabla 3:** Clasificación de escoliosis con curvas mayores a 100°.

Tipo de curva	Descripción
Tipo 1	Si VES y VEI se encuentran en extremos opuestos de la línea horizontal de la vértebra apical
1C	Curva coronal > 100°
	Curva sagital < 100°
1S	Curva Coronal < 100°
	Curva Sagital > 100°
1CS	Ambas curvas > 100°
Tipo 2	VES o VEI se posicionan traspasando la horizontal de la vértebra apical
2P	
Omega parcial o Pseudo – Omega (W)	VES se posiciona a nivel o bajo la línea horizontal de la vértebra apical
2D	
Omega parcial o Pseudo – Omega (W)	VEI se posiciona a nivel o sobre la línea horizontal de la vértebra apical
2 PD	
Deformidad en Omega (W)	Si VES y VEI se encuentran a nivel o traspasan la horizontal
Tipo 3	
Deformidad en Gamma (g)	Trasposición en ambos planos (La vertebra apical traspasa la horizontal y queda paralela a la vértebra del siguiente segmento, Cobb mayor a 180°)
Tipo 4	
Deformidad en alfa (a)	La columna presenta un segmento proximal vertical, segmento medio horizontal y segmento distal vertical en el plano coronal y asemeja una bayoneta en el plano sagital

**Fuente:** Karikari IO, Pang H, Yankey KP, Duah HO, Akoto H, Hodes R, et al. 2019.

Por el momento, no existe una clasificación que nos permita homogeneizar la morfología, tratamiento o seguimiento de estos pacientes, por lo que la medición de los resultados de los tratamientos está basada en mediciones radiológicas y cambios en la calidad de vida de estos pacientes medidos por cuestionarios que no están necesariamente diseñados para este fin.

## Fisiopatología

La fisiopatología de la escoliosis neuromuscular no es clara, las múltiples etiologías que se agrupan bajo esta denominación son increíblemente variadas, en común tienen alteraciones del SNC, muscular y que deben estar presentes durante el crecimiento de los niños. Existen bastantes estudios en la literatura en que se asocian las consecuencias de presentar una curva en las funciones vitales de los pacientes, por ejemplo, el incremento en el riesgo de presentar patología ventilatoria(10). Sin embargo, no hay evidencia, sobre la causalidad de presentar patología neuromuscular y escoliosis.

Existen algunos acercamientos a los fisiopatología de la escoliosis, el experimento mas conocido, fue realizado por Marie-Jeanne Thillard en 1959, en que pinealectomizó 300 pollos, 65% de ellos desarrollaron escoliosis, aquellos con daño al hemisferio cerebral derecho, desarrollaron una curva izquierda y viceversa, esta experiencia pudo ser reproducida por el Dr Dubossett en 1987(11). La teoría de la usencia de melatonina no ha podido ser reproducida ni en cuadrúpedos, ni en humanos, pero se postula, que la vía de algún neurotransmisor debió verse interrumpida para que se desarrolle la deformidad, como alternativa a este neurotrasmisor, se planteó la calmodulina, siendo este un mensajero secundario que modula la acción de la melatonina, los pacientes con escoliosis tienen aumento en la concentración de calmodulina en las plaquetas, lo que podría producir un desbalance muscular(12), otros mediadores estudiados han sido la leptina, los estrógenos y polimorfismos en la hormona de crecimiento.

En escoliosis idiopática del adolescente, existen múltiples teorías que intentan explicar la etiología de la escoliosis(12): Una disminución en la habilidad osteogénica de las células osteoprogenitoras derivadas de la medula ósea, se ha visto que los pacientes con escoliosis idiopática del adolescente (EIA), tienen alta predisposición a una diferenciación adipogénica y presentan una baja densidad ósea, se han encontrado bajos niveles de vitamina D en estos pacientes y alteraciones en el metabolismo de los lípidos(12).

Otros estudios se han centrado en la herencia genética, desde alteraciones hereditarias en el cromosoma X y hasta herencia poligénica, hasta los efectos epigenéticos sobre el miRNA, como factores epigenéticos se han postulado múltiples causantes ambientales, el selenio, el cloro, incluso la microbiota intestinal, todo esto llevaría a modificaciones en la morfología y simetría del músculo y de la matriz ósea.

Lo que más se acerca a explicar la etiología de la curva tanto en escoliosis idiopática como neuromuscular, son alteraciones consistentemente encontradas, en el cerebro y sistema vestibular, tales como asimetría del cuerpo callosos y alteraciones cerebelosas. Lo que no ha podido ser confirmado, es si estas alteraciones son una causa o consecuencia de la curva. Asimismo, las teorías biomecánicas han sido reproducibles *in vitro*, pero no *in vivo*.

Estudios con modelos finitos exploraron la posibilidad que un sobre crecimiento anterior asociado a la fuerza de gravedad podría promover la progresión de la escoliosis (12, 13), algún efecto parece tener también la rigidez del disco, que predispondría a la rotación vertebral. En escoliosis idiopática del adolescente, se ha estudiado con mayor detenimiento la participación de los tejidos blandos en su patogenia. Un estudio mostró que un 82% de los pacientes presentaban importantes alteraciones en las fibras del colágeno del ligamento amarillo y defectos en el metabolismo de la fibrina (13). Considerando la gran cantidad de pacientes con alteraciones en el metabolismo del colágeno o de la fibra muscular que presentan escoliosis, algún grado de importancia para la progresión de las curvas debe estar dado por estos factores Micro estructurales. No ha sido posible predecir ni en escoliosis idiopáticas del adolescente, ni en escoliosis neuromusculares el tipo de curva o la progresión de ésta. Probablemente la explicación es multifactorial.

No existe asociación entre la etiología de la patología neuromuscular, el patrón de la curva, los tiempos de progresión y la magnitud que nos permitan definir una línea de tratamiento, conocemos ciertos factores que nos pueden ayudar a predecir la magnitud de una deformidad: la edad de inicio de la

enfermedad neuromuscular de base, la bipedestación, la severidad y velocidad de progresión de la debilidad (1). Debemos recordar además que estos pacientes presentan curvas que progresan pese a haber alcanzado la madurez esquelética, independiente de la magnitud de la curva (14), lo que los diferencia enormemente de los pacientes con escoliosis congénita o idiopática, que una vez cerradas las fisis, si la curva es de moderada magnitud, tiende a mantenerse estable en el tiempo(15). Llega un momento en la magnitud de la curva en que la gravedad comienza a actuar de manera independiente de la etiopatogenia de ésta, y la progresión se vuelve independiente por lo que la curva colapsa y acelera su velocidad de progresión.

Estos paciente generalmente presentan numerosas comorbilidades (14), desnutrición, alteraciones ventilatorias, cardíacas, otras malformaciones del canal medular o de otros sistemas, por lo que las decisiones quirúrgicas en estos pacientes requieren detallada evaluación multidisciplinaria.

## Tratamiento

### Tratamiento Conservador

El manejo conservador está recomendado en curvas muy pequeñas, en paciente muy jóvenes (16) o en aquellos pacientes que por comorbilidades, están momentánea o definitivamente fuera del alcance quirúrgico (16). Es la opinión de éste cirujano, que la cantidad de pacientes que no son susceptibles de ser manejados quirúrgicamente, es mínima y que todo esfuerzo de compensar las patologías de base para someter a un paciente a una cirugía de estabilización deben ser realizados, dado el cambio en la calidad de vida que implica para estos pacientes la estabilización de su deformidad(13). Por lo demás, está demostrado que la cirugía es el único tratamiento que detiene la progresión de la curva, corrige la deformidad, y genera un verdadero cambio en la evolución natural de la misma (4).

El tratamiento conservador consiste principalmente en el uso de corset o de sillas moldeadas. Tanto los corsés como las sillas deben ser a medidas y tomar como consideración los puntos de apoyo donde los niños pueden presentar úlceras de presión (16). Pese a la existencia de esta herramienta, no

existe evidencia respecto a la utilidad del uso de prótesis en pacientes con escoliosis neuromusculares (13)

Dentro del manejo conservador, se contemplan a su vez otro tipo de terapias disponibles, tales como el uso de baclofeno y la toxina botulínica (4), para manejar la espasticidad y mejorar la deformidad causada por compensaciones secundarias.

Ciertas patologías específicas requieren tratamientos asociados específicos, que pueden cambiar el pronóstico de la enfermedad, por ejemplo el uso de corticoides ha modificado satisfactoriamente la evolución de los pacientes con distrofia muscular de Duchenne (17) y el uso de Nusinersen en la atrofia espinal(18).

### Tratamiento Quirúrgico

El objetivo de la cirugía en escoliosis es dejar un paciente con una columna bien balanceada y estable, no necesariamente corregida. Debemos considerar minimizar el dolor, maximizar la función respiratoria, cardíaca, gastrointestinal y funcional del paciente (2). Idealmente dejarlo bien sentado en su silla de ruedas en caso no ambulatorios, que la pelvis esté lo suficientemente balanceada para evitar puntos innecesarios de presión y escaras. Cuando el niño queda bien estabilizado, el paciente logra deglutir y ventilar mejor con la consecuente mejoría su estado nutricional (19).

Para los padres, la cirugía del niño también es fundamental, mas allá de tranquilizarse con un niño sin dolor y que ventila mejor, les permite movilizarlo de manera mas segura en sus actividades de vida diaria, la expectativas de los padres en estos pacientes son la facilitación de las actividades de vida diaria, principalmente la movilización, se espera que el niño no colapse al ser trasladado a la silla, o al bañarlo, facilitar las alimentación e higiene, tanto por el hecho de poder movilizarlos hasta la tina de baño como porque evitan la concentración de humedad en los pliegues producidos por la deformidad. No

existen cuestionarios dirigidos de calidad de vida que aborden este tipo de actividades, por lo que la mejoría del paciente es mas una percepción de satisfacción de pacientes, cuidadores y profesionales de la salud, que una puntuación específica.

La cirugía mejora la calidad de vida de estos pacientes (20, 21), la alta probabilidad de complicaciones se puede minimizar de manera significativa con una buena planificación preoperatoria: la decisión debe considerar múltiples factores

1. El tipo de deformidad
2. La forma de la curva
3. La edad del paciente
4. La patología de base.
5. La comorbilidad asociada
6. Los objetivos para el niño y los padres
7. La capacidad de marcha
8. El estado neurológico basal
9. La expectativa de vida esperada
10. Las probables complicaciones post operatorias (4)

El objetivo final de la cirugía debe ser: lograr una columna balanceada, con una pelvis nivelada, que permita una adecuada funcionalidad sea en bipedestación o sentado en una silla de ruedas.(4)

### Historia de las Técnicas quirúrgicas

Las técnicas quirúrgicas en cirugía escoliosis se han ido modificando con el tiempo. A principios del de siglo XX, Albee, Calor y luego Hibbs (22) presentaron los primeros reportes de artrodesis posterior no instrumentada, con aporte de injerto. En 1962, se describió la primera instrumentación para deformidades de columna, diseñada por Harrington (23) que se basaba en una corrección uniplanar, sólo el plano coronal con distracción de la concavidad y compresión de la convexidad. Esta instrumentación

llevo como consecuencia el aplanamiento de la cifosis torácica y la lordosis lumbar en el plano sagital. Asociaba además como complicación, gran cantidad de fatiga de material, puesto que toda la carga estaba sobre una barra de acero inoxidable de 6 mm de diámetro apoyada en la lámina o en la transversa. La adición de un dispositivo de tracción transversal permitió montar un cuadrado que logró darle mayor estabilidad al constructo, aún así la capacidad de reducción y las complicaciones asociadas a la técnica llevaron a Luque en el año 1976 a describir la primera técnica de fijación segmentaria (24, 25). En esta técnica Luque describe la colocación de alambres bajo las láminas, acercando la columna a barras previamente moldeadas lo que permite tres cosas: realizar una reducción lentamente progresiva, corregir parcialmente el plano sagital y distribuir las cargas de manera homogénea, lo que disminuye la tasa de falla del implante. Una modificación a la técnica de Luque fue descrita por Dove-Hartshill (22) que consiste en utilizar la técnica de Luque sobre un marco para lograr mejor estabilidad.

Otra muy conocida modificación fue la asociación de la técnica de fijación sacra de Galveston (26) con la barra de Luque, modificación que pasó a ser conocida como Luque – Galveston. Esta técnica ha demostrado a través del tiempo una buena corrección coronal, con mantención de los parámetros a través de los años, baja tasa de complicaciones precoces y tardías (27). Ha dejado de ser utilizada por la dificultad de colocar los ganchos sublaminares, la poca capacidad de corrección en el plano sagital y el advenimiento de nuevas técnicas de corrección.

En el año 1983, Cotrel, Dubosset y Guillaumat introdujeron el concepto de la instrumentación segmentaria de columna (22). Describieron la utilización de ganchos pediculares y posteriormente tornillos los que se unía a una barra que estaba previamente moldeada, con lo que era posible manejar la columna con gran seguridad en los planos coronal, sagital y parcialmente en el plano axial. Desde su masificación en los años 90 se ha mantenido como el Gold estándar para la cirugía de deformidades por vía posterior, pero el concepto de corrección se ha ido modificando con el tiempo, así como nuevas variaciones a la técnica de tornillos pediculares que han permitido mejorar la corrección y disminuir los tiempos de cirugía.

El uso de alambres sublaminares fue muy popularizado por Luque en los años 80 (24). Luego pasaron al desuso por el advenimiento de los tornillos pediculares, pero en los últimos años ha habido un resurgimiento de la técnica de fijación sublaminar. Esta técnica se basa en la fijación en el arco posterior, las desventajas son:

1. Requiere entrar al canal medular, con el consiguiente riesgo de durotomía incidental o lesión neurológica (28), especialmente en revisiones.
2. Tiene menos control sobre la rotación vertebral

Las ventajas son:

1. Permite anclarse al arco posterior, que es la parte de la columna con mayor densidad ósea en pacientes eminentemente osteoporóticos y es anatómicamente mas reconocible en pacientes con vértebras dismórficas (28, 29).
2. Lograría restaurar mejor el balance sagital (30) aunque no hay estudios tipo I o II que evidencien esto.
3. Tiene la misma capacidad de corrección coronal que otras técnicas.

## Técnicas quirúrgicas actuales

### Vía anterior

La vía anterior también se ha planteado como una posible solución a estas curvas, sea de manera aislada o en combinación con una vía posterior. Estas pueden ser utilizadas como técnica única o asociada a una vía posterior, sea en uno o dos tiempos quirúrgicos.

Un meta-análisis con 602 pacientes mostró que si bien existe una diferencia estadísticamente significativa en los parámetros globales al combinar en un mismo paciente, una vía anterior y posterior,

el estudio por subgrupos, orientado al análisis de ángulos específicos, no mostró mayores diferencias en utilizar una vía posterior única o una vía combinada, salvo en la corrección coronal de la curva y de la oblicuidad pélvica (31), en que el grupo de cirugía combinada logró una corrección mayor. Es importante sopesar esta pequeña ganancia en corrección versus tiempo operatorios, sangrado, complicaciones y otros.

## Vía posterior

### *Tornillos pediculares.*

Los tornillos pediculares, desarrollados por Cotrel y Dubosset en la década del 80, se han difundido (32) como la alternativa mas adecuada para la corrección de las escoliosis. Originalmente se planteo la necesidad de colocar tornillos pediculares en todos los niveles a fijar, con el tiempo se vio que esto no era necesario para lograr buena corrección. Esto se ha estudiado principalmente en escoliosis idiopática (33), en nuestra serie de escoliosis idiopática, estudiamos 130 pacientes comparando las dos técnicas, sin encontrar diferencias significativas en la corrección en ninguno de los tres planos.

Constructos mas rígidos con alta densidad de implantes han sido correlacionados con la presencia de hipercifosis de la unión proximal (PJK: Proximal junctional kyphosis) (34)

### *Oblicuidad pélvica*

Un porcentaje importante de los pacientes con escoliosis neuromuscular es no ambulante, y es fundamental corregir la oblicuidad pélvica para dejar al paciente bien sentado en su silla y evitar escaras por presión secundario a puntos de apoyo asimétricos. Existen diferentes técnicas para poder re balancear la pelvis, pero la mayoría de ellas requieren la inclusión de la pelvis en la fijación (35). En algunos casos se opta por no fijar la pelvis, por lo general en pacientes que, si bien no caminan, tiene algún grado de capacidad de bipedestación. En pacientes con menos de 15° de oblicuidad pélvica, se ha visto que la oblicuidad es estable en el tiempo, pero en aquellos pacientes con mas de 15° de oblicuidad, la pelvis

tiende a incrementar su angulación, a lo largo de los años (36). Se recomienda además solo prescindir la fijación iliaca en aquellos pacientes en que el ápice de la curva lumbar está por sobre L2, aprovechando la capacidad de auto estabilización del paciente (37).

Actualmente son 2 las técnicas más utilizadas para la fijación pélvica

1. La colocación directa de tornillos a la cresta iliaca 1cm por caudal y anterior a la espina iliaca anteroinferior. Actualmente se propone el uso de doble tornillo iliaco, lo que permite mejor estabilidad mecánica y evita el conocido “efecto limpiaparabrisas” que produce osteolisis alrededor del tornillo.(38)
2. La colocación de tornillos desde la segunda vértebra sacra, atravesando el ala sacra y la cresta iliaca, descrita por Kebaish (39). Este tipo de tornillos tendría menor incidencia de aflojamiento y falla, (39, 40) además de permitir que el tornillo iliaco mantenga una sola línea con los tornillos lumbares, permitiendo prescindir del uso de un conector.

### Técnicas mínimamente invasivas

El alto porcentaje de complicaciones y mala calidad de tejidos en estos pacientes ha llevado a intentar instrumentarlos con técnicas menos invasiva. Existen algunos intentos descritos, pero la magnitud y rigidez de las curvas hacen estas técnicas sean difíciles de utilizar. Una posibilidad es un abordaje entre el Multifido y el Longuísimo para evitar sangrado (41) que si bien es una técnica menos invasiva, no es percutánea (42). Miladi en París, diseño una técnica de no fusión, que consiste en instrumentar a proximal con 4 ganchos en garra y a distal solo los iliacos a través de un abordaje mínimamente invasivo y luego deslizar subfasciales las barras buscando la corrección a través de distracción y ligamentotaxis (43). Sus resultados a 2 años han sido positivos, pero falta esperar seguimiento para definir si en este sistema de no fusión, el material de osteosíntesis resiste los ciclos de carga y no se rompe o si se producen focos de pseudoartrosis.

En curvas muy significativas, existen 3 soluciones para aminorar el trauma quirúrgico, obtener mejores correcciones y facilitar la tarea del cirujano, exponiendo menos al paciente a complicaciones

1. Uso de tracción:

a. Externa: que puede ser pre – operatoria o intraoperatoria. Los tiempos de tracción preoperatoria son variables, pero se espera lograr al menos un 25% del peso del paciente en tracción. Se ha observado una mejoría significativa en la función respiratoria de estos pacientes, lo que lleva a mejor alimentación y nutrición pre – quirúrgica(44). Después de 3 semanas la curva de corrección disminuye de manera exponencial(45)

i. halo – craneana

ii. halo – femoral

b. Interna: distracción temporal intraoperatoria. (46)

2. La liberación anterior, que implica la resección de los discos intervertebrales y el ligamento común vertebral anterior (47).

3. Las osteotomías.

Jackson y cols., comparó la tracción preoperatoria, versus la liberación anterior en 23 pacientes, todos con curvas mayores a 100° y con mas de 2 años de seguimiento, obtuvo mejor corrección en el grupo con tracción, en el grupo de liberación anterior, en post operatorio inmediato los tiempos de cirugía fueron mayores y hubo el doble de complicaciones, pero en el análisis final, ambos grupos de pacientes obtuvieron resultados similares (31). El grupo de Saint, Louis encontró similares resultados en cuanto a corrección pero significativas diferencias en complicaciones sangrado y tiempos de hospitalización entre ambos grupos, que favorecían el uso de tracción por sobre la liberación anterior (48). Actualmente el uso de halo tracción preoperatoria está ampliamente difundido. En nuestro país las dificultades de mantener a los pacientes en tracción, están dadas por que no es posible enviar a los pacientes a hospitalización domiciliaria bajo tracción, el paciente debe permanecer hospitalizado por períodos prolongados, lo cual aumenta la colonización de estos niños con gérmenes intrahospitalarios (49), son niños emocionalmente lábiles que requieren mucho apoyo del medio, lo que sobrecarga a los

padres con la necesidad de permanecer institucionalizados con ellos y es un carga económica importante para la familia y el sistema.

En el caso que las curvas ya sean extremadamente rígidas y la tracción no sea suficiente, existe la posibilidad de realizar osteotomías, que son fracturas dirigidas que permiten modificar el alineamiento, en los planos que sea necesario.

### Osteotomías

Las osteotomías son herramientas que nos permiten liberar la columna para lograr la corrección. Existen múltiples tipos de osteotomías descritas, pero estas fueron ordenadas en una sola clasificación por Frank Schwab (tabla 4, Fig1) y aprobadas por la Scoliosis Research Society (50).

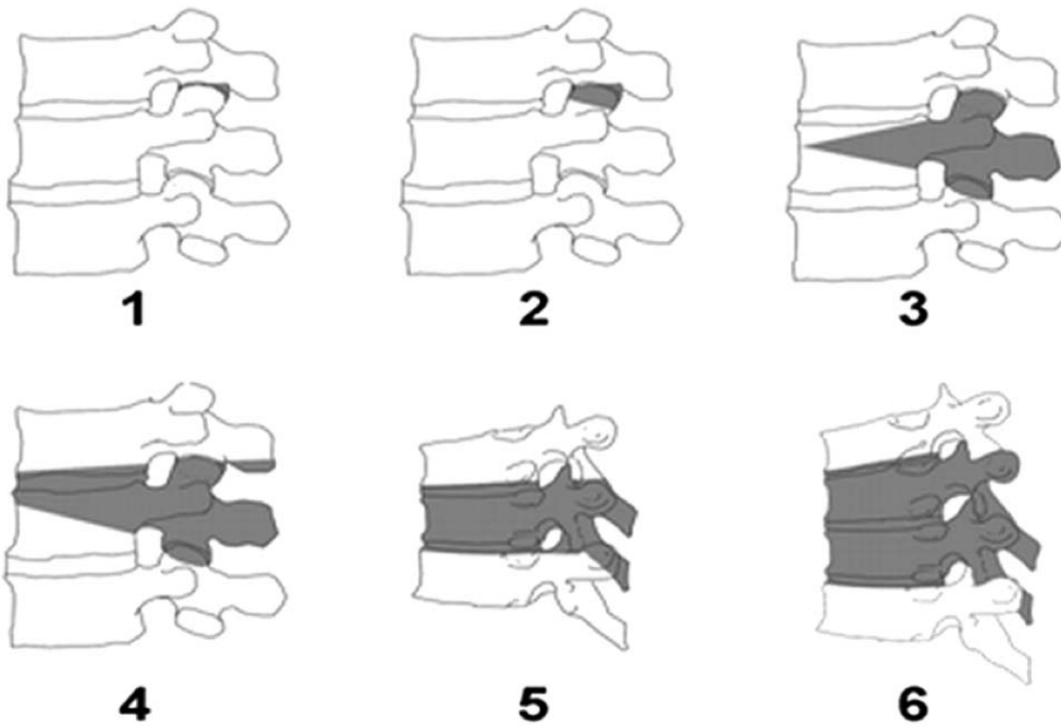
La clasificación se basa en los grados de resección

**Tabla 4:** Clasificación de SRS – Schwab para las osteotomías vertebrales.

Tipo	Resección
1	Resección parcial de las facetas
2	Resección completa de las facetas
3	Resección del pedículo y parcial del cuerpo vertebral
4	Resección del pedículo, el disco y parcial del cuerpo vertebral
5	Resección completa del cuerpo vertebral y el disco
6	Resección de múltiples vértebras y discos adyacentes

**Fuente:** Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropicano P, et al. 2014.

A menudo es necesario realizar osteotomías en pacientes con escoliosis neuromuscular por la rigidez de las curvas, en las grandes deformidades descritas por el grupo FOCOS, normalmente hay que resear 2 o 3 niveles vertebrales, con sangrado y complicaciones importantes, además de ser una cirugía técnicamente muy demandante (51).



**Fig. 1.** Clasificación de osteotomías de Schwab–SRS (50).

**Fuente:** Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropicano P, et al. 2014.

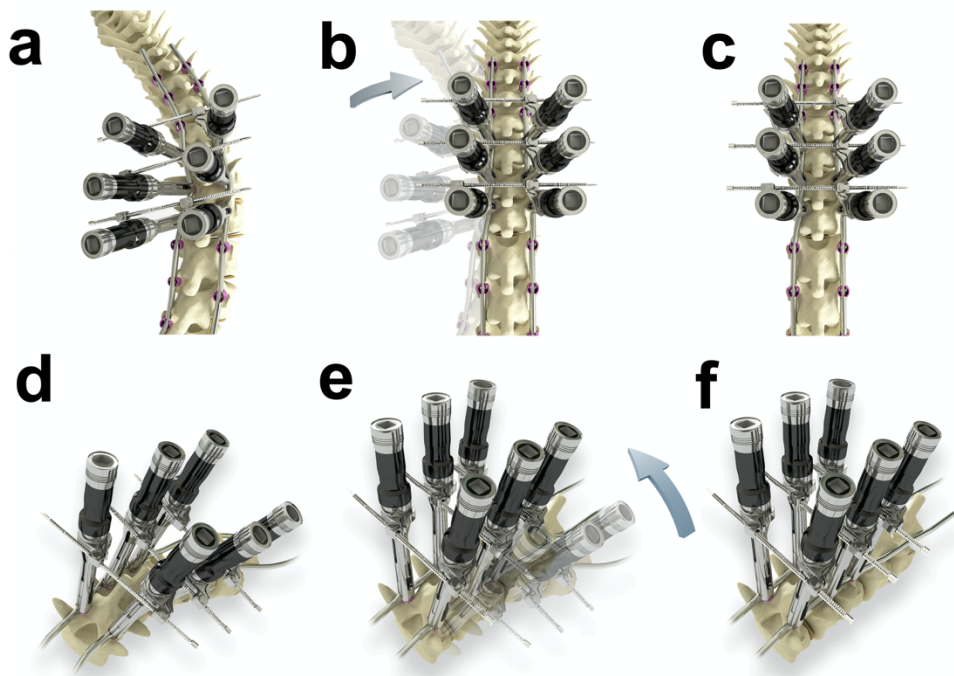
### Sistemas de corrección por vía posterior:

Dentro de los sistemas actuales de instrumentación existen numerosas técnicas para lograr una corrección adecuada. Tras la colocación de implantes en las vértebras, sean tornillos, ganchos, o bandas sublaminares, se coloca una barra que une todos los implantes de un lado y permite corregir la curva tras varias maniobras asociadas.

Las maniobras utilizadas para la corrección de la curva, conocidas hasta el momento, son:

1. La rotación de la barra previamente moldeada en escoliosis, del plano coronal al plano sagital.
2. La traslación de la columna hacia la barra, a menudo asistida con el desplazamiento físico de la giba del paciente hacia la línea media con la mano o asesorado por el ayudante.
3. Cantilever: consiste en aprovechar la ligamentotaxis para llevar la columna hacia la posición deseada haciendo fuerza con la barra.

4. Bendeado in situ: consiste en colocar la barra y luego con la ayuda de grifas ir moldeando la barra para llevar la columna a la posición deseada.
5. Compresión/distracción: esta técnica es la más antigua y puede ser utilizada de diferente forma.
  - Tracción Intraoperatoria: puede ser una tracción de partes blandas, o con la utilización de halo y tracción transesquelética femoral.
  - Distracción transitoria: Consiste en colocar un implante en las vertebra de los extremos de la curva de la curva, con dos barras unidas por un conector, cada 10 minutos y bajo monitorización, se va distrayendo la barra progresivamente(46).
  - Distracción por concavidad y Compresión por convexidad.
6. Rotación vertebral directa: Lenke y Chang., describen la técnica de desrotación vertebral directa en que aprovechando el agarre que permiten los tornillos pediculares, se desrota vértebra por vértebra (52).
7. Manipulación vertebral en bloque o técnica de desrotación apical (DA) (Fig.2): se realiza una rotación hacia la convexidad de todo el ápice de la curva en un solo bloque, aprovecha la longitud de los tornillos que optimizan el torque y al ser en múltiples niveles al mismo tiempo, permite redistribuir las fuerzas, para evitar la fractura de los pedículos. Descrita por Se-Il Suk para escoliosis idiopática del adolescente, ha demostrado excelentes resultados (53), se ha extrapolado su uso a pacientes con escoliosis neuromuscular, si bien, la técnica no fue diseñada con este propósito.



**Fig.2:** Maniobras de la técnica de Desrotación Apical (DA) a: Luego de posicionar la barra, se colocan tubos en las vértebras apicales de la concavidad y la convexidad; b: Se realiza una desrotación de las vértebras del ápice de la convexidad a la concavidad; c: Se cierran el sistema una vez que la columna está en suposición definitiva; d: Visión oblicua de la columna con los tubos adosados; e: maniobra de desrotación en visión oblicua; e: Visión oblicua de la corrección final.

## Fusión

El objetivo final de la cirugía es obtener la fusión de la columna en una posición de corrección lo mas óptima posible, para este propósito, tras terminada la instrumentación, se decortica el arco posterior, generando sangrado, liberación de células osteoprogenitoras y finalmente fusión.

Muchos de estos pacientes tienen una mala calidad nutricional, lo que implica baja densidad ósea, bajos niveles proteicos, colágeno de mala calidad, mala cicatrización de los tejidos blandos y finalmente escasa fusión ósea. Para mejorar la calidad de la fusión, se pueden utilizar diferentes osteoinductores y osteoconductores. Dentro de ellos, se utiliza habitualmente un expansor de injerto como la hidroxiapatita o aloinjertos liofilizados. En algunos casos se agregan componentes mixtos, que conservan algo de su capacidad osteoinductora, como la médula ósea desmineralizada, la cual no está exenta de respuestas

inmunes. Otra manera de inducir la osteogénesis es con el uso de proteína morfogenética del hueso (BMP) (tipo 1 y tipo 2), cuyo uso está bastante difundido en adultos, pese a no tener aprobación por ningún organismo sanitario. En un estudio de 312 pacientes pediátricos sometidos a algún tipo de cirugía ortopédica, con un 73% de pacientes operados de columna, un 21% de los pacientes presentó alguna complicación asociada al uso de BMP, de los cuales un 55% requirió una revisión de su cirugía (54). El problema es que estos estudios tienen un seguimiento corto y no sabemos que va a ocurrir con estos niños en 20 años. Personalmente recomiendo el uso de BMP, solo en aquellos pacientes que ya han presentado fallas en su fusión, mientras no sean de etiología tumoral.

### Consideraciones pre-operatorias.

Los pacientes con escoliosis neuromuscular tienen múltiples comorbilidades que es necesario evaluar antes de somételes a una cirugía. En un estudio con 7252 niños, el 59% tenía mas de 4 comorbilidades (55), con el consecuente incremento en días de hospitalización, complicaciones y costos. Las comorbilidades mas frecuentes son respiratorias, urológicas y síndromes convulsivos asociados (55).

### Evaluación Ventilatoria

Respecto a la capacidad respiratoria, estos niños de base tienen alteraciones obstructivas, dificultad en eliminar secreciones, reflujo gastroesofágico y otras alteraciones nasales como mala movilidad ciliar en las vías respiratorias (56). Se asocia a esta insuficiencia ya conocida, el componente restrictivo conocido como síndrome de insuficiencia torácica secundaria (57). producido por la ineficiente mecánica ventilatoria secundaria a la deformidad de la columna y la caja torácica, la hipotonía muscular o la espasticidad asociadas (58) y el acortamiento del tronco.

Uno de los objetivos de la cirugía es mejorar la capacidad ventilatoria, muchos de estos pacientes son usuarios de BiPap o algún otro tipo de ventilación no invasiva, al menos nocturna. Presentan además

una elevada prevalencia acumulativa de neumonías en su vida de 8.0/100, esto no mejora sustancialmente con la cirugía (10).

La mayoría de los estudios para evaluar el comportamiento de la capacidad ventilatoria con al cirugía, están hechos en distrofia muscular de Duchenne (59) o atrofia espinal, en la mayoría de los casos la función pulmonar, se deteriora antes de llegar a la cirugía por lo que puede ser difícil manejar un paciente en el perioperatorio y destetarlo de la ventilación mecánica, o en algunos casos los deja fuera de alcance quirúrgico.

Con una buena evaluación y preparación, no se ha demostrado una mortalidad mayor en este grupo de pacientes secundaria a patología ventilatoria (56, 59).

### Evaluación cardíaca

La relación entre deformidades espinales y alteraciones cardíacas mayores ha sido previamente demostrada por diversos estudios (60) donde la severidad de la curva está estrechamente relacionada a una función diastólica deteriorada (61). A diferencia de las escoliosis idiopáticas, donde el prolapso de la válvula mitral es la anomalía cardíaca más frecuente (62), las diferentes etiologías que enmarcan a este grupo de escoliosis neuromusculares presentan como sustento fisiopatológico alteraciones genéticas primarias del miocardio, como el caso de la Distrofia Muscular de Duchenne (DMD) ó de Becker (DMB), y/o compromiso de la conducción miocárdica como en el caso de la enfermedad de Emery Dreifuss, Atrofia Muscular Congénita, y Distrofia Miotónica (63).

De forma secundaria, estos pacientes pueden presentar con mucha frecuencia síndromes de hipoventilación central lo que conduce a trastornos del ritmo cardíaco por lo que aunque no exista alteración primaria, deben ser evaluados sobretodo en concomitancia a alteraciones neurológicas centrales (64).

Para pacientes con patologías neurológicas concomitantes a una escoliosis con indicación quirúrgica, cabe destacar que la asociación a alteraciones cardíacas está menos relacionada pero no exenta. Las alteraciones se manifiestan según la severidad de la curva y el origen de la enfermedad. Los pacientes con Mielomeningocele (MMC), quienes frecuentemente se asocian a hidrocefalia y Malformación de Chiari, se asocian además a malformaciones anorectales, genitourinarias y enfermedades cardíacas congénitas, los que en su conjunto determinan pronóstico(65). Las cardiopatías son variables (1,5% a 37%) y las más frecuentes en MMC son los defectos del septo auricular y ventricular seguido de la tetralogía de Fallot (66).

Si bien estudios recientes demuestran que la incidencia de enfermedad cardíaca en PC no es diferente a pacientes con escoliosis idiopática (67) y que por ende no requerirían un estudio mayor con ecocardiograma salvo casos con alteraciones clínicas y antecedentes de importancia, existe evidencia que demuestra alteraciones de la función cardíaca por falla del sistema autónomo. Tras el daño cerebral se desencadenan una serie de eventos relacionados a una hiperestimulación del sistema nervioso simpático. Suele haber hipertensión, hipotensión ortostática, arritmias, trastornos vesico-ureterales y gastrointestinales. Específicamente desde el punto de vista cardíaco es imperativo el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, lo que permite una evaluación práctica y no invasiva acerca de la función del sistema nervioso autonómico, su importancia incluso ha llevado a la pesquisa en edad prenatal para evaluar morbimortalidad en PC. Pero mas allá de estos trastornos, la actividad física reducida y la deformidad torácica pueden afectar la resistencia vascular pulmonar y con ello la función cardíaca, que se altera incluso más en la posición prono del paciente, necesario para la cirugía de escoliosis (68).

Toda la evidencia previa demuestra la presencia importante de alteraciones cardiovasculares en pacientes con enfermedades neuromusculares, lo que sumado a una deformidad espinal aumentan riesgos de falla cardíaca ante cirugía de artrodesis posterior instrumentada.

## Evaluación Urológica

La higiene personal es un problema para estos pacientes y sus cuidadores, eso asociado a factores nutricionales y genéticos, predispone a estos pacientes a contaminación del tracto urinario. La asociación a vejiga neurógena, tan habitual en disrafias espinales y médula anclada los predispone adicionalmente a daño renal (69).

El manejo peroperatorio del tracto urinario es fundamental, en aquellos pacientes incontinentes, se recomienda mantener la sonda urinaria para evitar contaminación de la zona operatoria. Alrededor de un 35% de los pacientes con Mielomeningocele que usan cateterismo intermitente y un 54% con reflujo vesico-ureteral, presenta infección del tracto urinario en la pesquisa preoperatoria (70). Un estudio acabado nos permite anticiparnos a esta situación. Se recomienda tratar a aquellos pacientes que presentan cultivos con mas de 100.000 UFC/campo, la presencia de colonización no es necesario manejarla con antibioterapia pero se debe considera un factor de riesgo en aquellos pacientes con fiebre post operatoria precoz, siendo la causa infecciosa mas frecuente de ésta (71).

## Evaluación neurológica

Existe una asociación entre escoliosis y epilepsia, es mas evidente en pacientes que tienen síndromes genéticos, se ha estudiado principalmente en Síndrome de Rett y el síndrome convulsiones – escoliosis – macrocefalia, es importante conocer estos antecedentes, no solo por el riesgo de status epiléptico post operatorio, sino porque un porcentaje de pacientes que tiene escoliosis y epilepsia, utiliza acido valproico para controlar las crisis convulsivas, un conocido trombocitopénico (72).

El examen físico neurológico de estos pacientes debe ser muy completo, para tener una línea de base antes de entrar a la cirugía, además de la fuerza y sensibilidad, debemos registrar tono muscular y propiocepción. Los pacientes hipotónicos por lo general presentan curvas menos rígidas que los espásticos y son mas fáciles de posicionar en la mesa operatoria. Los pacientes espásticos a veces

requieren tenotomías o liberaciones previas, por que la flexión de extremidades nos puede impedir posicionarlo o traer complicaciones de consideración.

## Evaluación Nutricional

Está demostrado que condiciones de malnutrición se correlacionan con malos resultados quirúrgicos, un aumento en la incidencia de complicaciones y en los días de hospitalización (73).

Los pacientes con parálisis cerebral o miopatías muchas veces son difíciles de manejar desde este punto de vista porque su capacidad deglutoria o de masticación se encuentra disminuida secundaria a espasticidad o hipotonía, 93,8% pacientes con parálisis cerebral demostraron dificultad de alimentación de este tipo en un estudio dirigido (73)

Los efectos de la malnutrición se extienden a todas las áreas de la cirugía, un estudio revisó los efectos sobre el estrés miocárdico durante la cirugía en relación al índice de masa corporal niveles séricos de albúmina y pre-albúmina, y se observó una relación directamente proporcional entre el aumento del stress miocardio (medido en niveles de péptido natrurético tipo B) y estos parámetros (19)

Los niveles de albúmina y pre albúmina no son suficientes para evaluar el estado nutricional, porque muchos de estos niños presentan niveles de pre albúmina normales, pese a estar bajo el percentil 10 en peso y talla (74). Estos parámetros se correlacionan con un aumento en el número de complicaciones post operatorias.

La mayoría de las patologías neuropatías y miopatías se correlación con malnutrición.

Nuestro país tiene los mayores porcentajes de obesidad de Latinoamérica, con un 63% de adultos obesidad y un 7,2% de niños menores de 5 años (OMS), esto lo observamos traducido a nuestra

población de pacientes con escoliosis neuromusculares, en que la mayoría de los pacientes con mielomeningocele son obesos y muchos de los pacientes sindrómicos, como por ejemplo los pacientes con síndrome de Prader-Willis.

La obesidad también se correlaciona con una mayor incidencia de complicaciones postoperatorias por mala cicatrización, mala utilización de glucosa y aumento de los mediadores inflamatorios (73). Es por eso por lo que una evaluación nutricional y preparación del paciente, nos permite evitar complicaciones peroperatorias.

Una vez realizada la cirugía, una buena optimización nos permite acelerar la mejoría de los pacientes y debe ser parte de los protocolos de recuperación precoz tales como ERAS (Enhanced Recovery After Surgery)(75). En muchos casos esto va a implicar medidas invasivas, como la instalación de sondas de alimentación enteral para suplementar las necesidades de estos niños (76).

## Evaluación Psicológica

Si bien muchos de estos pacientes tienen un Retardo del desarrollo psicomotor y por tanto no son susceptibles de interactuar adecuadamente con el psicólogo. Hemos visto beneficios importantes en bajar la ansiedad de los pacientes que podemos manejar previamente de esta forma. Normalmente, la evaluación psiquiátrica nos permite 2 cosas:

1. Evaluar la presencia de patologías psiquiátricas que son incompatibles con una cirugía de esta magnitud.
2. Ayudar a manejar la ansiedad de los pacientes y los padres respecto al proceso de la cirugía.

## Sangrado

Una de las mayores complicaciones de esta cirugía es el importante sangrado que presentan estos pacientes. Los sangrados masivos, considerados como al menos el 30% de la volemia, se produce en al

menos un 50% de los pacientes (77). El sangrado masivo incrementa las complicaciones, tiempos de estadía hospitalaria y costos(78), lleva a su vez a un aumento en el riesgo de infecciones y los riesgo inherentes a la transfusión sanguínea.

Una de las cosas que se correlaciona con la necesidad de trasfusión en estos niños es un peso menor al 3er percentil o IMC menor a  $16.8\text{Kg/m}^2$  , mayor de 15 años, (77), presentar una etiología neurogénica tiene 2,02 veces mas probabilidades de requerir una trasfusión (79), el tiempo quirúrgico con un corte mayor a 255 minutos (76), el número de niveles instrumentados y la magnitud de la curva (77) por cada grado de curvatura, aumenta el riesgo en 1,015 (79).

Existen esencialmente dos formas de manejar el tema del sangrado, intentar preservar sangre o reemplazar lo perdido, dentro de éste último se cita el uso de cell saver que se correlaciona positivamente con una disminución en el uso de sangre heteróloga (80) pero su costo y disponibilidad limita el uso en muchos centros de Latinoamérica, otro mecanismo es la hemodilución (80) y por último la alotransfusión.

Por últimos el uso de fibrinolíticos ha sido una de las medidas que ha mostrado mayor utilidad, inicialmente se utilizó aprotinina, pero bradicardias extremas e incremento de mortalidad hizo que se dejaran de utilizar y se cambiaran por otro tipo de fibrinolíticos (80).

Actualmente el fibrinolítico mas difundido es el acido tranexámico, éste es un análogo competitivo de la lisina que se une de manera reversible con los receptores de ella en el plasminógeno, previniendo la conversión de plasminogeno a plasmina y evitando así la fibrinólisis(72)

El ácido Tranexámico ha demostrado disminución en el sangrado intraoperatorio y postoperatorio en pacientes con escoliosis tanto idiopática (27% menos) (81) como neuromuscular (76). Esto se ha medido evaluando los grupos por volumen total de sangrado y el sangrado por nivel

instrumentado (82). En el perioperatorio, el uso de drenajes también aumenta las pérdidas hemáticas, el uso de ácido tranexámico durante la cirugía (no en el post operatorio), también disminuye las pérdidas a través del drenaje (81).

La dosificación de esta droga ha sido puesta a discusión, las dosis son muy dispersas, desde los 10mg/kg hasta los 100mg/kg en carga y luego 1mg/kg/hora de mantención hasta 10mg/kg/hora de mantención, en un estudio se evaluó esta diferencia y se observó que entre 50 y 100mg/kg/hora ya no habría mayor beneficio en el uso de ácido tranexámico endovenoso. Existe mayor beneficio eso si en el uso de dosis de 50mg/kg versus las dosis de 10mg/kg (83).

El uso tópico de ácido tranexámico es algo que está siendo analizado, nuevamente las dosis son dispares, al parecer de manera tópica el efecto no sería tan dosis dependiente (84). En columna solos dos estudios con nivel de evidencia 1 han publicado el uso de ácido tranexámico tópico. En uno la herida fue irrigada con ácido tranexámico diluido en suero fisiológico antes del cierre de la herida operatoria, en el otro, se colocó el componente tras la laminectomía, ambos mostraron disminución en los débitos de los drenajes en el post - operatorio(84)

#### Otras evaluaciones

Según la patología del paciente, evaluaciones por otras especialidades pueden ser necesarias, algunos pacientes sindrómicos por ejemplo tienen alteraciones del calcio, otros de las hormonas tiroideas, que pueden requerir recomendaciones específicas para cada caso. La prevención de cualquiera de estas alteraciones es el mejor camino para evitar complicaciones peroperatorias.

#### Utilidad de la neuromonitorización en escoliosis neuromuscular

Existe fuerte evidencia que el uso de monitoreo intraoperatorio multimodal es sensible y específico en detectar lesiones neurológicas durante la cirugía de deformidades (74). Tucker y cols.

Describen la utilidad de los potenciales somatosensoriales medulares en estos pacientes por sobre los corticales (85). De las herramientas de monitorización más utilizadas en los últimos años, está en uso de neuromonitorización multimodal consistente en potenciales evocados somatosensoriales, motores (potenciales evocados transcraniales) y electromiografía. Se ha cuestionado la utilidad de utilizar una monitorización en pacientes con escoliosis neuromusculares, debido a que un porcentaje de pacientes no camina, pero no es posible generalizar.

La incidencia de alteración neurológicas iatrogénicas, intraoperatorias en escoliosis neuromuscular es mucho más alta que en escoliosis idiopática de adolescente. Debemos recordar que los casos pediátricos tienen per se, una incidencia de eventos neurológicos 59% más alto que los casos de adulto (86). En un estudio de 3436 pacientes pediátricos un 2,2 por ciento presento déficit neurológico potencial de los cuales un 99,6% fueron detectados por neuromonitorización con un 0,2 por ciento de falsos negativos (87). Un segundo estudio de 315 paciente presenta una especificidad muy similar de 99,3 por ciento (88). Los pacientes más susceptibles a sufrir alteraciones neurológicas durante la cirugía son paciente con hipercifosis y los pacientes con escoliosis asociada a síndrome. Los pacientes con escoliosis neuromuscular frecuentemente tienen ambas características (16).

El estudio más completo realizado a este respecto fue hecho por el grupo de Rizzoli. Se compararon 29 pacientes con escoliosis neuromuscular que fueron instrumentados por deformidad de columna. Al menos un 50% de los pacientes con patología del sistema nervioso central presentaban líneas de base alteradas sea en los potenciales somato-sensitivos o motores. En los pacientes con alteraciones del sistema nervioso periférico, sólo alrededor de un 30% de ellos presentada potenciales normales que permitieran realizar completamente el seguimiento intraoperatorio (89). El porcentaje de falsos positivos fue alrededor de un 14% presente en pacientes con paraparesia secundaria a parálisis cerebral. Se describen múltiples razones para la poca sensibilidad y especificidad en estos pacientes puede existir inmadurez de las rutas motoras, atrofia cortical, alteraciones en la transmisión a través del tracto corticoespinales o alteraciones en el flujo sanguíneo medular secundario a la deformidad (89).

Uno de los puntos controversiales en el uso de monitorización intraoperatoria con potenciales motores es la alta tasa de síndromes convulsivos que se presentan en este tipo de pacientes. Se discute la posibilidad, que los potenciales de activación corticales puedan producir convulsiones en pacientes con bajo umbral. En un estudio con 449 pacientes consecutivamente monitorizados, se encontraron 12 pacientes con historia previa de convulsiones, cuatro estos pacientes correspondían a Escoliosis neuromusculares. Ninguno de ellos presentó convulsiones intra o post operatorias tras el uso de potenciales evocados motores transcraniales (90). Pese a esta evidencia, algunos neurofisiólogos prefieren cargar a su paciente con algún antiepiléptico agregado a los que ya utilizan de base, para asegurar la estabilidad del paciente durante la monitorización.

Otro de las utilidades que presenta el uso de monitorización es la posibilidad de realizar impedanciometría que los tornillos que nos permite un tercer paso de seguridad en cuanto a la posesión del tornillo con relación al pedículo. Esta técnica presenta una sensibilidad en detectar la mala posición del tornillo pedicular de 0,78 Y una especificidad de 0,94 considerando un umbral para tornillos lumbares entre 10-12 mA con un pulso de duración de 300  $\mu$ s. Es una técnica específica pero poco sensible (77). algunas medidas han sido tomadas para mejorar la sensibilidad de la técnica. Regidor y cols describieron una técnica consistente en colocar un solo electrodo en la línea axilar media, capaz de recoger la información emitida por los miótomos de T2 a T6 de cada lado. El umbral descrito por ellos de 12mA, sugiere que, sobre esto, existe una alta probabilidad que el tornillo esté bien posicionado (91). Esta experiencia fue repetida por Weissmann y cols. con 87 tornillos registrados con la técnica descrita entre T2 y T6 considerando un umbral entre 27 Y 30 mA a fin de obtener un 100% de sensibilidad (92).

#### Análisis de Costos.

Los pacientes que presenta escoliosis neuromuscular a menudo tienen comorbilidades importantes con un alto riesgo de complicaciones. Dentro de las aristas a considerar, está el costo asociado, que los convierte en un problema de salud pública.

El grupo de New York University estudio estos costos. El mayor costo de estos pacientes esta en el número y tipo de implantes necesarios para lograr el objetivo planteado en su cirugía. Este costo corresponde al 25% del costo total de operar a estos pacientes, seguido de el tiempo de hospitalización en la unidad de paciente crítico y el uso de aloinjerto o sustituto óseo (58). Existe una relación lineal entre el número de tornillos pediculares utilizados, el número de niveles vertebrales instrumentados, la magnitud de la curva mayor y la magnitud de la curva menor, y el tiempo de hospitalización en una unidad de paciente crítico (58).

Dentro de las decisiones terapéuticas, en este caso, la cirugía, es fundamental considerar el costo ya que va a determinar el número de pacientes con estas características, que el sistema de salud es susceptible de absorber. Considerando que el mayor costo está dado por un factor que es modificable, el costo de los implantes, es nuestro deber conseguir el material de osteosíntesis más apropiado, al menor costo posible. El injerto, sea expansor de injerto o heterólogo, también es un factor que podemos controlar. El tiempo en una unidad de paciente crítico, es parcialmente manejable. Una buena planificación preoperatoria y una adecuada técnica quirúrgica pueden disminuir el tiempo de hospitalización del paciente.

La codificación Chilena se basa en un sistema diseñado en 1974 (93), la codificación para escoliosis es la misma independiente del tipo de escoliosis, otros códigos que se utilizan en esta cirugía, son aquellos para desanclaje medular, osteotomías, toma de injerto y otros. Cada código otorga un valor de derecho a pabellón que va encareciendo el procedimiento. Estos pacientes por lo general requieren mas de un procedimiento durante su cirugía.

## Calidad de vida

El objetivo final de la cirugía en estos pacientes es mejorar la calidad de vida, no existen instrumentos adecuados para medir cambios en la calidad de vida de estos pacientes, secundarios a una cirugía. Existen múltiples cuestionarios que se utilizan en la literatura existente, SRS – 22, SF 36, Kidscreen proyect y otros, pero no fueron diseñados específicamente para esta patología y no consideran la cotidianidad de pacientes y cuidadores. Por lo que la positiva correlación entre cirugía y mejoría en la calidad de vida, está basado en malos instrumentos de medición.

En un estudio realizado en St. Vincent's hospital en Melbourne, en pacientes que hacen la transición de hospital pediátrico a adulto, se observo que las complicaciones a largo plazo de los pacientes no intervenidos durante la niñez era mucho mayor, desde la necesidad de modificaciones en la silla de rueda (27% v/s 100%), tolerancia a las sedestación mas de 2 horas (0% v/s 100%), la necesidad de cambio de posición mas de 2 veces durante al noche (7% v/s 71%), la necesidad de opioides (0% v/s 22%), empeoramiento del reflujo (11% v/s 58%), constipación severa (7% v/s 32%), neumonías recurrentes (27% v/s 77%), escaras por presión (11 v/s 58%), y muerte asociada a insuficiencia respiratoria (2% v/s 10%) (13).

La mayoría de los estudios apoya que la cirugía precoz mejora la calidad de vida global de los pacientes y los cuidadores (94), en algunas patologías específicas eso si, la fusión lumbar, especialmente a la pelvis, puede alterar la funcionalidad del paciente, que depende esencialmente de compensaciones para movilizarse y que estas se corrigen y mejoran durante la cirugía dejando al paciente sin las herramientas necesarias para mantener su actividad. Un ejemplo de esto son los pacientes con distrofia muscular de Duchenne, en que dentro de su hipotonía manejan cierta movilidad, al rigidizar la columna, el brazo de palanca que deben movilizar se vuelve mucho mayor y la potencia muscular disminuida que poseen, no es capaz de sustentarlo, Bridwell analizó este grupo de pacientes y de 48 pacientes estudiados, un 38% empeoró su funcionalidad después de a cirugía (20). Es difícil juzgar si el deterioro

en la calidad de vida es directa consecuencia de la cirugía o es secundario al deterioro natural por la evolución de la enfermedad de base, existen reportes de mejoría de la capacidad ventilatoria de este grupo específico de pacientes (95) y contrapuestos respecto a la supervivencia, si consideramos a los pacientes que aumentan su mortalidad, secundario a la cirugía, versus la curva de calidad de vida de aquellos sin complicaciones, en relación con la población de pacientes no sometidos a cirugía, la cirugía sería beneficiosa, pero al considerar el porcentaje de mortalidad global de los pacientes, la cirugía no aumentaría la expectativa de vida y podría incluso acortarla (21).

## Complicaciones

Las complicaciones perioperatorias son la gran problemática de las escoliosis neuromusculares, son complejas y difíciles de predecir y van de 6,3 a 50% (96). Scoliosis Research Society presentó su estadística para los últimos 12 años, un 6,3% de los pacientes presentó complicaciones, lo interesante fue observar una tendencia decreciente en el número de complicaciones a lo largo de los años, que inicialmente bordeaba el 10%, especialmente en las de tipo infeccioso, respiratorias y de material de osteosíntesis. Las complicaciones mayores son un 39% de todos los eventos (43, 97) La causa más frecuente de complicaciones fueron las infecciones (24,24%), seguida de un 22,73% de complicaciones mecánicas, con un 3,03% de mortalidad.

Dentro de esto destaca el mayor porcentaje de complicaciones con sistema de instrumentación de Luque versus sistemas híbridos y de pacientes con pelvis incluida en la fijación. La vía de abordaje no es particularmente importante (98).

Además de prolongar los tiempos de hospitalización, las complicaciones aumentan el riesgo de readmisión, re-cirugía y por tanto los costos asociados al tratamiento de estos pacientes.

El riesgo de readmisión es 4,7% al medir a 30 días y 6,1% a los 90 días, siendo la infección la causa mas frecuente (sobre 30%), dehiscencia de herida (19%) e infección respiratoria 12 a 13% (99).

Uno de los mejores predictores en evitar las readmisiones es aquellos centros en que se realizan mas de 80/cirugías por año. Este grupo de hospitales tiene un 30% menos de riesgo de readmisión que los hospitales que realizan menos de 20 cirugías/año (99).



## HIPOTESIS Y OBJETIVOS

### Hipotesis

*H1:* El sistema coplanar permite corregir adecuadamente la escoliosis neuromuscular en los tres planos del espacio de modo equivalente a las correcciones obtenidas por los métodos convencionales de desrotación apical.

*H2:* La corrección coplanar permite una mejor restauración del balance sagital en pacientes con escoliosis neuromuscular que la técnica de desrotación coplanar.

### Objetivo principal:

Comparar la capacidad de corrección en tres planos de la técnica de desrotación coplanar versus la técnica de desrotación apical en pacientes pediátricos con escoliosis neuromuscular.

### Objetivos secundarios:

1. Evaluar características demográficas de los pacientes con escoliosis neuromuscular
2. Comparar parámetros quirúrgicos, de laboratorio, clínicos y radiológicos para ambas técnicas en el pre y post operatorio.
3. Evaluar la comorbilidad perinatal, evaluación preoperatoria y parámetros quirúrgicos y ver si se correlacionan con las complicaciones perioperatorias en escoliosis neuromuscular.
4. Comparar las complicaciones tempranas y tardías con la utilización de ambas técnicas en pacientes con escoliosis neuromuscular.
5. Evaluar la utilidad del ácido tranexámico tópico en disminuir el sangrado en pacientes con escoliosis neuromuscular.



## MATERIALES Y MÉTODO

### Comité de ética

El estudio fue aprobado por el comité de ética del área Metropolitana Sur de Santiago (Memo 383/2019, MAT: 66-19082019). Los pacientes o sus cuidadores en caso de menores de edad o de pacientes discapacitados, firmaron consentimiento informado (anexo 1 y 2)

### Diseño del estudio

Se realizó un estudio retrospectivo de datos recopilados prospectivamente de una cohorte de pacientes con escoliosis neuromuscular operados por vía posterior, por un mismo cirujano, en 4 centros, 1 público y 3 privados, entre 2014 y 2017.

### Elección de técnica

La técnica elegida para el paciente no fue una randomización, sino que se basó en las normativas del sistema de salud de Chile. El programa de garantías explícitas en salud para escoliosis exige que el instrumental sea adquirido a través del portal de compra “Chilecompra”, con instrumental previamente licitado, el instrumental que permite hacer la desrotación coplanar fue ingresado al portal el año 2016, luego de ello, la asignación de instrumental fue alternada, determinado por el jefe de adquisiciones o por la disponibilidad del instrumental en la ciudad. El médico no tuvo capacidad de decisión en la selección de instrumental y por lo tanto de la técnica utilizada en el paciente.

### Tamaño Muestral

$$n = \frac{2(Z_{\alpha} + Z_{1-\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2}$$

$Z_{\alpha} = 1,96$  Considerando un Intervalo de Confianza de 95%

$Z_{1-\beta} = 1,2816$  Considerando un poder de 90%

$\sigma^2$  = Desviación standard de 5°, considerando los resultados previos de la literatura (100, 101)

$\Delta^2$  = Considerando un tamaño mínimo del efecto de 20° de diferencia entre los dos efectos (102)

Nos da una muestra de 62, o de 31 pacientes por grupo.

#### Criterios de Inclusión:

1. Escoliosis neuromuscular o colagenopatía
2. Pacientes menores de 25 años. Si bien la literatura considera pacientes pediátricos, en algunas series menores de 21 años y en otras menores de 18 años, en nuestro país, bajo la ley de garantía explícita en salud (GES)(103), se considera que deben ser resueltos todos los pacientes menores de 25 años, por lo que, se reciben pacientes de hasta 25 años en los hospitales pediátricos. Los pacientes neuromusculares, además requieren hasta edad avanzada, el cuidado de sus padres.
3. Artrodesis posterior instrumentada exclusiva.

#### Criterios de Exclusión:

1. Cirugía de Revisión
2. Sistemas de crecimiento guiado.

#### Recolección de datos

Los datos fueron recolectados de los registros de los pacientes y del PACS del hospital. Todas las mediciones radiológicas fueron realizadas con el software Surgimap (Nemaris Inc, 2.2.14.1, NY) e incluyó:

## Variable recogidas en el Pre – operatorio

### Análisis demográfico

- Sexo
- Edad
- Centro donde fue tratado el paciente
  - Público o Privado

### Respecto a patología perinatal

- Patología del embarazo
- Tipo de Parto (Parto vaginal eutócico, Cesárea, Fórceps)
- Semanas del Parto
- Diagnostico prenatal de patologías del recién nacido
- Peso de nacimiento
- Talla de nacimiento

### Anamnesis y examen físico actual

- Capacidad de marcha
- Peso pre - operatorio
- Talla Pre - operatoria
- Comorbilidades existentes
- Cirugías previas
- Actividades deportivas
- En niñas pre – menárquicas, se solicitó identificar la presencia y edad de telarquia en niñas, identificado por la aparición del botón mamario y en niños por el aumento del volumen testicular.

- En pacientes post menárquicas, se tomo la edad de la menarquia en niñas o del cambio de voz en niños, como parámetro de madurez.
- Uso de corsé previo a la cirugía
- Uso de medicamentos, se solicitó de manera específica identificar los medicamentos anticonvulsivantes, de uroprofilaxis y para manejo de asma. Los otros medicamentos se registraron como “otros”
- La presencia de alergias, y en especial, alergia al látex, especialmente en pacientes con mielomeningocele.
- Uso de BiPap nocturno
- Número de infecciones respiratorias agudas bajas por año.
- Número de infecciones urinarias por año, en los casos en que era posible identificarlas, se evaluaron los gérmenes aislados en los urocultivos. Se consideró como infección urinaria, la presencia de mas de 100.000 colonias/campo en el urocultivo. Muchos pacientes con mielomeningocele tenían colonización con 80.000 colonias/campo o menos. Esos pacientes no fueron tratados antes de la cirugía.
- Número de convulsiones por año en pacientes con epilepsia.

Todos los pacientes fueron sometidos al mismo estudio pre – operatorio, independiente del centro hospitalario (Tabla 5).

**Tabla 5:** Estudio pre – operatorio de pacientes con escoliosis neuromuscular.

Estudio	Evaluaciones
Ecocardiograma: se evaluaron malformaciones asociadas y en los pacientes en que fue posible, se midió fracción de eyección.	Pase cardiológico por cardiólogo pediátrico
Espirometría en aquellos pacientes capaces, en ésta se midió VEF1.	
En los casos en que no era posible obtener una espirometría , se complementó con radiografía de tórax, medición de gases sanguíneos , o lo que el especialista estimó necesario, para dar el pase.	Pase Broncopulmonar por broncopulmonar pediátrico
Evaluaciones clínicas: T°C axilar, Presión arterial en mmHg, frecuencia cardiaca en lpm, satO2%.	Pase genético: En aquellos pacientes en que se sospecha una patología sindrómica.

### Exámenes de laboratorio

Hemograma, Velocidad de eritrosedimentación, Tiempo de tromboplastina parcial activada, Tiempo de Protrombina, Tiempo de Sangría, Perfil bioquímico o al menos BUN y glicemia, orina completa y urocultivo.

Pase psicológico, en aquellos pacientes con la capacidad para interactuar con el psicólogo.

### Evaluaciones especiales

1.

Pase neurológico: Pacientes con Sdme. Convulsivos, solicitamos ajuste de la medicación, medición de niveles plasmáticos de ácido valpróico y otras drogas y recomendaciones respecto al manejo post operatorio.

2.

Pase hematológico: paciente con Sdme. De Noonan y déficit de factor VII agregado.

3.

Pase por Neurocirugía: En aquellos casos operados por astrocitoma, chiari y/o médula anclada solicitamos la evaluación por neurocirugía para descartar recidiva tumoral y capacidad de alargamiento o acortamiento medular.

Clasificación de la Academia Americana de Anestesiólogos (ASA) y recomendaciones(104).

Pase anestésico

**Fuente:** Hurwitz EE, Simon M, Vinta SR, Zehm CF, Shabot SM, Minhajuddin A, et al. 2017.

### Variables Radiológicas

El estudio radiográfico fue realizado con radiografías de columna total, de pie, anteroposterior, lateral, bending y tracción en el pre – operatorio, post operatorio inmediato y a 2 años post procedimiento (Tabla 6).

Las radiografías de columna total fueron tomadas en posición de pie para aquellos pacientes que podían mantenerse en bipedestación, con los brazos al frente y sentado para aquellos que no podían.

La proyección en bending, se tomó de pie, pero sin fulcro, en aquellos pacientes que la toleraron o acostado, en aquellos pacientes en que no fue posible lograr una buena proyección en bending, se tomó siempre tracción.

La proyección en tracción se tomó acostado, una persona sujetaba al paciente bajo las axilas y otra de la pelvis y ambas traccionaban en oposición (105).

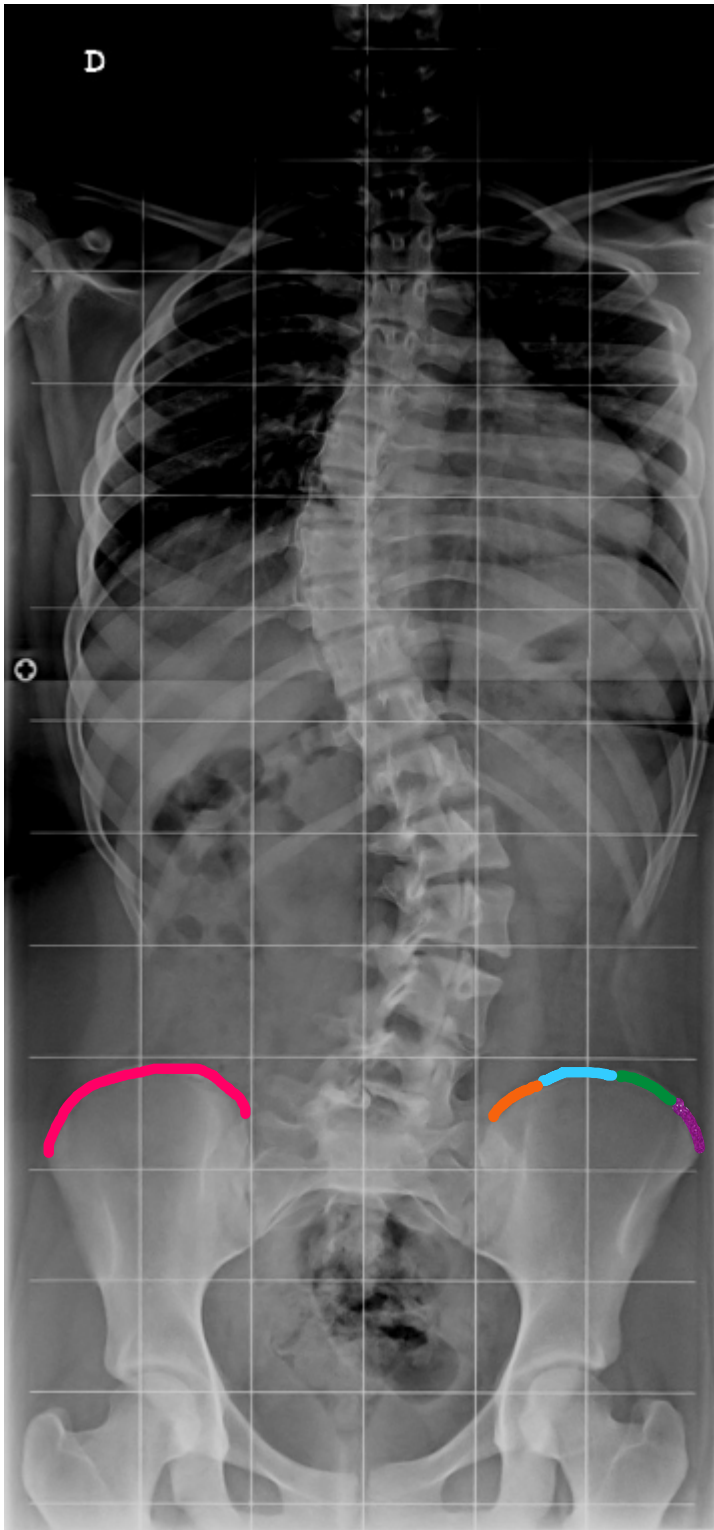
Todos los pacientes fueron sometidos a una resonancia de columna total, la cual se tomó sin sedación en aquellos pacientes que lo toleraron, o con sedación, en caso necesario. Sólo se solicitó el uso de contraste paramagnético (Gadolinio) en aquellos pacientes con cirugía previa de columna (ej: Pacientes operados de medula anclada, tumores o Chiari), esto con el fin de evaluar la fibrosis existente en relación al saco dural, considerando que la tracción a la que podrían ser sometidos durante la instrumentación, potencialmente puede producir una lesión neurológica.

**Tabla 6:** Estudio radiológico preoperatorio.

Examen radiológico	Forma
Radiografía de columna total AP y Lateral	De pie o sentado con brazos al frente
Radiografía de columna total Bending derecha e izquierda	Con el paciente de pie cuando es posible o acostado en aquellos pacientes que no podían bipedestar. Se solicita al paciente lateralizar el tronco lo máximo posible para cada uno de los lados, Esta imagen no fue tomada con fulcro.
Radiografía de columna total en tracción	Con el paciente en decúbito supino, una persona toma al paciente fuertemente desde el tronco por debajo de las axilas y un segundo paciente tracciona al paciente desde la pelvis lo máximo posible.
Resonancia Magnética Columna total	Con/Sin sedación, Con/Sin contraste (Gadolinio).

**Fuente:** elaboración propia.

Se realizó una planificación preparatoria, ocupando una mezcla de mediciones manuales, en aquellos pacientes con placas físicas y software en aquellos con radiografía digital, para estos fines, se utilizó el software Surgimap 2.2.14 (Nemaris Inc, New York, NY). Dentro de las mediciones y como complemento a la determinación del nivel de maduración esquelética de los pacientes, se utilizó la Clasificación de Risser (Fig.3). Las mediciones realizadas se detallan en la tabla N°7 y se grafican en la figura 4 y 5.

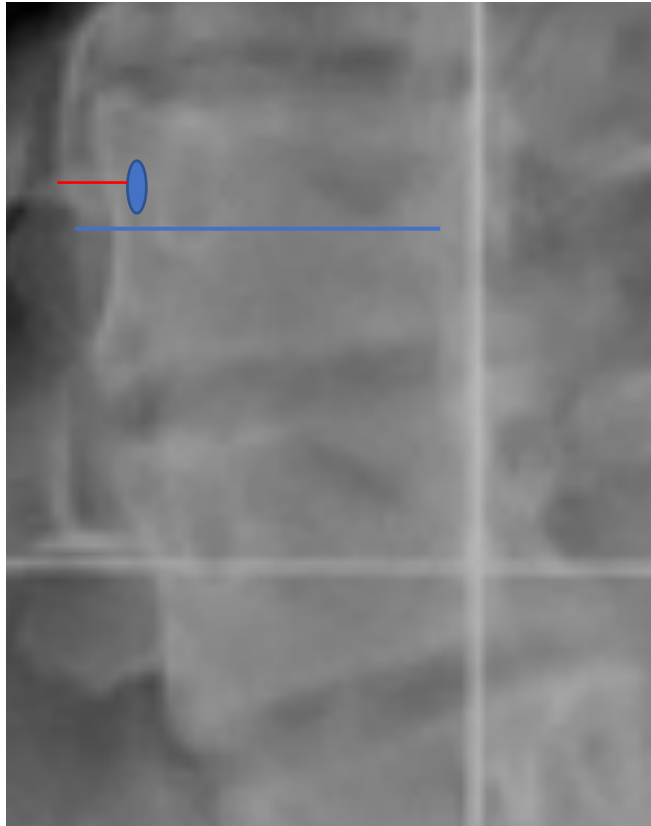


**Fig. 3** Clasificación de Risser: La clasificación de Risser divide a la cresta iliaca en 4 partes, la osificación progresiva de cada uno de estos cuartos nos define el grado de maduración ósea. En la cresta iliaca izquierda podemos ver la maduración según Risser de I a IV: 0=cuando no hay osificación, I=25% de la C iliaca osificada (morado), II=50% de la C iliaca osificada (verde), III=75% de osificación (celeste), IV=100% de cobertura, pero sin fusión completa de la fisis (naranja). En la cresta iliaca derecha vemos en rosado la fusión completa de la fisis que corresponde a Risser V.

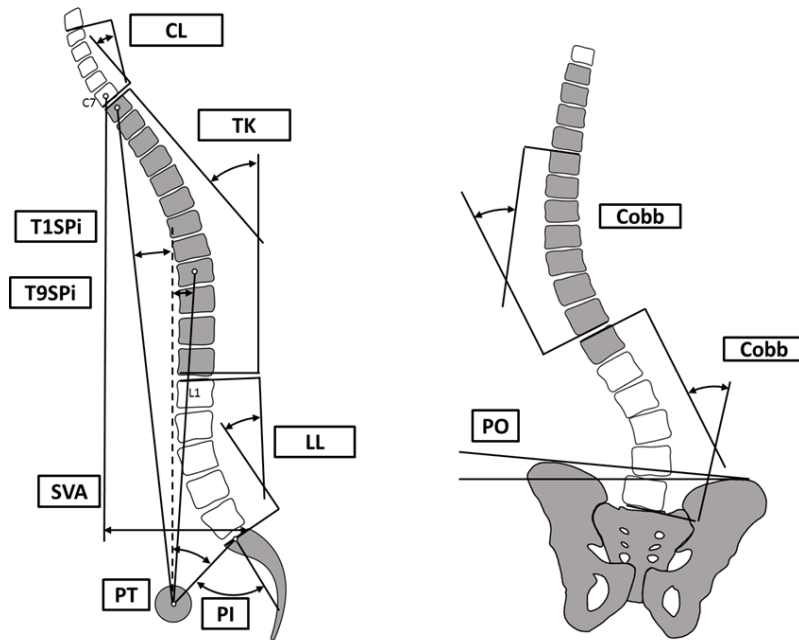
**Tabla 7:** Parámetros radiográficos utilizados y su forma de medición

Parámetro radiológico	Medición
<b>Parámetros coronales o axiales</b>	<b>Medidos en Radiografía anteroposterior (AP)</b>
Risser	Según la clasificación de Risser para maduración esquelética(7) (Fig.3).
Magnitud de la curva para la curva torácica proximal (ápice hasta T5).	Medido según la técnica de Cobb(9), Valor normal = 0°
Magnitud de la curva torácica principal o tóraco-lumbar (ápice hasta L1).	Medido según la técnica de Cobb(9) Valor normal = 0°
Magnitud de la curva lumbar (ápice Lumbar, bajo L1) *	Medido según la técnica de Cobb(9) Valor normal = 0°
Rotación de la vértebra apical de cada una de las curvas.	Medido por el método de Raimondi(6)(Fig.4) Valor normal = 0°
Bending derecho e izquierdo	Se mide la curva en los mismos Cobb que en la radiografía neutra, pero en la radiografía con bending. Se considera el bending de la convexidad de la curva.
Tracción	Se mide la curva en los mismos Cobb en que se midió en la radiografía neutra, pero en la radiografía en tracción.
Oblicuidad pélvica (OP)	Se mide el ángulo que se forma entre ambas crestas ilíacas y la horizontal. Valor normal = 0°.
<b>Parámetros sagitales</b>	<b>Medidos en radiografías laterales</b>
Lordosis cervical (LC)	Cobb medido desde el plateau inferior de C2 al superior de C7 en el plano sagital. Valor normal = $-6.5^{\circ} \pm 11.7(106)$
Cifosis torácica (CT)	Cobb medido desde la plataforma superior T1a la plataforma inferior de T12. Valor normal = $36.6^{\circ} \pm 7.1(106)$
Lordosis lumbar (LL)	Cobb medido desde la plataforma superior de la vértebra superior más inclinada a la plataforma inferior de la vértebra inferior más inclinada, en general el plateau del sacro. Valor normal = $42.5^{\circ} \pm 9.1(106)$
Ángulo de Plateau sacro (Sacral slope (SS))	Ángulo entre el plateau del sacro y la horizontal. Valor normal = $37.2^{\circ} \pm 6.7(107)$
Incidencia pélvica (IP)	Se identifican los centros de rotación de las cabezas femorales y se traza una línea desde éste a el punto medio del plateau del sacro y otro desde este punto, perpendicular al plateau, el ángulo resultante es la incidencia pélvica. Valor normal = $49.4^{\circ} \pm 8.2(107)$
Versión pelviana (VP)	Se identifican los centros de rotación de las cabezas femorales y se traza una línea desde éste a el punto medio del plateau del sacro y la vertical, el ángulo resultante es la versión pelviana Valor normal = $12.4^{\circ} \pm 5.8(107)$
Eje axial sagital (Sagittal vertebral axis (SVA))	Eje entre el centroide de C7 y la esquina posterosuperior del sacro. Valor normal = $-0.54 \text{ cm} \pm 2.7(107)$
Eje T9Spi	Ángulo que se da al trazar una línea entre el centroide de T1 y el centro de rotación de las cabezas femorales y la horizontal. Valor normal = $10.7^{\circ} \pm 5.9.(108)$
Eje T1Spi	Ángulo que se da al trazar una línea entre el centroide de T9 y el centro de rotación de la cabeza femorales y la horizontal, Corresponde al centro de mas del cuerpo (10). Valor normal = $11.7^{\circ} \pm 1.25.(109)$

Fuente:Múltiples



**Fig. 4.** Método Raimondi. El Método de Raimondi nos permite medir la rotación vertebral. Se hace en la vértebra apical (la vértebra mas alejada de la line media). Se mide el ancho del cuerpo vertebral uniendo los ápex cóncavos de la vértebra (línea azul). Luego se mide la distancia entre la delimitación del cuerpo vertebral y el punto medio del pedículo (punto azul) por el lado convexo (línea roja). Fue diseñado utilizando una plantilla de medición que calcula la relación entre ambas distancias. Actualmente es posible utilizar el método sin la plantilla de medición, pero con diferentes softwares que calculan los grados de rotación automáticamente al mascar los puntos descritos. En este caso se utilizó Surgimap 2.2.14 (Nemaris Inc, New York, NY).



**Fig. 5.** Mediciones radiológicas sagitales y coronales **Fuente:** Lafage R., Lafage V.,

Flexibilidad de la curva: Primero identificamos la curva principal, luego, considerando tanto las radiografías en bending como tracción, determinamos en cual de las dos imágenes dinámicas se obtenía la máxima corrección de la curva y lo restamos de este valor. Esto nos permite la real capacidad de corrección de cada técnica.

$$\text{Flexibilidad de la curva} = \text{Cobb Máximo} - \text{Cobb en bending o tracción}$$

Las radiografías coronales se utilizaron para la clasificación de Risser el Cobb coronal para cada curva, (TP), toracia proximal, (T/TL), toracic/toracolumbar (T/TL), y curva lumbar (L), la oblicuidad pélvica y la rotación de vértebra apical (RVA) medida por el método de Raimondi (110). Los parámetros sagitales incluyeron lordosis cervical (LC), cifosis torácica (CT), lordosis lumbar (LL), sacral slope (SS), incidencia pélvica (IP), versión pelviana (VP), eje sagital vertebral (SVA), inclinación espinopélvica a T9 para evaluar el centro de gravedad y T1Spi para evaluar el alineamiento sagital.

## Preparación preoperatoria.

Todos los pacientes fueron hospitalizados el día anterior a la cirugía en la tarde, en una unidad pediátrica. La preparación preoperatoria consistió en:

1. Baño con clorhexidina, la noche y la mañana previa a la cirugía
2. Régimen 0 desde las 24:00 h.
3. En pacientes alérgicos al látex, se realizó el protocolo de alergia al látex institucional del Hospital Exequiel González Cortés (anexo 3)

## Anestesia

Los pacientes por ser menores de edad ingresaron a la sala operatoria con su padre o madre, hasta completar la inducción anestésica. La preparación anestésica también fue estandarizada

1. Anestesia endovenosa en base a propofol y remifentanyl.
2. Relajante muscular: Bromuro de Rocuronio en bajas dosis, para no alterar la neuromonitorización.
3. Manejo de presión arterial media (PAM) con nitroglicerina en infusión y drogas vasoactivas (efedrina y fenilefrina)
4. Uso de Acido tranexámico; Como parte de este estudio, se analizaron 4 grupos de paciente en cuanto a su relación con el uso de ácido tranexámico (TXA). La asignación de estos grupos fue dada por la disponibilidad del insumo y preferencia del anestesista.
  - Sin TXA: Gasas solo empapadas en suero fisiológico.
  - TXA sistémico (e.v): TXA a dosis de 20mg/kg en bolo y luego una infusión continua d 1mg/kg/hr hasta el cierre de la herida operatoria.
  - TXA tópico: 6 grs de TCA en 3 lts de suero fisiológico utilizado para empapar las gasas y compresas y además para irrigación.

- TXA tópico y sistémico: Ambas intervenciones previamente descritas.
- 5. Dos vías venosas permeables.
- 6. Vía arterial para monitorización de la presión arterial.
- 7. Catéter venoso central
- 8. Intubación orotraqueal con tubo endotraqueal con CAF y anillado.
- 9. Uso de Neuromonitorización multimodal con Potenciales evocados somatosensoriales (PESS), Motores (PEM) y electromiografía continua, administrado por un neurofisiólogo, no un técnico.
- 10. Monitorización no invasiva habitual
- 11. Monitorización de temperatura corporal central, esofágica o rectal
- 12. Profilaxis con cefazolina, 50mg/kg/dosis, 1 hora antes de iniciar la cirugía. En caso de alergia a la Penicilina, se utiliza Clindamicina 10mg/Kg/dosis e.v. La dosis se repite cada 2 horas de cirugía o en caso de sangrado mayor a un 10% de la volemia.
- 13. Mantenimiento de la temperatura corporal con calefactor (Bair Hugger)
- 14. Protección ocular con cloranfenicol ungüento y parches oculares
- 15. Protección de eminencias óseas
- 16. Protección de la lengua y los labios con paquetes de gasas y cánula mayo o cánula de endoscopia.
- 17. Sonda nasogastrica.
- 18. Sonda Foley
- 19. Uso de Medias Antiembólicas
- 20. Compresión neumática intermitente.
- 21. No se utilizó cell saver.

## Posicionamiento

El paciente es posicionado sobre una mesa ortopédica, en decúbito prono, con protección de eminencias óseas. Sobre 2 rollos de gel o de tela con protección, que deben extenderse de la axila a la pelvis. Se fijan a la mesa con amarras para evitar su desplazamiento durante las maniobras de rotación de

la cirugía. La cabeza del paciente va sobre un cojín de espuma, que permite dejar los ojos libres para evitar la amaurosis por decúbito prono. El tubo oro-traqueal, debe salir por el lado del cojín a fin de evitar su colapso. Pacientes del año 2017 fueron operados en mesa Jackson.

El paciente debe quedar con los brazos en semiflexión en 90° de abducción de hombros y 90° de flexión de codos hacia volar, apoyados sobre braceras para evitar la distracción del plexo braquial.

Las rodillas deben estar en mínima flexión, sobre protectores de gel, los pies sobre un cojín que permita mantener la semiflexión de rodillas, con punto de apoyo protegido y cuidando que los dedos de los pies no toquen el borde de la mesa para evitar úlceras por presión. Las extremidades inferiores se encuentran cubiertas por medias antiembólicas y compresor neumático intermitente. Tras asegurar la posición adecuada del paciente, con el abdomen libre para evitar ingurgitación del plexo peridural, que drena directamente a la vena cava inferior (111) se fija el paciente a la mesa operatoria por medio de tela de seda o cintas. La zona anal se aísla por medio de un apósito transparente auto adherente.

No se utilizó tracción, de partes blandas o halo tracción, en este grupo de pacientes, para medir el potencial corrector de ambas técnicas.

Una vez posicionado el paciente, se marcaron bajo radioscopia los niveles a instrumentar.

### Asepsia y antisepsia prequirúrgica

Se realizó un lavado con clorhexidina jabonosa al 2% durante 3 minutos. Luego digluconato de clorhexidina al 2% en solución acuosa, el cual se dejó secar por 3 minutos, como parte de la práctica estandarizada del hospital. Tras esto se retiró el exceso y se colocó Ioban®, directo sobre la piel, hasta lograr buena adherencia. Sobre esto se montaron los campos estériles desechables y se preparó el instrumental quirúrgico.

## *Abordaje*

Debemos considerar los reparos anatómicos, sabemos que la espinosa mas prominente cervical es C7 y que la línea entre ambas crestas iliacas está a nivel de L4, sin embargo, los pacientes con escoliosis neuromuscular tienen, a menudo, importante oblicuidad pélvica, por lo que es prudente revisar los niveles a operar antes de realizar la incisión.

Se realizó una incisión de línea media, un nivel por sobre y un nivel bajo los niveles de instrumentación, sobre la línea de las espinosas, con bisturí frío. Luego el celular subcutáneo se incidió con bisturí monopolar, hasta llegar a la fascia superficial. Se apartó el celular con separadores ortostáticos.

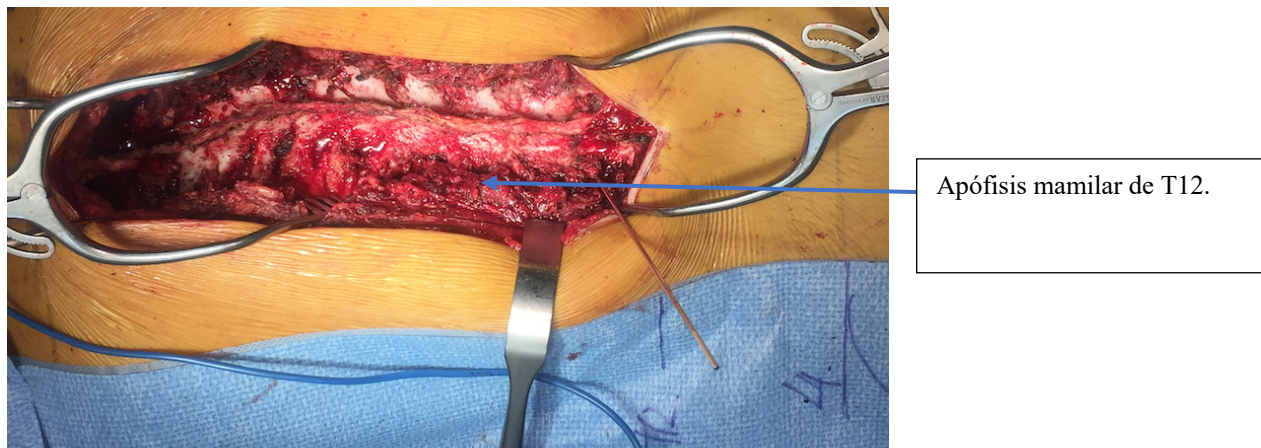
Se disecó la musculatura paravertebral a ambos lados, desde la línea media, subperióstico, para evitar el sangrado, hasta la apófisis transversa, cuidando de no denervar profusamente la musculatura.

Durante el abordaje, en casos sin alteraciones intracanal, se puede trabajó con hipotensión controlada, es decir Presión Arterial Media (PAM) alrededor de 60 a 70mmHg, en aquellos casos con alteraciones intracanal, por ejemplo: las pacientes con secuelas secundarias a un astrocitoma o siringomielia, se mantuvo la PAM sobre 85mmHg.

Hay tres capas que disecar de la musculatura posterior de la columna

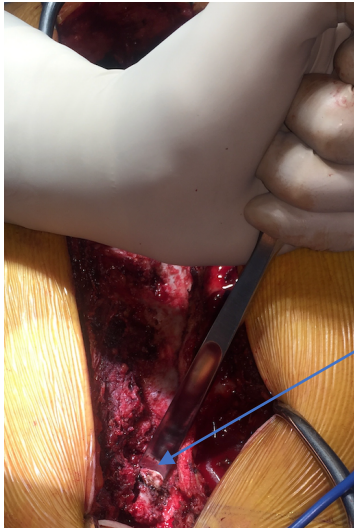
1. Capa superficial: Músculo Trapezio, Dorsal ancho, Romboide mayor y menor y Elevador de la escápula.
2. Capa intermedia: Músculo Serrato, elevadores costales
3. Capa profunda: Erector espinal, multifidos(112).

Al llegar a la capa ósea, se identifican las cápsulas articulares, se debe tener cuidado en no desinsertar las cápsulas articulares de aquellos niveles que no van a ser fusionados, en particular el nivel de instrumentación proximal (Upper instrumented vertebra (UIV)). Se debe también evitar de manera rigurosa, la tracción de las partes blandas y la lesión de los ligamentos supra e interespinoso del nivel proximal, para evitar la cifosis post-juncional. (Fig. 6)



**Fig. 6.** Abordaje y marcaje de T12 **Fuente:** elaboración propia.

Antes de la colocación de tornillos, se confirma el nivel bajo radioscopia, marcando la entrada al pedículo de T12 (Fig. 6). Posteriormente se lava con 1 litro de suero fisiológico con 1gr de vancomicina en el suero y el equipo médico completo se cambia de guantes. Se reseca la cápsula articular de las facetas de los niveles a instrumentar (Fig.7).



Osteotomía de T12. Se observa el cartílago articular de la faceta ascendente tras retirar parcialmente la faceta descendente

**Fig. 7** Facetectomía **Fuente:** elaboración propia.

### *Facetectomía*

Existe la posibilidad de realizar la facetectomía antes o después de la colocación de tornillos pediculares. En esta técnica, nosotros recomendamos la facetectomía previa a la colocación de los tornillos, para evitar que los tubos choquen con la faceta posteriormente. La faceta superior se reseca con un cincel gubia o neurodrill, formando una semiluna sobre la faceta para lograr retirar el fragmento en una sola pieza, la facetectomía debe ser completa para lograr liberar de la mejor manera la curva. El cartílago articular, debe ser retirado con el uso de una cureta u otro objeto cortante a fin de promover la artrodesis (Fig. 7). En el caso de sangrado de hueso facetario, se puede colocar cera ósea, la cual se debe recordar, retirar posteriormente para lograr fusión. El hueso obtenido de las facetectomías debe ser guardado para su uso posterior como injerto autólogo.

### *Colocación de tornillos pediculares*

Para la colocación de tornillos pediculares, se utilizó la técnica descrita por Yongjung Kim y Lawrence Lenke en el año 2004 (113). Esta técnica consta de tres principios:

1. El punto de entrada: Dado por los reparos anatómicos, el punto de entrada en los tornillos torácicos, es levemente variable, desde T1, en que el punto de entrada está en la intersección entre el punto medio de la transversa con la lamina y la Pars interarticularis , el punto de entrada

se mueve mas proximal y medial hasta un punto máximo alrededor de T7 a T9, en que la entrada es en la intersección de la faceta superior, la lamina y por el borde superior del proceso transversal, lateral al punto medio de la base del proceso articular superior. Hacia distal nuevamente el punto de entrada se lateraliza y caudaliza hasta T12, en que la apófisis mamilar marca nuestro punto de entrada, que corresponde a la unión de la bisectriz del proceso transversal, la lamina y justo medial al borde lateral de la Pars interarticularis. (20) En el caso de los tornillos lumbar, el punto de entrada está en relación con la apófisis mamilar, en caso de no poder encontrarla, se debe buscar la bisectriz, entre el punto medio del proceso transversal y la articular ascendente. Se retira el cortical con motor, o en nuestro caso con gubia, donde es posible visualizar el hueso esponjoso que marca el inicio del pedículo, conocido como el "rubor pedicular" ("pedicular blush"). Si bien en casos de pedículo muy corticalizados, es necesario utilizar un punzón para penetrar la primera capa de la cortical, en niños, nuestro equipo, tiende a utilizar directamente la lesna curva, de punta cuadrada, diseñada por Lenke.

2. La trayectoria del tornillo: Se basa en los estudios poblacionales de orientación de los pedículos, en el caso de la escoliosis, requiere una buena ubicación espacial del cirujano y con la tecnología actual, una buena planificación preparatoria respecto al tipo de pedículos y su orientación medio - lateral y céfalo-caudal (114), salvo en aquellos casos en que se cuente con navegador.
3. La sensación: Este parámetro, si bien es el menos cuantificable, es parte de la técnica de manos libres. Con la práctica, es posible tener una discriminación bastante fina respecto a la sensación de estar dentro del pedículo, fuera de él o chocando con alguna de las corticales, lo que nos lleva a cambiar la posición de la lesna (115).

Una vez en el punto de entrada, en columna torácica se posiciona la lesna con la curva hacia lateral, a fin de no sobrepasar la cortical medial, en el caso de la columna lumbar, a menudo posicionamos la lesna directamente con la curva hacia medial, puesto que el riesgo neurológico en la cauda equina es mucho menor. Se debe penetrar suavemente dentro del pedículo, manteniendo la sensación de "rotura de trabéculas", que nos indica que nos encontramos dentro de la trayectoria, en caso

de no poder penetrar, significa que probablemente estamos chocando con alguna de las corticales, sea media o lateral y debemos rotar la lesna según necesidad. Luego de entrar 2cm, que es el largo del pedículo y por tanto la zona de mayor riesgo de traspasar la cortical medial, se retira la lesna y se palpa la trayectoria con un palpador fino y flexible, con una esfera pequeña en su punta que lo mantenga romo. Se deben palpar 5 paredes: superior, inferior, medial, lateral y fondo. Tras asegurar la indemnidad del canal de trabajo, se reinserta la lesna con la punta hacia medial, puesto que a estas alturas ya estamos teóricamente dentro del cuerpo vertebral. Se aumenta levemente la convergencia para poder entrar lo más oblicuo y por tanto con el trayecto más largo posible, dentro del cuerpo vertebral y se completa hasta un promedio de 30 a 35mm en la columna torácica alta, 35 a 40mm en la columna torácica media y 40 a 45mm en la columna torácica baja. Normalmente en columna lumbar, en niños, utilizamos 40mm máximo de longitud, salvo sacro y tornillos iliacos. Se retira la lesna y se vuela a realizar la maniobra de palpación de las 5 paredes.

Posteriormente se tarraja la entrada, con 1mm menos del diámetro del tornillo a colocar y se vuelve a palpar. Por último se coloca el tornillo según el diámetro deseado. Nosotros habitualmente colocamos tornillos de 4 o 5mm de diámetro en columna torácica alta, 5mm en columna torácica media y 6mm en columna torácica baja. La "sensación" de presa del tornillo, también es importante para saber que, durante la colocación del tornillo, no se cambió la dirección del trayecto, un tornillo que está suelto, es mejor revisarlo y volver a palpar la trayectoria y luego decidir si es un problema de dirección, calidad ósea o diámetro del tornillo.

La seguridad en la colocación del tornillo con esta técnica viene de una triada de intervenciones (115):

1. La palpación: Como previamente expuesto, la palpación debe hacerse en 3 instancias: la palpación del trayecto pedicular, la palpación de la trayectoria completa, la palpación post tarrajado. Como esta intervención depende mucho de la experiencia del cirujano, es progresivamente más sensible y específica con el número de cirugías realizadas.

2. Radioscopia: Se realiza un barrido con el radioscopio. Que se puede realizar en ambos planos. Nosotros habitualmente lo realizamos solo en el plano anteroposterior y se evalúan tres puntos:
  - La armonía de la posición de los tornillos en relación con la curva y en relación con los otros tornillos.
  - La punta del tornillo, independiente de la magnitud de la rotación de la curva, no debe traspasar la línea media (línea entre las espinosas).
  - En lateral: observar que los tornillos se encuentren paralelos a la placa vertebral y no traspasen la cortical anterior, ante el riesgo de lesión a estructuras nobles.
3. Uso de impedanciometría. Nuestros valores de impedanciometría son un poco mas altos que aquellos descritos en la literatura, que refiere un área de seguridad sobre 8 mA para tornillos torácicos, un área gris de 6 a 8 mA y un área de peligro bajo 6 mA(116). Nuestros valores, estudiados en 1250 tornillos torácicos son mas altos. Con 12 mA como rango de seguridad (117). En los tornillos torácicos altos, seguimos la técnica de Regidor y De Blas (91) descrita el año 2011, aunque nuestra experiencia muestra valores de seguridad mucho mas altos, sobre 27 mA (118). Nuestras mediciones son hasta 50mA.

#### *Modificación a la técnica de colocación de tornillos en desrotación coplanar.*

Para el uso de esta técnica, la colocación de tornillos con técnica “freehand” es la misma, se deben tener eso si dos consideraciones adicionales:

1. La resección completa del proceso transversal en columna torácica y de la faceta descendente en columna lumbar para evitar que, al colocar los tubos, choquen con esta prominencia ósea y se salgan al tratar de hacer la corrección
2. Dejar 2 a 3 mm de espacio entre la tulipa del tornillo y el plano óseo para poder posteriormente conectar los tubos. Respecto a esta técnica, existen algunos que prefieren colocar los tornillos con el tubo puesto. Personalmente no me gusta esta variación porque limita mi capacidad de visión y

trabajo en los niveles subsecuentes y sobretodo limita la capacidad de realizar liberación posterior en los niveles deseados.

### *Tornillos iliacos*

Los tornillos iliacos se colocan una vez que todo el resto del constructor está en posición. Se identifica el ala iliaca y se realiza una disección del tejido celular subcutáneo y de la fascia lumbosacra hacia lateral. Cuando hay poca experiencia, es adecuado disecar hasta poder palpar fácilmente el borde lateral del ala iliaca y ubicarse en la dirección del trayecto de los tornillos.

Se reseca la cortical externa a 1cm dista a la espina iliaca posterior inferior, la cual puede ser con motor o con gubia, dejar este espacio lo suficientemente profundo para poder incrustar levemente el tornillo a fin de evitar la prominencia de la cabeza que posteriormente puede causar problemas en la piel. Con una lesna, se debe realizar un trayecto, tomando como punto de reparo el trocánter mayor, con aproximadamente 25° de lateral a media y 30 a 35° en el plano transversal (119). Esto no es tan real en las escoliosis neuromusculares, en que a menudo la pelvis también está deformada, es por eso por lo que recomiendo ir a buscar la dirección de la cresta iliaca de manera directa. Una vez realizado un trayecto sobre 70 a 80 mm. se debe palpar la trayectoria en sus 5 paredes. Nuevamente, en nuestras escoliosis, hemos visto que es difícil llegar sobre los 50 a 60 mm de largo debido al tamaño de la pelvis infantil, se tarraja la entrada del trayecto, se vuelve a palpar y finalmente se inserta el tornillo del largo deseado entre 6 y 7mm de diámetro.

Para evitar la utilización de conectores, se puede utilizar la técnica sacra – iliar de Khaled Kebaish (S2A1) (39) esta técnica es un poco mas difícil técnicamente, pero permite adecuada fijación iliaca con un implante de menor perfil.

## Osteotomías y liberación posterior

Dentro de esta técnica, por el poder de corrección que presenta, y para evitar excesiva tensión sobre la columna y el sistema, se recomienda realizar una buena liberación posterior. Esta consiste en 3 fases:

1. La facetectomía lo mas completa posible, ya descrita previamente.
2. La resección de los elementos posteriores (espinosas y ligamentos ínter supra espinoso, salvo en los últimos tres niveles proximales para evitar la cifosis post juncional)
3. La realización de osteotomías posteriores tipo Schwab 2 (Fig. 1): Tras remover los ligamentos interespinosos hasta el nivel del ligamento amarillo y el rafe medio, se reseca el ligamento, la lamina y las facetas ascendente y descendente en Chevron, hasta liberar completamente los forámenes (50). Respecto al cierre de la osteotomía: Puede realizarse activamente con compresión o como describiremos mas adelante, la fuerza de corrección del sistema nos permitirá obviar este paso.

Siempre, e independiente de la magnitud de la curva, pero sobretodo en cifoescoliosis, curvas mayores a 100° y enfermedades del colágeno. Usamos una barra de estabilización transitoria. Realizamos las osteotomías asimétricas, resecaando mayor cantidad de lamina hacia la convexidad de la curva.

## Corrección con la Técnica Coplanar

El concepto de la coplanaridad es universal para cualquier sistema, sin embargo, todos los pacientes fueron operados con el sistema Montblanc 3D® (Lyon, Francia).

Recordar siempre mantener una PAM mayor o igual a 85 mmHg durante las maniobras de corrección y avisar al neurofisiólogo para realizar monitoreo continuo durante este período.

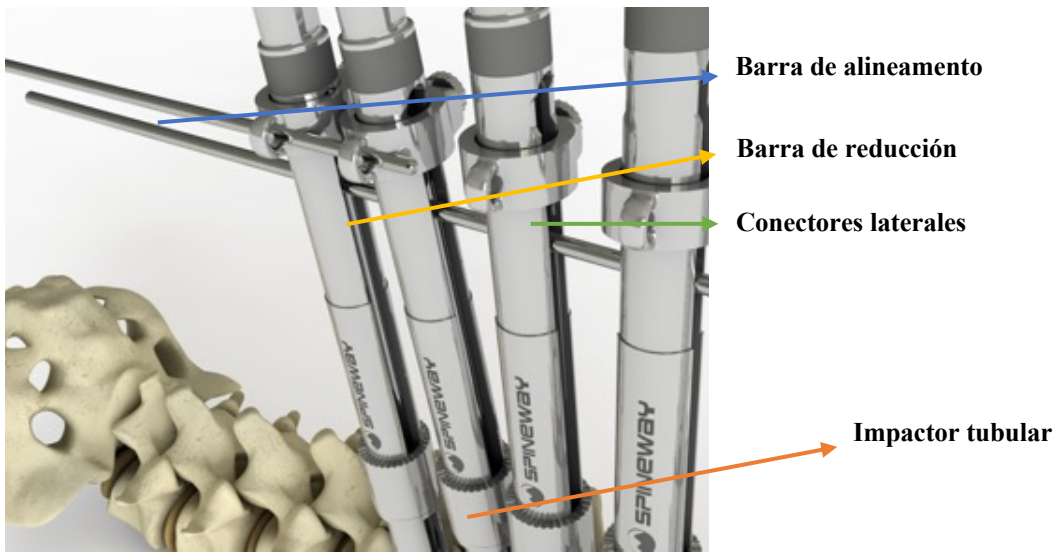
La técnica, descrita por Vallespir (120), consiste en la colocación de tornillos en todos los niveles por la convexidad y cada 2 a 3 segmentos en la concavidad. Los tornillos de los extremos son

monoaxiales y los del ápice de la curva por la convexidad también, en la concavidad se utilizan solo tornillos poliaxiales, todos los tornillos del sistema son tornillos de reducción con tulipa doble. Se ajustan tubos a los tornillos colocados por la convexidad que deben tener un sonido “Click”, para asegurarse que están bien puestos, un tubo mal puesto puede provocar problemas después en la corrección.

La modificación descrita en este artículo para escoliosis neuromuscular en relación la colocación de tornillos nos permite mejor capacidad de corrección y una transición mas blanda en el segmento proximal. Los tornillos de la convexidad y de la concavidad se colocan en zigzag en algunos casos y en otros casos en todos los niveles, eso responde a los costos y a la capacidad de colocar tornillos en todos los niveles, que, en estos pacientes con grandes deformidades, a menudo no es posible. La técnica en zigzag consiste en dejar un cimiento de 4 tornillos a cefálico y caudal y alternar los pedículos de lados, pero asegurándose siempre que al menos un pedículo esté instrumentado por vértebra.

Sobre los tubos se coloca un impactor tubular con un sacabocado hacia inferior con la forma de la barra. Estos impactores son expandibles, lo que permite ajustar el tamaño del impactor a la forma de la barra, con un conector mas corto en la cifosis y mas largo en la lordosis. Al impactar la barra definitiva, el impactor permite distribuir la fuerza y evitar el aplanamiento de la barra. (Fig. 8,9, 10) Posteriormente se colocan conectores en el tercio proximal de la barra, que tienen una manilla que debe quedar hacia lateral (Fig. 8, 9, 10)

El primer gesto del sistema consiste en alinear la columna pasando una barra rígida de cromo cobalto a través de los conectores laterales (Fig. 8, 9, 10).



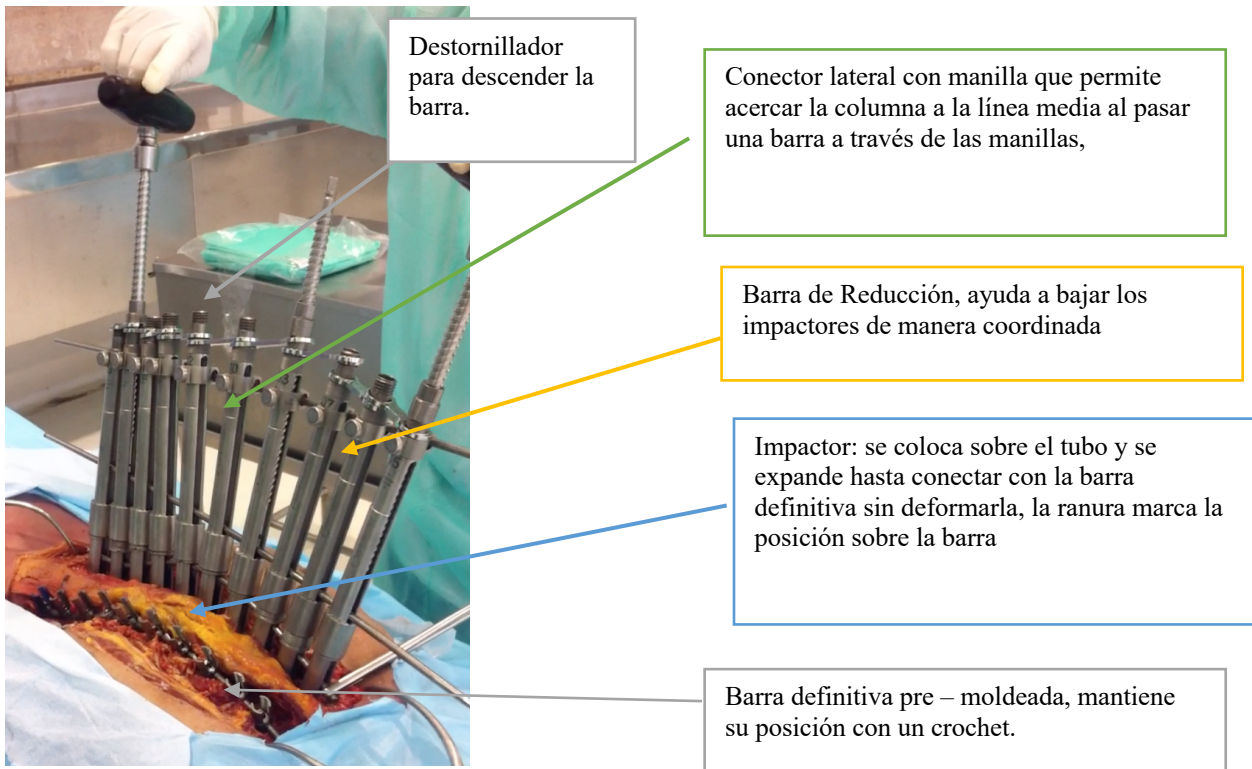
Barra de alineamiento

Barra de reducción

Conectores laterales

Impactor tubular

**Fig. 8. Primeros pasos:** El primer paso en el Sistema coplanar es llevar la columna a la línea media pasando una barra de alineamiento a través de los conectores laterales.



Destornillador para descender la barra.

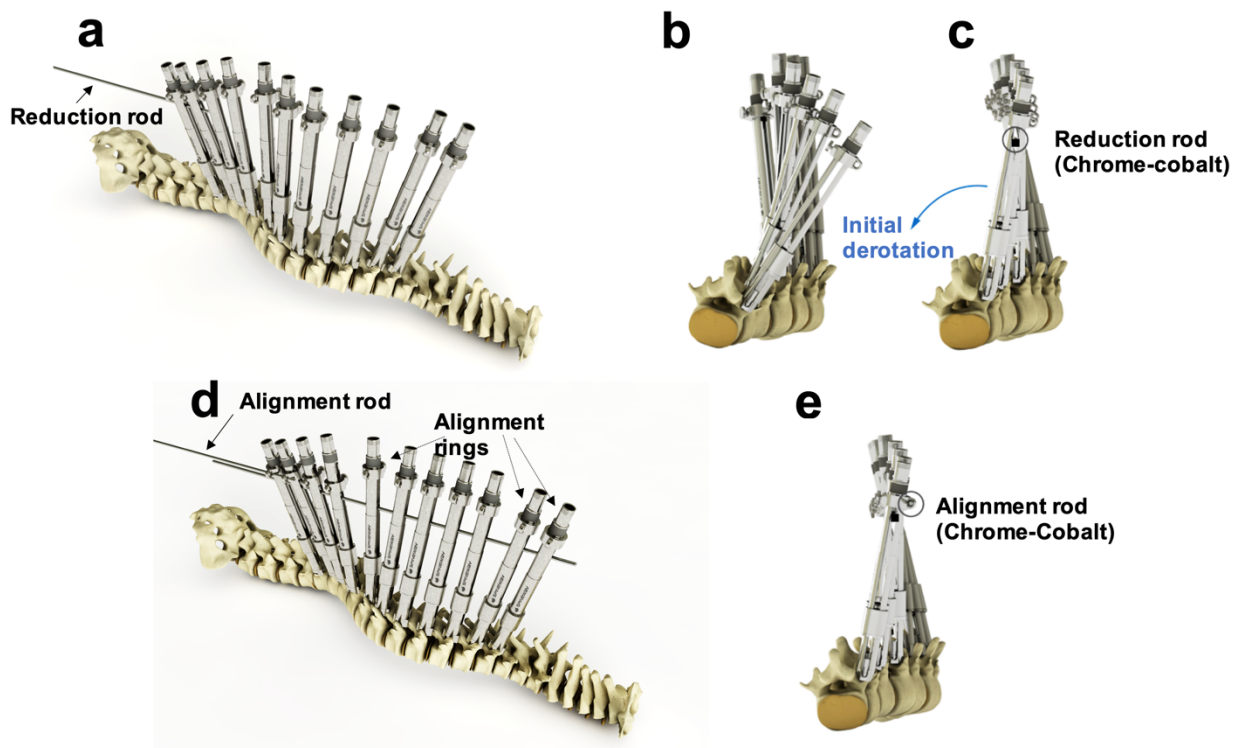
Conector lateral con manilla que permite acercar la columna a la línea media al pasar una barra a través de las manillas,

Barra de Reducción, ayuda a bajar los impactores de manera coordinada

Impactor: se coloca sobre el tubo y se expande hasta conectar con la barra definitiva sin deformarla, la ranura marca la posición sobre la barra

Barra definitiva pre – moldeada, mantiene su posición con un crochet.

**Fig. 9: Descenso de barra** El Sistema coplanar permite bajar lentamente la barra premoldeada sin deformarla.



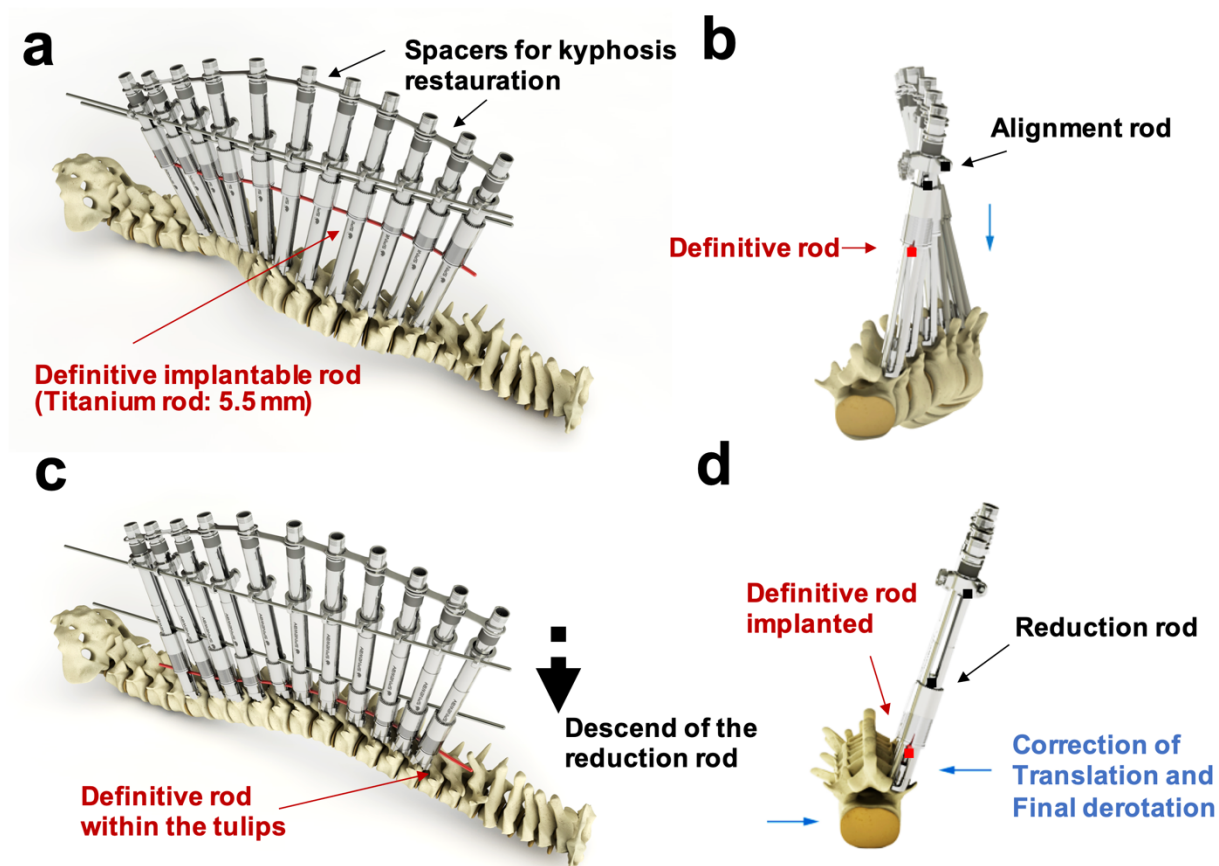
**Fig. 10. Técnica de alineamiento coplanar:** a: Detalle de la inserción de la primera barra en el tubo ranurado para el alineamiento del extremo superior de los tubos; b: visión axial antes de la inserción de la barra de reducción, c: Se obtiene una desrotación inicial de los cuerpos vertebrales una vez que se introduce completamente la barra de reducción. d: Inserción de la barra de alineamiento en los conectores laterales. e: Visión axial de la configuración final.

Posteriormente se inserta la barra premoldeada a los parámetros sagitales que fueron determinados en la planificación preoperatoria. Esta barra debe quedar debajo de los impactores. Existe actualmente la posibilidad de utilizar barras de Titanio y CrCo, recomendamos cortar la barra al largo deseado, una vez posesionada, esto porque una de las puntas de la barra está moldeada en punta de lápiz para facilitar la entrada por los tubos y el otro extremo en hexágono para poder fijar un crochet y mantener la posición de la barra durante la reducción, si se corta antes, se pierde la punta en bala que permite deslizar la barra mas fácilmente a través de los conectores.

Sobre la barra premoldeada se apoyan los impactores, recordar darles el largo deseado, para que el impacto sobre la barra sea homogéneo.

Antes de comenzar el descenso de la barra, se colocan espaciadores sobre los conectores, estos espaciadores van de 5 a 20mm y permiten mantener la posición de los tubos conectores en ángulo, evitando que, al descender la barra, esta se aplane con la convergencia de los tubos (Fig. 9, 11)

Sobre los impactores va una segunda barra de CrCo o barra de reducción que permite reducir la barra definitiva a su posición, empujando suavemente los impactores para que guíen la posición de la barra (Fig.9, 10 y 11).



**Fig 11. Técnica de alineamiento coplanar parte 2** a: Restauración de la cifosis fisiológica al separar los extremos superiores de los tubos en la columna torácica, usando espaciadores de diferentes tamaños, la barra definitiva se debe implantar bajo los cilindros de reducción; b: visión axial del constructo; c: descenso progresivo de la barra al empujar e impactar la barra de reducción. Cuando la barra se asienta en las tulipas, todos los pedículos quedan alineados en el mismo plano. d: visión axial después del descenso definitivo de la barra que permite corrección a través de traslación y desrotación.

Una vez logrado el alineamiento coplanar inicial, se debe tener precaución en mantener la posición de la barra definitiva con el crochet en la cifosis adecuada y evitar que durante la corrección se rote. Existen dos maneras de descender la barra: Un sistema de impactores plásticos que impactan directo sobre la barra de reducción, estos impactores plásticos se colocan en los ápices y cada 2 a 3 tubos, se van cambiando de lugar y se deben trabajar con un martilleo suave, para que la ligamentotaxis ayude a reorientar la posición vertebral. El segundo sistema es con un destornillador que ingresa a través de los tubos y realiza la misma función, pero de manera mas suave y progresiva (Fig. 9). La ventaja del primer sistema es que, al trabajar hacia abajo, evita la fuerza de arrendamiento de los tornillos, el segundo sistema, es mas susceptible de producir arrancamiento, pero es mas progresivo y menos violento con los tejidos.

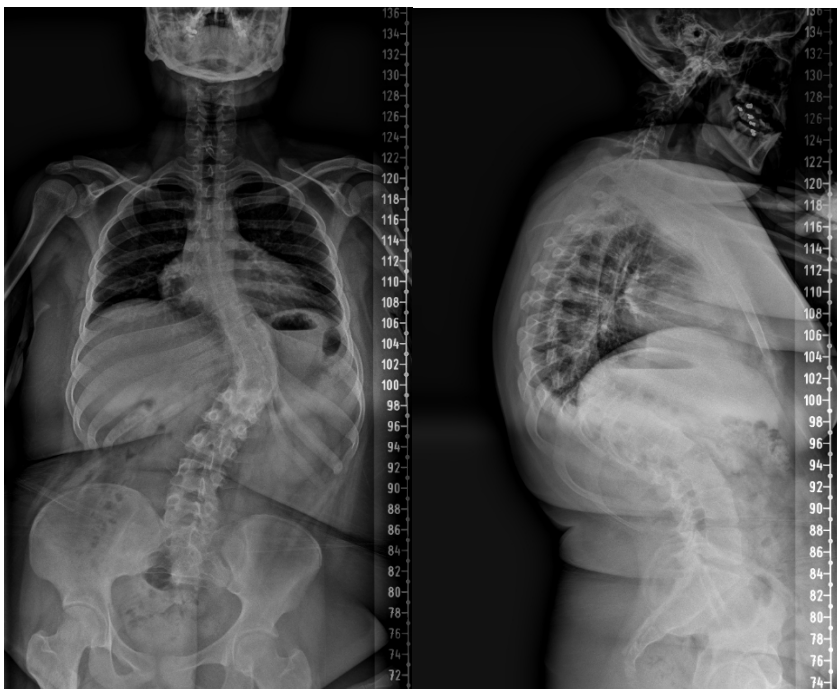
Personalmente lo que hago es colocar el sistema de tubos plásticos, pero en vez de martillar la barra, la desciendo manualmente realizando presión progresiva sobre los percutores para darle mayor tiempo a la redistribución de los tejidos blandos.

Una vez que la barra ingresa a los tornillos, se retira la barra interna de cromo cobalto y se colocan las tuercas de cierre en las tulipas de manera progresiva. Recordar en este punto que es bueno mantener la barra lateral que permite mantener la coplanaridad y de no soltar el crochet hasta que la barra está completamente asegurada en posición (Fig. 10 y 11)

Una vez asegurada la barra, se retira todo el sistema y se pueden realizar las maniobras habituales, si se desea, con distracción, compresión, bending in situ, etc...., la ventaja del sistema es que todas las maniobras se realizan en un tiempo y esta etapa por lo general no es necesaria. Para fines del estudio, en estos pacientes solo se realizó la maniobra de coplanaridad.

Pare la estabilización final, se usa un torque especial para tornillos de tracción, que permite asegurar a 13N/Cm la barra al tornillo, de la tal forma que, al cortar la prolongación del tornillo de tracción, no hay juego sobre el tornillo y por ende no se transmite carga al pedículo.

Este sistema trabaja esencialmente por la convexidad de la curva y su potencial cifosante es mucho mayor que su potencial lordosante, por lo que, en caso de doble curva, se recomienda trabajar con los conectores sobre la convexidad de ambas curvas y no colocar tubos en el resto del constructo si no es posible hacerlo (Fig.12).

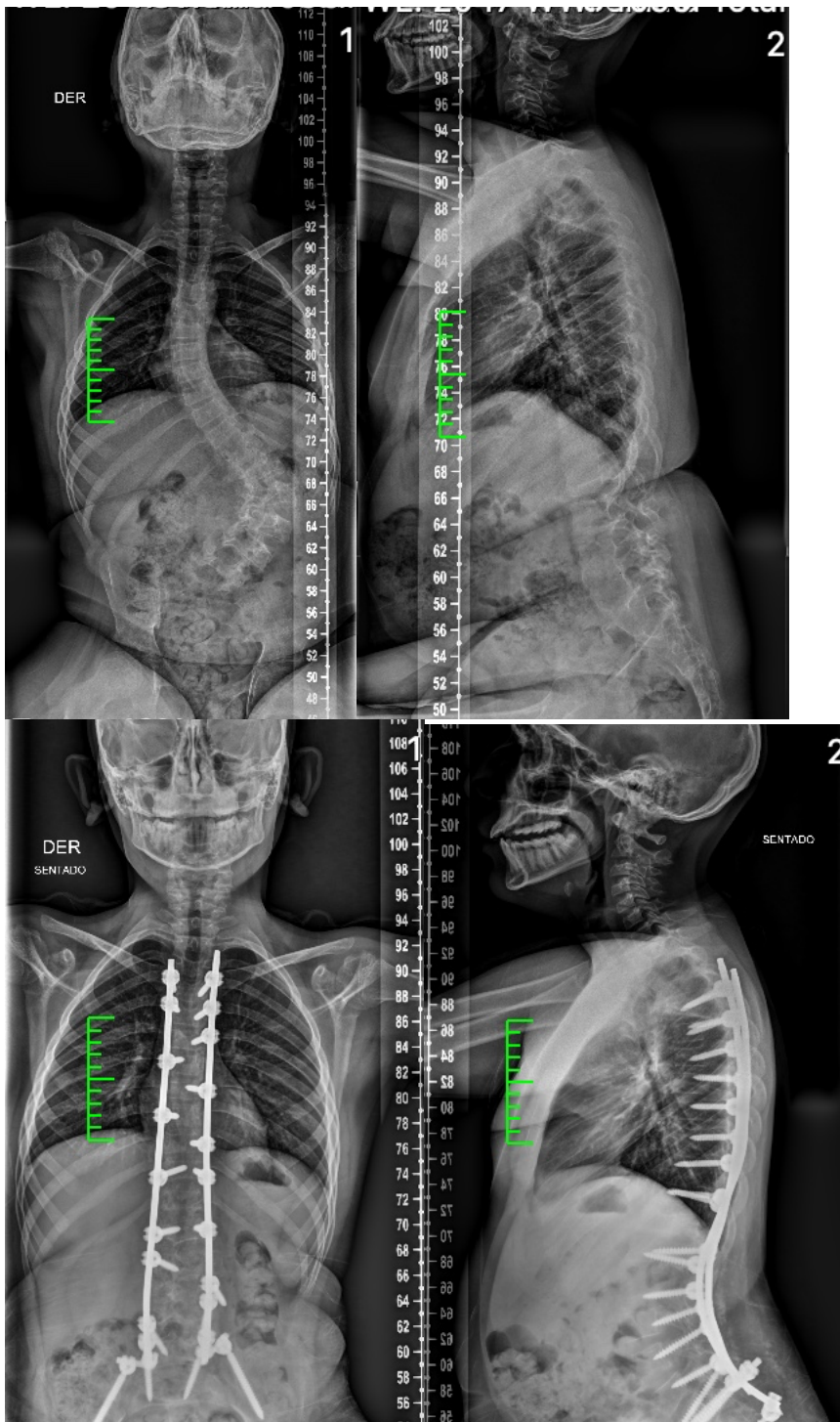




**Fig. 12:** Paciente de 18 años, sexo masculino, Síndrome de Prader-Willis, ambulatorio, técnica de desrotación coplanar, Radiografía de columna total AP y lateral, pre y post operatorio.

#### Corrección con la técnica de desrotación apical.

De acuerdo con la técnica de Suk, una vez puestos los tornillos y la barra en la concavidad, la cual se coloca en escoliosis y se desrota hacia medial (53). Se insertan conectores en las 4 o 5 vértebras que componen el ápice de la curva. Estos prolongadores se fijan con un sistema de conectores horizontales y verticales que permiten manipular el sistema de manera coordinada, si bien se puede trabajar con cada conector de manera independiente. El ápice vertebral se rota hacia la convexidad, tomando la precaución de mantener los bordes de la curva estables y perpendiculares a la línea media. (Fig. 2). En pacientes con una doble curva estructural se puede desrotar cada curva hacia la convexidad en paralelo, usando la otra curva como contrafuerza, en estos casos, no es necesario estabilizar los bordes (Fig.13).



**Fig. 13:** Paciente de sexo masculino 14 años, trauma raquimedular a los 10 años, no ambulatorio, técnica de desrotación apical, Radiografía de columna total AP y lateral, pre y post operatorio,

### *Conexión a tornillos iliacos*

Cuando se utilizan tornillos iliacos, recomendamos colocar el conector lateral antes de pasar la barra por los tubos, esto facilita después la conexión. Por lo general utilizamos un tornillo iliaco polyaxial que nos permite fijar el conector antes de bajar completamente la barra, no cortamos el

sobrante del conector hasta no tener todo el sistema en posición y lo cortamos, cuando es necesario, in situ, a nivel del iliaco.

### *Maniobras post corrección.*

Se realiza aseo profuso del lugar con suero fisiológico con un mínimo de 3 lts y hasta 6 lts. decorticación profusa de las laminas y colocación de injerto morcelizado del arco posterior, en esta serie, se utilizó una mezcla de 30cc de hidroxiapatita 75%, Fosfato tricálcico 25%, Bifásico micro poroso y macro poroso, esterilizado con 25kGy de rayos Gamma, Sonora® (Lyon, Francia) junto con el injerto autólogo, con 1gr de Vancomicina en polvo.

El cierre de la herida operatoria se realizó en 4 planos, cierre del plano muscular y de la fascia con Vycril® (polyglactina 910) 1.0., 1g de vancomicina en polvo en celular subcutáneo. cierre del celular subcutáneo con Vycril®1.0, afrontando la capa mas profunda del celular, Vycril® 3.0 en capa subdérmica, Monocryl 3.0 con técnica intradérmica o corchetes en piel, según la tensión de los tejidos, en pacientes con tejidos mas tensos optamos por corchetes porque son menos isquemiantes.

Los drenajes se colocan profundos cuando hay osteotomías o superficiales cuando el canal esta cerrado aspirativo N° 12.

Vendaje con apósito estéril y compresivo con fixomull®

Tras terminar el vendaje, se realizan los potenciales motores y somatosensitivos que señalan el fin de la cirugía y han permitido esperar al menos media hora tras la corrección para detectar alarmas tardías.

## Variables intraoperatorias

Dentro de la cirugía se midieron parámetros clínicos y de laboratorio.

- De laboratorio: pH, PCO<sub>2</sub>, PO<sub>2</sub>, Hematocrito y hemoglobina
- Sangrado: El sangrado se midió restando la cantidad de líquido en los receptáculos de aspiración, menos la cantidad de líquido utilizada en irrigación. A esto se agregó el peso de las compresas con solución fisiológica o solución con ácido tranexámico que fueron estrujadas en el campo y luego pesadas.
- Tiempo quirúrgico: El tiempo quirúrgico se midió desde el inicio de la incisión hasta la colocación de los vendajes.
- Número de niveles instrumentados.
- Temperatura axial en °C, Presión arterial en mmHg
- Cantidad de transfusiones intraoperatorias en unidades
  - Glóbulos rojos
  - Plasma
  - Plaquetas
- Monitorización
  - Líneas de base y líneas de fin de procedimiento
  - Alertas neuroquirúrgicas
- Use de drogas vasoactivas: Tipo y cantidad
- Material de las barras utilizadas: Cromo-cobalto o titanio
- Forma de colocación de los tornillos: Tornillos en todos los niveles o técnica en zigzag.
- Número y tipo de osteotomías de acuerdo con la clasificación de Schwab – SRS clasificación (50),
- Gestos de reducción asociados solo en los extremos: Compresión y distracción

## Variables postoperatorias

Todos los pacientes recibieron morfina intratecal 80g, excepto aquellos sometidos a desanclaje medular, en que se les instaló una bomba de morfina con modalidad de analgesia controlada por el paciente (PCA).

- Se registró la unidad de salida de los pacientes: Intensivo (UCI), Intermedio (UTI), Médico – quirúrgico (MQ)
- Estado de la vía aérea: Intubado o extubado. Los pacientes con desanclaje medular, salieron intubados a ventilación mecánica de modo programado, para evitar valsalva durante las primeras 24 horas de cirugía y luego realizar una extubación suave.
- Tiempo de hospitalización en las tres unidades
- Exámenes de laboratorio: Hematocrito, hemoglobina, plaquetas, Proteína C reactiva al día 1, 3 y 7.
- Trasfusiones
- Sangrado post operatorio a través del débito diario, total de los drenajes y número de días con drenaje.
- Uso de antibióticos: Todos los pacientes recibieron profilaxis con cefazolina o clindamicina, según el protocolo de infecciones intrahospitalarias de nuestro centro(121), mientras el drenaje estuviera en su lugar. Se registró el uso adicional a esto de antibióticos
- Complicaciones tempranas y tardías

## Análisis estadístico

Después de describir las cohortes (DC y DA) en términos demográficos, quirúrgicas y métrica radiográfica (Pre – operatoria, post – operatoria y a dos años de seguimiento) usando media y desviación standard, la distribución de los parámetros fue evaluada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y los dos grupos fueron comparados usando un t-student no pareada o método no paramétrico de Mann-Whitney según fuera lo apropiado. Los datos quirúrgicos tales como el número de niveles fusionados, el tiempo

quirúrgico, el sangrado estimado, el material de osteosíntesis y la monitorización, fueron recolectados y comparados según técnica de desrotación. El uso de drenaje, unidad de hospitalización y días de hospitalización también fueron comparados usando  $\text{Chi}^2$  y test de Fisher.

El potencial de corrección para cada técnica fue comparado usando el mismo proceso previamente descrito. La pérdida de corrección a 2 años también fue evaluada restando el valor de la medición a dos años de seguimiento del valor post – operatorio inmediato para los parámetros coronales, sagitales y axiales. Esto también fue comparado entre las dos técnicas.

Finalmente, un subanálisis para determinar la capacidad de mantener cifosis fue realizado estratificando la cifosis pre – operatoria del paciente en 3 grupos ( $< 20^\circ$ ,  $20 - 50^\circ$ ,  $>50^\circ$ ) y evaluando la diferencia entre cifosis pre y post operatoria.

Para hacer el análisis de complicaciones de la cohorte, se inició con un análisis univarianza para comparar los pacientes con y sin complicaciones usando  $\text{Chi}^2$  o t-student de dos colas. Subsecuentemente un análisis similar fue realizado para las complicaciones mayores y mecánicas. Los parámetros estadísticamente significativos en el análisis de univarianza fueron llevados a regresión logística binaria para investigar las variables que tenían la mayor injerencia en el desarrollo de complicaciones.

Para el análisis de subgrupos con y sin uso de ácido tranexámico, tópico o endovenoso, para comparar la asociación entre tiempo quirúrgico, número de niveles y parámetros de sangrado se utilizó la correlación de Pearson. Para la estratificación entre grupos y su correlación entre sangrado intraoperatorio, sangrado postoperatorio y sangrado total, se utilizó o ANOVA o Kruskal-Wallis, según fuera lo apropiado.

Todo el análisis estadístico fue realizado con el software SPSS v 20.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) con una significación estadística de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

### Demografía y evaluación pre – operatoria

De los 64 pacientes con escoliosis neuromuscular operados entre del 2013 y 2017, 40 eran mujeres y 24 hombres, con una edad media de 15 años (8 a 25 años). El diagnóstico mas frecuente fue la presencia de patología asociadas a primera motoneurona, que correspondía al 50% de los pacientes, de éstos la etiopatogenia mas frecuente fue parálisis cerebral (Tabla 8).

**Tabla 8:** Diagnóstico etiopatogénico de la cohorte.

Diagnóstico	VCA	DA	
Neuropático	n (%)	n (%)	total
Primera Motoneurona			
Parálisis cerebral	11	9	20
Chiari tipo I	2	2	4
Siringomielia	2	1	3
Tumores intradurales	2		2
Ataxia espinocerebelar		1	1
Trauma raquimedular	1	1	2
Segunda Motoneurona			
Charcot - Marie - Tooth		1	1
Atrofia espinal tipo II	1	2	3
Hipotonía congénita	2	4	6
Mixto			
Médula anclada	1	1	2
Mielomeningocele	3	5	8
Miopático			
Distrofia muscular de Duchenne		1	1
Central core disease	1		1
Sindrómico			
Síndrome de Marfan	1	2	3
Síndrome de Ehler -Danlos.	4	3	7

Fuente: elaboración propia.

Los pacientes fueron evaluados y operados por el mismo equipo quirúrgico en 4 centros diferentes. 51,6% en el servicio público y el restante 48,4% en el sistema privado.

Hubo dos diferencias demográficas entre ambos grupos: un mayor peso pre – operatorio en el grupo de DC ( $p=0,020$ ) que fueron en promedio 10 kgs mas pesados que aquellos en el grupo de DA, esta diferencia se se mantuvo en el post operatorio ( $P=0,025$ ) (Tabla 9) y un mayor número de comorbilidades en el grupo de DA (3.8 versus 2.5;  $p=0.015$ ).

## Características Perinatales

78,5% de los embarazos fueron normales, de los embarazos patológicos, 3 tuvieron diagnóstico prenatal de mielomeningocele, los otros se dividieron entre pre-eclampsia y síntomas de pérdida. En 3 pacientes se desconocen las características de los embarazos, 2 por adopción y 1 por abandono.

54,8% de los partos fueron vaginales eutócicos, 41,9% cesáreas, en que se incluye el 100% de los pacientes con embarazos de alto riesgo conocidos. Un 3,2% de los pacientes fueron por fórceps.

16,1% de los pacientes fueron prematuros, con un mínimo de 26 semanas y un máximo de 41 semanas. 83,9% estuvo dentro del período considerado de término. El promedio de la fecha de parto fue a las 37,9 semanas (26 a 41 semanas)

33,3% de los pacientes presentó patología perinatal, 8 en el grupo de DC y 13 en el de desrotación apical ( $p=0,108$ ) (Tabla 9), dentro de ellos destaca: los pacientes con de mielomeningocele que requirieron cirugía inmediata (14%) y otro grupo de pacientes que presentaron diferentes tipos de genopatías, prematuridad y neumonía perinatal. Solo el 6,3% presentó asfixia perinatal, por lo que ésta no fue la causa principal de parálisis cerebral.

El peso de nacimiento fue en promedio de 3186,7 grs con un mínimo de 1040 grs, solo el 6% de los pacientes fue macrosómico. Las tallas de nacimiento promedio fueron de 48,1 6cm (32 a 54 cm), con una mínima de 32 cm y una DS 4,22 cms.

## Peso y Talla

La talla promedio pre – operatoria fue de  $135,09\pm 44,49$ cms (108 a 181cms) cms y la post operatoria  $148,74\pm 33,81$ cms 5 (112 – 183cms) ( $p<0,001$ ). El peso pre – operatorio promedio fue de  $45,49\pm 44,48$  Kgs (13 a 83 kgs) y el post operatorio de  $51,45\pm 15,17$  (22 a 79 kgs) ( $p=0,030$ ). El cambio

de talla y peso es estadísticamente significativo para ambos sistemas de desrotación (Talla: VCA  $p < 0,000$ ; DA  $p < 0,000$ . Peso VCA  $P < 0,000$ ; DA  $< 0,001$ )(tabla 9).

**Tabla 9:** Características demográficas y parámetros pre – operatorios para los dos grupos.

Característica	Coplanar	Desrotación apical	p-value
Número de pacientes	34	30	
edad (años)	15,65	14,67	0,285
Sexo (F/M)	22/12	18/12	0,703
Embarazo patológico	4	7	0,32
Parto vaginal/Cesarea/Forceps	22/11/0	12/15/2	0,07
Semanas de embarazo	38,3	37,52	0,097
Peso Nacimiento (gr)	3287	3072	0,294
Talla Nacimiento (cm)	48,48	47,79	0,204
Comorbilidad perinatal (%)	23,5	44,8	0,064
Comorbilidades (nº/paciente)	2,5	3,8	0,015
Capacidad de marcha (%)	73,5	51,7	0,75
Telarquia (años)	11	9,67	0,402
Menarquia (años)	13	12,55	0,361
Alergias (% pacientes)	21	37	0,369
Uso de corset previo (%)	32,4	33,3	0,935
Uso de medicamentos	9	12	0,294
Cirugias previas	20	20	0,609
Sdme. Convulsivos N/mes	0,41	0,33	0,761
UTI N/mes	0,26	0,9	0,068
Infección respiratoria baja (N/año)	0,82	0,77	0,887
Deporte	7	2	0,156
Talla Pre - operatoria (cm)	150±17	145±18	0,398
Peso Pre - operatorio (Kgs)	50,5±17	40,7±13	0,020
VEF1 (%)	77,14	70,83	0,466
Fracción de eyección (%)	72	71,13	0,91
ASA I, II, III (%)	26,5/55,9/17,6	23,3/53,3/23,3	0,487
Risser	3,5	3,17	0,801
Ht Pre - operatoria (%)	40,28	40,45	0,854
Hb Pre - operatorio (grs/dl)	13,19	13,4	0,564
Plaquetas Pre - operatorio (Nº/campo)	279.645	266.929	0,498
TTPK (sec)	29,61	31,24	0,084
Protrombina (%)	87,35	81	0,371
Glicemia g/dl	88,59	86,52	0,336
BUN g/dl	14,03	14,86	0,497

PAS/PAD mmHg	112,67/64,21	107,62/62,34	0,571
Frecuencia Cardiaca lpm	80,58	89,64	0,683
Tª Central en ºC	36,13	35,98	0,059
% sat O2	98,12	98,41	0,442

**Fuente:** elaboración propia

### Clasificación de las curvas.

24,6% de las curvas corresponde a Lonstein 2 (8), es decir pacientes desbalanceados con importante oblicuidad pélvica.

### Cirugías previas

62,5% de los pacientes recibieron cirugías previas de columna, 46,9% menos de 3 procedimientos, entre los que destacan: cierre del mielomeningocele al nacimiento, liberación de la médula anclada, en 2 casos cirugía para resección de astrocitoma pilocítico y otras múltiples cirugías ortopédicas no relacionadas a columna.

15,7% fue sometido a mas de 4 cirugías antes de la fusión espinal, ninguno tuvo mas de 2 cirugías de columna previas, en un paciente un desanclaje medular y en otro caso una recidiva del astrocitoma que requirió una segunda resección.

### Comorbilidades

94,1% en el grupo coplanar, con una media de 2,74 comorbilidades por paciente y 96,5% en el grupo de desrotación apical con 3,8 por paciente presentaban comorbilidades ( $p=0,015$ ). 52% presentaba 3 o mas comorbilidades con un máximo de 10 (Tabla 9).

### Capacidad de Marcha

El 35,4% de los pacientes no tenía capacidad de marcha (Tabla 9).

## Alergias

El 28,1% de los pacientes presentó algún tipo de alergia (Tabla 9), 18,5% de estos presentaba alergia al látex, todos en pacientes con mielomeningocele, 4,6% a medicamentos, principalmente penicilina y 3% otro tipo de alergias, en general pasto o alimentarias.

## Deporte

Solo 14% de los niños realizaban algún tipo de actividad física, solo 1 de ellos en silla de ruedas (tiro al arco) (tabla 9).

## Cambios Hormonales

73,8% de los pacientes fue sometido a cirugía post menarquia o post cambio de voz, con una media de 12,8 años (9 a 16 años), 17,8% de los pacientes presentaban telarquia o aumento de volumen testicular con una media de 10,3 años (7 a 13 años), pero no menarquia o adrenarquia. 1 paciente no presentaba aun caracteres sexuales secundarios de ningún tipo.

En esta serie no se encontró correlación entre la edad de la menarquia y la magnitud de la curva ( $p=0,635$ ;  $r$  de Pearson= $0,69$ )

## Uso de corset

Solo un 32,3% de los pacientes uso corsé preoperatorio (tabla 9).

## Epilepsia

20% de los pacientes estaban con terapia anticonvulsivante. No todos tuvieron convulsiones durante el último año, sino el 15,6%, de éstos: 6,2% de los pacientes que presentaban una crisis mensual y 9,2% 2 o mas crisis por mes, 44% usaba un esquema biasociado, 33% triasociado y 23% mas de 4 fármacos (Tabla 10).

**Tabla 10:** frecuencia de uso de anticonvulsivantes.

Fármaco	Coplanar	Apical
Lamotrigina	3	0
Carbamazepina	3	2
Escitalopram	0	1
Ácido valproico	4	3
Fenobarbital	0	1
Benzodiazepinas	1	2
Leviteracepam	4	2

**Fuente:** elaboración propia

Post cirugía, el porcentaje de crisis convulsivas mensuales disminuyó a 6,3% y se presentaban con un máximo de 1 por mes. Esta diferencia es estadísticamente significativa ( $p=0,007$ ), incluido el paciente con Síndrome de Rett.

#### Infecciones urinarias.

El 21,5% de los pacientes presentaron infecciones urinarias antes de la cirugía. De estos el 69% presentaba 3 o menos infecciones urinarias al año y 31% más de 4 y hasta 6 por año.

En el post operatoria la incidencia de infecciones urinarias por año disminuyó a 12,5%, de los cuales un 75% presenta menos de 3 por año y el 25% más de 4 por año con un máximo de 5, esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $p = 0,015$ ). De los cultivos urinarios que se logró rescatar, que corresponden a pacientes que llegaron con un urocultivo (+) a la evaluación preoperatoria., la distribución fue: E Coli 33,33%, Klebisella sp 33,33%, Otro gram (-) 11,11%, Multiflora 22,22%.

#### Infecciones respiratorias bajas.

El 23,4% de los pacientes presentaba infecciones respiratorias agudas bajas (IRAB) preoperatorias, de estos el 60% tenía 3 o menos IRAB por año y el 40% más de 4, llegando a un máximo de 6, el 15,6% requería apoyo ventilatorio nocturno con BiPap. Esta incidencia disminuye a 8,1%, con

un máximo de 2 por año. Esta diferencia es estadísticamente significativa ( $p=0,000$ ). Solo 29.7% de los pacientes pudieron completar una espirometría, de estos pacientes el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1) fue de  $73,16 \pm 17,58\%$ . Los resultados de las espirometrías mostraron: Basal alterada y post b2 alterado en un 59,5%, Basal normal y post b2 normal en 38,1%, Basal normal y post b2 alterado 2,5%.

### Evaluación cardiológica

La evaluación cardiológica con ecocardiograma se realizó en el 100% de los pacientes. 73,4% de los pacientes tenía un ecocardiograma normal. Del 26,6% de pacientes con alteraciones morfológicas, la mayoría son alteraciones menores, principalmente insuficiencia tricuspídea leve. Se pudo medir fracción de eyección (FE) solo en 15 pacientes, con un promedio de  $71,53 \pm 14,78\%$ . El resto de los estudios fue eminentemente morfológico, ya que la posición de la curva impide tener una ventana acústica suficiente. Dos pacientes presentaban condiciones cardiológicas de alto riesgo, una presentaba una insuficiencia cardíaca de consideración secundario a un cor pulmonar por una curva de  $144^\circ$  con una FE de 26% que requirió el uso de digoxina. El otro era un paciente con Sd. De Marfán con una severa dilatación aórtica, reflujo de la válvula mitral y dilatación de la vena cava que requirió una evaluación por el cardiócirujano quien otorgó el pase sin recomendar cirugía cardiológica previa a la cirugía de fusión espinal.

### Evaluación Psicológica

71,9% de los pacientes recibió evaluación por salud mental. En este grupo de pacientes no se presentó ninguna alteración psiquiátrica incompatible. La paciente con Sd. De Prader-Willis, que a menudo pueden ser violentos, sobretodo en el post – operatorio, tuvo un comportamiento muy dócil y logró buena compenetración con nuestra psicóloga. Todos los pacientes presentaban síntomas de ansiedad asociados a la cirugía, pero ninguno debió ser suspendido por síntomas psicóticos, psicopáticos y ansioso – depresivos de gravedad.

## Genética

El 46,9% requirió evaluación y recomendaciones para la cirugía, por le unidad de genética. Dentro de la clasificación los pacientes con síndrome de Noonan, sd. Williams, Sd. Prader Willis y síndromes hipotónicos idiopáticos, fueron clasificados como Sd. Hipotónicos secundarios a patología por segunda motoneurona, debido a su comportamiento.

## Anestesia

93,5% fue evaluado pre – operatoriamente en una consulta de anestesia 1 mes previo a la cirugía; el resto de los pacientes fue solo evaluado por el anestesista en la sala de espera pre – operatoria. Esto debido a ruralidad o dificultad de los padres para trasladar al niño al policlínico con anterioridad. 54,7% de los pacientes era ASA 2, 20,3% ASA 3. 96,6% (tabla 9).

Se utilizó profilaxis con Cefazolina en el 96.6% de los pacientes y con Clindamicina en 3.4% de ellos, por alergia a los b-lactámicos.

## Otros medicamentos

El 32,8% de los pacientes tomaba medicamentos de manera habitual (Tabla 11), el mas frecuente era el uso de antihistamínicos.

**Tabla 11:** Uso de otros medicamentos

Medicamento	Frecuencia (%)
Antisépticos urinarios/profilaxis	6,25%
Corticoides e inmunosupresores	4,69%
cardiológicos	6,25%
Inhibidores de la bomba de H	1,60%
Inhaladores y antialérgicos	21,80%
Vitaminas y suplementos	6,25%
Ansiolíticos	7,80%
Baclofeno	9,30%

**Fuente:** elaboración propia

## Plan quirúrgico

En la evaluación y planificación preoperatoria, un 41,5% de los pacientes se planifico para iniciar la instrumentación en T2 y un 36,9% de pacientes se planifico para terminar en hueso iliaco. Esto nos daría un total de 883 niveles instrumentados. No hubo diferencias entre los niveles instrumentados entre los pacientes del grupo de DA y DC( $p = 0,443$ ) (tabla 12), No hubo diferencias significativas entre la planificación pre – operatoria y la cirugía final en ninguno de los dos grupos ( $p = 0,229$ ) (tabla 13).

**Tabla 12:** Niveles instrumentados.

Número de pacientes	Coplanar		Desrotación apical	
	UIV	LIV	UIV	LIV
T2	10		8	
T3	6		11	
T4	16		10	
T10	2			
T11			1	
T12		1		
L1		1		5
L2		5		3
L3		3		1
L4		12		8
S1		1		2
Iliaco		8		11

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 13:** Diferencias entre la planificación pre – operatorias y la cirugía realizada.

Mismatch	Coplanar (frecuencia)	Desrotación apical (Frecuencia)
6 niveles menos		1
2 niveles menos	1	2
1 nivel menos	2	1
Igual	18	19
2 niveles mas	6	2
3 niveles mas	3	
4 niveles mas		
5 niveles mas	1	1
6 niveles mas	1	2
7 niveles mas		
8 niveles mas		1
9 niveles mas	1	

**Fuente:** elaboración propia

### Codificación

El 100% de los pacientes utilizó el código 2104113 (Escoliosis, Trat. Quir. Cualquier vía de abordaje e instrumentación de Harrington, Luque, Dwyer o similares) Solo 8 pacientes, utilizaron un segundo código, 2104117 (osteotomías vertebrales correctoras c/s instrumentación c/s injertos óseos c/s artrodesis) (93) que correspondió a los pacientes que requirieron osteotomías mayores. El resto de las intervenciones realizadas a los pacientes no fue codificado en el protocolo operatorio.

### Evaluación radiológica pre – operatoria

En la cohorte en general, la curva de mayor magnitud fue de  $65,7^{\circ} \pm 25,5$  ( $64,8^{\circ} \pm 24,6$  para el grupo VCA y  $66,9^{\circ} \pm 26,9$  para el grupo de DA ( $p=0,758$ ), La rotación máxima, determinada por el método de Raimondi, fue de  $19,2^{\circ} \pm 13,7$  para el grupo de VCA y  $18,6^{\circ} \pm 11,2$  para el grupo de DA ( $p=0,878$ ). El grupo de DA tenía una curva proximal significativamente mayor pero menos rígida que el grupo de VCA ( $p=0,036$ , tabla 14 y 15), sin embargo, esta curva no era la de mayor magnitud, por lo que no fue la curva utilizada para la medición del potencial de corrección de la técnica. Ambos grupos tenían curvas rígidas,

con menos de 50% de corrección en los bending y tracción, salvo en las curvas lumbares. No hay diferencia en la rigidez de las curvas entre ambos grupos (Tabla 15).

**Tabla 14:** Parámetros radiológicos pre – operatorios para ambos grupos.

		Coplanar +DS	Desrotación apical +DS	P-value
	Oblicuidad Pélvica	7,73 ± 9,40	12,50 ± 21,07	0,879
Torácica proximal (TP)	Cobb	27,41 ± 15,29	42,52 ± 33,12	0,036
	Bending	18,15 ± 12,17	32,98 ± 31,18	0,072
	Traction	22,85 ± 13,78	31,86 ± 29,01	0,285
	Raimondi	7,31 ± 10,10	8,56 ± 10,13	0,630
Tóraco-Lumbar (T/TL)	Cobb	62,16 ± 24,18	60,07 ± 20,75	0,739
	Bending	57,32 ± 25,79	44,38 ± 26,6	0,155
	Traction	51,94 ± 24,36	37,85 ± 21,68	0,108
	Raimondi	19,07 ± 14,28	18,45 ± 10,99	0,864
Lumbar (L)	Cobb	33,75 ± 25,54	31,18 ± 13,20	0,758
	Bending	23,45 ± 34,92	18,25 ± 11,88	0,468
	Traction	25,85 ± 25,22	22,38 ± 9,226	0,745
	Raimondi	6,40 ± 8,48	6,33 ± 5,196	0,395
Curva Mayor*	Cobb Max *	64,75 ± 24,56	66,84 ± 26,91	0,758
	Rotation Max	19,17 ± 13,72	18,64 ± 11,16	0,878
	Bending Max	60,69 ± 27,26	51,27 ± 29,05	0,346
	Tracción Max	54,05 ± 25,28	47,16 ± 27,04	0,455
Sagital	Lordosis Cervical	12,58 ± 12,42	15,13 ± 14,78	0,489
	Cifosis Torácica	37,30 ± 28,48	45,54 ± 28,42	0,290
	Lordosis Lumbar	56,38 ± 19,70	52,47 ± 20,21	0,472
	Sacral slope	33,93 ± 9,10	39,24 ± 10,54	0,050
	Incidencia Pélvica	46,17 ± 11,45	57,32 ± 18,45	0,008
	Versión Pelviana	13,17 ± 9,85	16,20 ± 12,91	0,390
	SVA	29,38 ± 34,15	23,06 ± 45,24	0,592
	T9Spi	11,77 ± 10,27	11,13 ± 12,07	0,834
T1Spi	2,69 ± 6,08	1,25 ± 7,02	0,444	

\* CobbMax: Curva de mayor magnitud, RotationMax: Rotación de la vertebra apical para la curva de mayor rotación, BendingMax and TractionMax: medida dinámicas para la curva de mayor magnitud, utilizada en determinar la flexibilidad de la curva.

**Tabla 15:** Flexibilidad de la curva para ambos grupos

	Tipo de Corrección	Coplanar	Desrotación Apical	p-Value
<b>TP</b>	Bending	7,65±15,19 (9,7%)	12,90±9,20 (40%)	0,212
	Tracción	8,79±14,17 (22%)	12,15±9,10 (36%)	0,435
<b>T/TL</b>	Bending	6,44±18,01 (8%)	14,91±12,99 (29%)	0,127
	Tracción	19,83±12,11 (25%)	19,85±12,42 (36%)	0,542
<b>L</b>	Bending	15,32±12,48 (55%)	18,77±6,11 (55%)	0,409
	Tracción	10,46±7,56 (41%)	11,72±10,57 (25%)	0,753
<b>Cobb Max</b>	Bending	6,56±18,49 (7%)	16,13±12,69 (29%)	0,076
	Tracción	18,37±13,61 (26%)	19,35±11,71 (33%)	0,828

Fuente: elaboración propia

### Resultados intraoperatorios

El promedio de niveles instrumentados fue 12,5 para el grupo de desrotación coplanar y 13,5 para desrotación apical ( $p = 0,229$ ). El tiempo quirúrgico no varió entre ambos grupos. 198,4 min. para la técnica coplanar y 203 minutos. para la desrotación apical ( $p = 0,384$ ). 74,9% de los pacientes recibió algún gesto quirúrgico asociado (Tabla 16), tales como horizontalización de los extremos, compresión de la convexidad o distracción de la concavidad. Las osteotomías siempre se asociaron a maniobras suplementarias. No hubo diferencias significativas en el material de osteosíntesis utilizados, forma de posicionamiento de los tornillos, número y tipo de osteotomías. En 2 pacientes del grupo de DC y 6 en el grupo de DA se realizó desanclaje medular durante la cirugía. Ninguno de los pacientes presentó fistula dural.

**Tabla 16:** Maniobras de reducción adicionales, utilizadas en ambos grupos.

Técnica	Coplanar	Desrotación Apical	p-value
<b>Barra (%)</b>	Ti:62	Ti:47	0,44
	Mixed: 2,9	Mixed: 6,7	
	CrCo:35,1	CrCo:46,3	
<b>Técnica de instrumentación (%)</b>	Todos los tornillos: 32,4	Todos los tornillos: 20	0,512
	ZigZag: 67,7	ZigZag: 80	
<b>Osteotomias (%)</b>	Schwab 2: 32,3	Schwab 2: 33	0,386
	Schwab 3: 8,8	Schwab 3: 3,3	
	Schwab 5: 0	Schwab 5: 3,3	
<b>Compresión y distracción (%)</b>	Distracción de Concavidad: 29,4	Distracción de Concavidad:10	0,323
	Compresión de Convexidad:5,8	Compresión de Convexidad:3,3	
	Ambas:23,5	Ambas:36,7	
	Solo extremos:20,6	Solo extremos: 20	
	Ningún gesto:20,6	Ningún gesto:30	

Fuente: elaboración propia

La pérdida estimada de sangre fue 938,89 mL. con un máximo de 4.000 mL. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, con 1.040,91mL en el grupo de DC y 826,67 en el de DA (p = 0,265) (tabla 17)

**Tabla 17:** Parámetros intra y post – operatorios para ambos grupos.

Parámetro	Coplanar	Desrotación Apical	P-value
<b>Peso Post-op (Kgs)</b>	52±15	43±13	<b>0,025</b>
<b>Talla Post-op (cms)</b>	154±16	147±14	0,213
<b>Sangrado (cc)</b>	1040,91±772,9	826,67±519,6	0,265
<b>Tiempo quirúrgico (seg)</b>	198,4	203	0,384
<b>Ht Intraop (%)</b>	30,54±4,2	31,21±5,5	0,656
<b>Hb Intraop (grs/dl)</b>	10,78±1,6	15,28±1,5	0,33
<b>Ht Post op (%)</b>	28,49±5,0	28,85±4,7	0,777
<b>Hb Post op (grs/dl)</b>	10,02±1,6	9,78±1,8	0,585
<b>Transfusión GR (%pacientes)</b>	86,4	86,4	0,681
<b>Transfusión Plaquetas (%pacientes)</b>	50	37,5	0,415
<b>Transfusión Plasma (%pacientes)</b>	76,9	60	0,635
<b>PCR 1/3/7</b>	1/260/26,5	13/95/95,63	0,109
<b>Ht al alta(%)</b>	29,48±3,6	30,63±4,5	0,393
<b>Hb al alta (grs/dl)</b>	10,41±1,3	13,65±15,8	0,682
<b>Días UCI</b>	4,10 ±7,22	2,70±1,98	0,789
<b>Días UCI</b>	2,75±4,75	1,61±1,29	0,928
<b>Días MQ</b>	4,94±7,66	5,00±4,97	0,518
<b>Drenaje Profundo/Superficial (%)</b>	79,4/20,6	70/16,7	0,281/0,470
<b>Días con drenaje</b>	3,45±1,3	2,93±1,5	0,237
<b>Complicaciones (%)</b>	38,2	50	0,244
<b>Alertas Neurológicas (%)</b>	8,8	23,3	0,106

Fuente: elaboración propia

De manera global en el pre – operatorio los pacientes ingresaron a pabellón un Ht/Hb de 40,35%/13,26grs/dl, este bajó en el intraoperatorio a 30,93%/10,55grs/dl, se estabilizó en el post operatorio en 28,64%/9,9grs/dl y al alta fue de 30,12%/10,35grs/dl. No hubo diferencias significativas en los dos grupos para estos parámetros. 86,4% de los pacientes en ambos grupos requirió transfusión de GR, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre grupos en cuanto a necesidad de transfusión de plasma o plaquetas (Tabla 16).

Respecto al análisis de los grupos en base a la utilización de ácido tranexámico, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro grupos en cuanto a tiempo quirúrgico número de niveles instrumentados, sangrado intraoperatorio, sangrado post operatorio, sangrado total, hematocrito y

hemoglobina pre, post operatorio y diferencia entre ambos, número de unidades de glóbulos rojos trasfundidos y días de los pacientes con drenaje. El grupo en que se usó ácido tranexámico endovenoso y tópico tuvo mayor porcentaje de complicaciones que los otros grupos ( $p=0,035$ ) (tabla 18).

**Tabla 18:** Resultados comparativos para subgrupos de pacientes con escoliosis neuromuscular tratados con ácido tranexámico.

Variable	Sin TXA (n=4)	TXA e.v (n=31)	TXA Tópico (n=9)	Ambos (n=19)	p-value
Tiempo quirúrgico (min)	187,5 ± 61,9	208,4 ± 79,6	238,9 ± 101,7	216,8 ± 971	0,745
Número de niveles instrumentados	12,75±1,5	13,55 ± 3,42	13,1 ±2,8	12,8±3,1	0,946
Sangrado intraoperatorio (mL)	1137,5±303,8	872,6 ±619,9	783,3±407,7	1078,9±870,7	0,586
Sangrado post – operatorio (mL)	408,8±444,9	392,7± 368,7	454,4 ± 302,1	423,3±463,1	0,979
Sangrado Total (mL)	1546,3±377,3	1265,3±778,52	1237,8±673,1	1502,2±1269,5	0,784
Hto/Hbpre – operatorio (%/g/dl)	43,5±4,9/14,6±2,1	39,5 ± 3,1/12,7±1,22	42,1±3,96/14,2±1,7	40,2±3,2/13,4±1,1	0,063/0,007
Hto/Hb– Post operatorio(%/g/dl)	28,5±7,4/9,5±2,6	27,8±4,7/9,7 ±1,7	31,1±4,8/10,8±1,8	28,9±4,1/9,9±1,4	0,381/0,420
Diferencia Hto/Hb pre a post operatoria(%/g/dl)	28,9±2,8/7,5±5,4	26,7±2,5/3,4±2,8	27,8±2,4/4,6±4,5	26,8±2,1/5.0±4,1	0,283/0,152
Transfusión GR inatropoperatoria (Unidades)	1,25±0,9	1,19±1,1	0,89±0,9	1,05±1,1	0,882
Trasfusión de GR Post – operatoria (Unidades)	0,5±0,6	0,4±0,8	0,67±1,0	0,44±0,8	0,788
Días con drenaje (días)	3,3±2,4	3,1±1,3	4,0±2,1	3,0±0,9	0,383
Complicaciones	1	9	5	13	0,035

Fuente: elaboración propia

### Alineamiento post – operatorio

La comparación del alineamiento post – operatorio, (Tabla 19) mostró que las diferencias pre – operatorias en términos de ángulo de Cobb proximal, Incidencia pélvica y Sacral slope, eran mantenidas entre los dos grupos. El análisis entre los cambios del pre – al post operatorio (corrección) por grupo, reveló diferencias estadísticamente significativas en el alineamiento coronal, excepto la oblicuidad pélvica. ( $p=0,056$  para DC, y  $p=0,109$  DA), y el RVA de la curva proximal y distal en el grupo de DC. En el post – operatorio inmediato (Tabla 19), el Angulo de Cobb de la curva de mayor magnitud se corrigió de  $34,6±13,2$  en el grupo de DC y  $33,2±15,6$  en el de desrotación apical ( $p=0.721$ ), la corrección del RVA

fue de  $7,8^{\circ} \pm 14,4$  en el grupo de DC y  $7,1^{\circ} \pm 11,8$  en el de desrotación apical ( $p=0,335$ ). No hubo diferencias significativas en la habilidad de corrección entre ambas técnicas para cada curva en cuanto a la magnitud, RVA u oblicuidad pélvica ( $p=0,978$ ). En el plano sagital, hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto al porcentaje de aplanamiento de la cifosis torácica, en que el grupo de DC perdió  $4,2 \pm 26,6^{\circ}$  y el de DA  $13,20 \pm 21,3^{\circ}$  ( $p=0,048$ ), en el seguimiento a dos años, el grupo de DA perdió significativamente más corrección que el grupo de DC para este ( $p=0,046$ ). El resto de los parámetros de corrección sagital no difirieron significativamente entre ambas técnicas. La estratificación de la cifosis torácica pre – operatoria demostró que, de manera global, no hubo cambios significativos entre la cifosis torácica para el grupo de pacientes con hipocifosis ( $<20^{\circ}$ ) y normocifosis ( $20 - 50^{\circ}$ ), mientras que el grupo de pacientes con hipercifosis ( $>50^{\circ}$ ) presentaron un aplanamiento significativo en el post – operatorio inmediato ( $50.2\%$ ,  $p=0,000$ ). Hubo una correlación significativa entre la cifosis pre – operatoria y el porcentaje de corrección en el post – operatorio para todas las cohortes. ( $p=0,000$ , RR 0,763), esto se mantuvo para cada uno de los grupos estudiados de manera individual DC ( $p=0,000$ , RR 0,841), y DA ( $p=0,000$ , RR=0,665).

**Tabla 19:** Comparación entre el alineamiento postoperatorio y la corrección (Cambio de pre-operatorio a post-operatorio)

		Alineamiento Post-operatorio			Cambio de pre-op a post-op				
		Coplanar	Desrotación apical	p (DC vs DA)	Coplanar	p (DC)	Desrotación apical	p (DA)	p (DC vs DA)
<b>Oblicuidad Pélvica</b>		4,1 ± 7,5	9,43 ± 12,07	0,065	-2,7± 7,22	0,056	-4,4 ± 12,8	0,109	0,978
<b>PT Curve</b>	Cobb	15,08 ± 9,72	26,26 ± 22,89	0,02	-11,6 ±12,7	0	-15,9±18,0	0	0,31
	RVA	3,58 ± 6,74	4,10 ± 6,71	0,935	-2,5±8,8	0,145	-4,0±8,6	0,027	0,393
<b>TL Curve</b>	Cobb	27,27 ± 19,55	31,62 ± 20,98	0,415	-33,0± 14,1	0	-31,1 ± 13,8	0,000	0,631
	RVA	11,44 ± 12,67	10,40 ± 9,15	0,649	-7,3±13,4	0,009	-6,7±12,5	0,024	0,485
<b>L Curve</b>	Cobb	18,31 ± 19,12	11,58 ± 15,41	0,303	-17,2 ± 19,2	0,001	-23,3 ± 9,5	0,000	0,331
	RVA	5,14 ± 8,99	2,31 ± 3,55	0,56	-0,9±8,9	0,659	-5,0±5,2	0,021	0,223
<b>Curva Max</b>	CobbMax	27,71±20,20	33,67±24,26	0,321	-34,6 ±13,2	0	-33,2±15,6	0	0,721
	RVAMax	10,64±12,17	10,30±10,14	0,618	-7,8±14,4	0,009	-7,1±11,8	0,007	0,335
<b>Sagital Plano</b>	Lordosis Cervical	15,84±15,93	19,64±18,11	0,727	2,5±17,52	0,451	0,9±2,2	0,997	0,698
	Cifosis Torácica	33,85±17,14	30,40±25,14	0,890	4,2±26,6	0,403	13,20±21,3	0,005	0,048
	Lordosis Lumbar	51,67±11,33	52,14±18,87	0,904	-4,6±17,6	0,173	-3,1±12,4	0,219	0,736
	Sacral slope	31,03±8,56	39,52±11,14	0,002	-2,34±6,8	0,077	-3,6±3,2	0,584	0,192
	Incidencia Pélvica	43,27±11,76	55,38±17,83	0,003	-1,9±6,5	0,118	-0,48±3,3	0,48	0,316
	Versión Pelviana	12,45±7,64	15,48±12,67	0,225	-0,4±6,4	0,731	0,7±4,6	0,474	0,483
	SVA	29,33±41,76	35,03±51,35	0,288	-9,0±44,5	0,282	15,76±75,5	0,857	0,13
	T9Spi	9,74±7,34	6,71±10,14	0,188	-1,9±9,26	0,273	-4,1±17,8	0,431	0,525
	T1Spi	4,26±6,57	2,39±7,53	0,499	1,5±7,0	0,259	1,2±9,0	0,219	0,9

Fuente: elaboración propia.

El análisis de mantención de corrección a 2 años (Tabla 20) demostró que una pequeña pero significativa pérdida de corrección se observó en el grupo de DA versus el de desrotación coplanar. (3,7 vs -1.8, p=0,046).

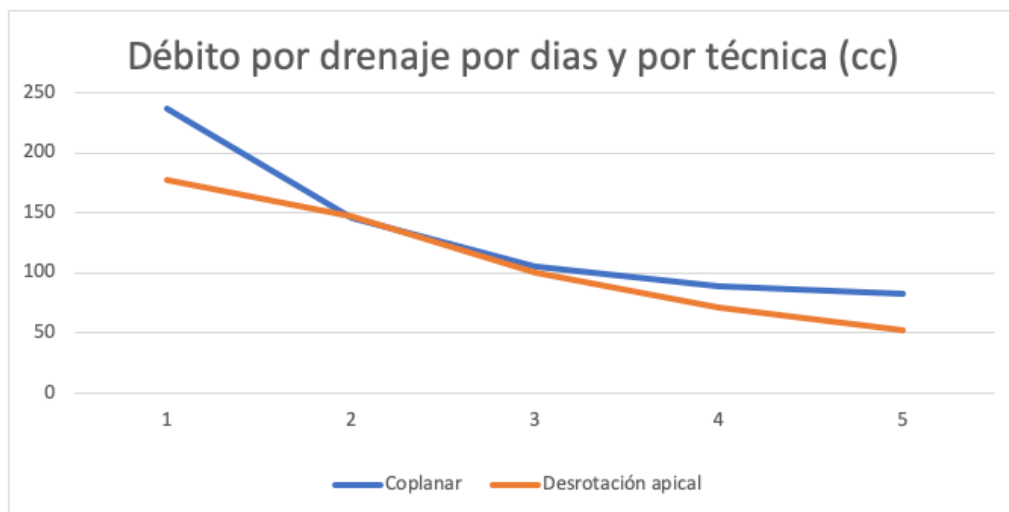
**Tabla 20:** Mantenimiento de la corrección de post-op a 2 años de follow-up

		Coplanar	Apical	P (VCA vs AD)
<b>Oblicuidad Pélvica</b>		-0,49±8,9	1,21±3,18	0,716
<b>Curva TP</b>	Cobb	1,7±7,8	1,7±2,6	0,993
	VAR	-1,8±7,9	1, ±2,6	0,32
<b>Curva TL</b>	Cobb	5,5±9,0	2,5±9,1	0,319
	VAR	-1,1±8,4	4,3±9,8	0,194
<b>Curva L</b>	Cobb	-2,3±13,5	14,8±40,5	0,849
	VAR	-0,8±2,8	0,2±0,7	0,34
<b>Curva Max</b>	Max Cobb	4,2±7,9	2,4±8,9	0,518
	Max VAR	-1,1±8,9	3,1±8,3	0,467
<b>Plano Sagital</b>	Lordosis Cervical	-1,8±8,9	-8,8±21,1	0,16
	Cifosis Torácica	-1,8±7,7	3,7±10,15	0,046
	Lordosis Lumbar	-4±12,7	-0,8±11,5	0,39
	Sacral slope	1,4±7,0	-1,0±4,5	0,166
	Incidencia Pélvica	-0,2±6,7	-1,0±6,4	0,731
	Versión Pelviana	-0,3±7,4	1,0±6,7	0,57
	SVA	15,5±50,6	-5,3±48,2	0,833
	T9Spi	-1,1±7,6	0,1±9,4	0,671
T1Spi	1,5±8,5	1,2±9,1	0,842	

Fuente: elaboración propia

## Resultados Postoperatorios

No hubo diferencias en ninguna de las variables analizadas en el postoperatorio entre los dos grupos. Para el grupo de DC, el drenaje se uso por 3,45 días con un débito de 452,38cc; para el de DA fue de 2,93 días con un débito de 352,07cc (p= 0,169 y 0,305, Fig. 14).



**Fig. 14** Débito del drenaje por días y técnicas. Fuente: Elaboración propia

Los pacientes salieron a una unidad de tratamiento intensivo o intermedio por protocolo; los casos con desanclaje medular programadamente salieron a VM, para evitar valsalva, estos fueron extubados a las 24 horas. No hubo diferencias en la proporción de pacientes que salió a ventilación mecánica en ambos grupos, 20,6% el grupo de DA 23,3% en el de DA ( $p= 0,222$ ). El tiempo de hospitalización entre ambos fue similar con 10,5 días de hospitalización (Tabla 17). El promedio de días de hospitalización fue  $3,36 \pm 5,18$  en Unidad de cuidados intensivos  $2,21 \pm 3,56$  en intermedio y  $4,97 \pm 6,47$  en médico – quirúrgico (tabla 17), no existió diferencia estadísticamente significativa en los tiempos de hospitalización de las diferentes unidades al analizarlo por técnicas

El 100% de los pacientes recibió vancomicina tópica. Los pacientes con drenaje recibieron antibiótico durante su hospitalización el 91,2% de los pacientes con técnica coplanar y 90% de los pacientes con técnica de desrotación apical. Los gases intraoperatorios mostraron de manera global leve acidosis metabólica con un pH promedio de  $7,35 \pm 0,09$ , con un PO<sub>2</sub> de  $41,67 \pm 7,9$  mmHg y PCO<sub>2</sub>  $9,63 \pm 66,7$  mmHg. De los pacientes del grupo de desrotación coplanar un 44% requirió drogas vasoactivas para mantener una hemodinámica estable, versus 23% del grupo de desrotación coplanar esta diferencia no es estadísticamente significativa. las drogas mas utilizadas fueron: Fenilefrina, adrenalina y noradrenalina.

Los pacientes salieron de pabellón con una PA promedio de 104,9/60,39 mmHg y 35,81°C para el grupo de VCA y 100,07/53,39mmHG con 36,17°C para el de DA.

No hubo diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de salida de ambos grupos

## Complicaciones

El promedio de complicaciones global fue de 54.6%, 38,2% de los pacientes en el grupo de desrotación coplanar y 50% de los pacientes en el grupo de desrotación apical presentaron al menos una complicación (p=0.244) (Tabla 21). 6,25% presentó infección quirúrgica (3,13% superficial y 3.13% profunda), los gérmenes mas frecuentes fueron Klebsiella Sp, Proteus Sp., Pesudomona Aeruginosa.

**Tabla 21:** Complicaciones.

Complicación	VCA	AD	Total
<b>Intraoperatorio</b>			
Durotomía incidental	1	1	3.13%
Ulcera por presión occipital	1	0	1.6%
Arrancamiento de tornillo (reposición intraoperatoria)	1	1	3.13%
Shock hipovolémico	2	2	6.35%
Mordedura de la lengua	1	0	1.6%
<b>Post – operatorio temprano</b>			
Infección superficial	2	0	3.13%
Infección profunda	1	1	3.13%
Neumonía bilateral	1	1	3.13%
Neumotórax laminar/atelectasia	1	3	6.25%
Varicela	1	0	1.6%
Fiebre de origen desconocido por 2 días	0	3	4.7%
Convulsiones post operatorias	0	2	3.13%
Paraparesia transitoria (recuperación completa en 3 semanas)	1	1	3.13%
Ileo post operatorio	0	1	1.6%
<b>Complicaciones tardías</b>			
Pullout de tornillo por PJK*	2	1	4.7%
Fractura del pedículo por accidente traumático	1	0	1.6%
No unión	0	2	3.13%
Total	16	19	54.6%

**Fuente:** elaboración propia \*Proximal junctional kyphosis

3,13% presentó una neumonía, en estas se aislaron Klebsiella y Sp., Proteus Sp, 4 pacientes se recuperaron de un shock hipovolémico, 2 presentaron una durotomía incidental que se reparó durante la

cirugía sin consecuencias posteriores. Hubo 3 pacientes que presentaron fiebre post – operatoria, pero que duró menos de 48 horas, no fueron tratados con antibióticos y se asimilaron a casos mas severos de Síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SIRS). En pacientes infectados los dos antibióticos mas utilizados fueron vancomicina y amikacina.

Hubo un caso de varicela post operatoria, que requirió intenso tratamiento con Aciclovir, sin embargo, éste fue uno de los pacientes que presentó posteriormente una infección profunda y requirió múltiples limpiezas quirúrgicas.

El 6,35% de los pacientes presentó complicaciones mayores, ésta fueron todas tempranas, no hubo complicaciones mayores tardías.

7,8% de los pacientes presentaron complicaciones tardías, éstas fueron todas mecánicas. 3 pacientes con cifosis juncional, una paciente con una fractura del pedículo de fijación distal tras una caída 6 meses post operatorio que fue tratada de manera conservadora, 2 pseudoartrosis que requirieron revisión, ambos en pacientes con mielomeningoceles que fallaron en la unión lumbosacra, uno en cada grupo, que fueron posteriormente sometidos a un ALIF con buenos resultados.

74% de los pacientes en el grupo coplanar y 50% en el grupo de desrotación apical, tuvieron líneas de base normales (Tabla 22)

**Tabla 22:** Líneas de base del neuromonitoreo de pacientes con escoliosis neuromuscular

Líneas de base	Coplanar	Desrotación Apical
<b>Normal</b>	25	15
<b>Anormal</b>	6	11
<b>Presentes solo en EESS</b>	1	4
<b>Presentes EESS y EEII der</b>	1	
<b>Presentes EESS y EEII izquierda</b>	1	

Fuente: elaboración propia

Existieron 3 alertas neurológicas en el grupo con desrotación coplanar y 7 en el grupo de desrotación apical ( $p = 0,169$ ). La alerta mas frecuente fue disminución global de PES y PEM que se recuperaron espontáneamente con subida de la PAM (presión arterial media) en 4 casos, en 2 casos se registraron alertas menores durante el des anclaje medular y en 4 casos alteraciones reales. En 3 casos disminución de la amplitud de los potenciales en EEII, principalmente tibial anterior y abductor hallucis longus, que se recuperaron al finalizar la cirugía. Existió un caso con repercusión clínica y paraparesia de extremidades inferiores que se recuperó a las 3 semanas post cirugía, esto correspondió a un caso de sd. de Ehlers-Danlos con una curva de  $50^\circ$ . Durante la cirugía y tras activar los protocolos de manejo de alteración de potenciales, el paciente salió con líneas de base presentes pero menor al 50% del basal, despertó con M2 de la EEII derecha y M3 de la extremidad inferior izquierda.

En cuanto a las líneas de salida, en técnica coplanar se registraron 2 casos en que mejoró la amplitud de los potenciales mas de un 50%, luego de la reducción de la curva. El resto de los pacientes no tuvo cambios. En el grupo de desrotación apical se presentó el caso de paresia que terminó la cirugía con PESS y PEM con menos del 50% de amplitud, pero presentes.

## Análisis

El análisis univariable de los parámetros, pre, intra y post operatorios descritos, mostró que en los datos demográficos, no había ningún parámetro que se relacionara con el aumento de la incidencia de complicaciones post operatorias (Tabla 23). El número de comorbilidades presentes es mayor en pacientes que presentan complicaciones (media de 4.0 comorbilidades versus 2.5  $p=0.0009$ )

**Tabla N°23:** Parámetros clínicos, radiológicos, quirúrgicos y complicaciones.

Parámetro	Tipo	Con Complicación	Sin complicación	P value
<b>Demografía</b>	Edad	14,86±2,44	15,44±4,36	0,498
	Sexo M/F	nov-14	25/14	0,093
	Peso preoperatorio	45,06±14,88	45,93±16,90	0,84
	Talla Preoperatoria	148,8±15,4	146,7±19,14	0,73
	Hospital público/privado	18-oct	15/21	0,369
	Comorbilidad	3,96±2,5	2,47±1,6	<b>0,009</b>
	Cirugías previas (s/n)	19-sept	21/15	0,302
	Edad de Telarquia	9,75±2,5	10,57±1,13	0,464
	Edad de Menarquia	12,65±1,7	12,93±1,7	0,589
	Corset preoperatorio (s/n)	12-16	9-27	0,107
	Alergias (s/n)	8-20	10-26	0,32
	Capacidad de marcha (s/n)	16-12	24-11	0,25
	Convulsiones/mes	0,5±1,2	0,28±0,9	0,39
	N° ITU/año	0,9±1,5	0,3±1,1	0,095
	N° IRB/año	1,0±1,7	0,67±1,5	0,458
	ASA(N° pacientes), I/II/III	4/17/7	12/18/6	0,207
<b>Perinatal</b>	Peso nacimiento	3,176±739	3194±596	0,914
	Talla nacimiento	48,23±4,8	48,07±3,83	0,873
	Semanas del parto	37,62±2,9	38,17±2,6	0,436
	Embarazo (normal/patológico)	6-31	6-20	0,273
	Parto (eutocico/cesarea)	16-9	18/17	0,609
	patología Perinatal (s/n)	13/14	8-28	<b>0,029</b>
<b>Laboratorio</b>	Glicemia Pre – op	84,7±8,2	89,9±7,9	<b>0,016</b>
	BUN Pre – op	15,75±5,0	13,4±4,3	0,055
	Ht/Hb pre / op	40,4±4,2/13,3±1,8	40,3±4,2/13,27±1,1	0,973/0,908
<b>Cirugía</b>	material barra (Ti/CrCo/both)	19/7/02	16/19/1	0,074
	Alta densidad/Baja densidad tornillos	23-5	24-12	<b>0,01</b>
	N° niveles instrumentados	13,93±2,9	12,31±3,3	<b>0,044</b>
	Técnica quirúrgica (DC/DA)	13/15	21/15	0,244
	Osteotomías Schawb 1-6	0/11/2/0/0/0	0/11/2/1/0/0	0,592
	Desanlaje simultaneo (s/n)	4-24	4-32	0,495
	Tiempo quirúrgico	245,0±80,2	189,7±86,7	<b>0,012</b>
	Sangrado	1112±865	800±418	<b>0,065</b>

Trasfusiones			
GR/Plaquetas	3±2,0/2,88±2,9	1,75±1,2/3,7/3,1	0,123/0,700
Ht/Hb	27,6±5,7/9,5±2,0	29,5±3,9/10,23±1,4	0,170/0,092
ph/P02/pC02	7,3/111,9/40,7	7,3/86,5/42,7	0,578/0,298/0,465
Drenaje superficial/profundo	17-10	11-18	0,021/0,003
UCI/UTI/MQ	4,65/3,16/6,77	2,29/1,26/3,55	0,178/0,108/0,094
VM (s/n)	7-18	7-26	0,578

Fuente: elaboración propia

Hay una significativa relación entre los pacientes con patología perinatal ( $p=0,029$ ) y la presencia de complicaciones, como factor aislado, los otros parámetros perinatales no fueron estadísticamente significativos.

En cuanto a los parámetros de laboratorio, la hipoglicemia pre – operatoria es un factor de riesgo (84.7 versus 89.9g/dl,  $p=0.016$ ) de complicaciones.

De los parámetros intaroperatorios analizados, un alto número de niveles instrumentados ( $p = 0,044$ ), un tiempo quirúrgico prolongado ( $p = 0,012$ ), una alta densidad de implantes ( $p = 0,010$ ) y la ausencia de drenaje profundo ( $p = 0,003$ ) o la presencia de drenaje superficial ( $p = 0,021$ ) significativamente aumenta el riesgo de complicaciones. El material de osteosíntesis, desanclaje medular simultaneo, o el uso de osteotomías, no fue significativo en incidir en las complicaciones de estos pacientes. El sangrado, si bien no fue estadísticamente significativo, presentaba una fuerte tendencia con una  $p = 0,065$ .

Los pacientes con complicaciones tenían menores valores de oblicuidad pélvica ( $p=0.050$ , menor cifosis post – operatoria ( $p=0.0335$ ), mayor pérdida de cifosis ( $10.8^{\circ}\pm 27.7$  versus  $6.3^{\circ}\pm 21.6$ ) y mayor T9Spi ( $p=0.043$ ) (tabla 24).

**Tabla 24:** Parámetros radiológicos y su riesgo de complicación.

Pre-op				Post-op		
Rx	Con Complicaciones	Sin Complicaciones	P-value	Con Complicaciones	Sin Complicaciones	p-value
<b>Risser (0 o V)</b>	3/5/1/1/8/10	3/2/6/3/11/11	0,362			
<b>Magnitud Curva</b>	69,7±27,7	62,3±23,3	0,271	34,8±22,6	26,9±21,7	0,186
<b>RVA</b>	19,7±14,3	18,2±10,8	0,668	12,3±12,4	9,1±10,0	0,301
<b>Oblicuidad Pélvica</b>	7,27±8,4	16,8±21,0	0,05	8,4±12,5	5,1±8,0	0,22
<b>Lordosis Cervical</b>	13,2±11,9	14,2±14,9	0,782	16,6±16,6	18,4±17,4	0,683
<b>Cifosis Torácica</b>	40,9±31,8	41,2±25,7	0,976	28,9±15,2	38,2±18,1	0,035
<b>Lordosis Lumbar</b>	53,4±22,8	55,7±17,0	0,67	49,4±14,2	53,8±15,8	0,267
<b>Sacral slope</b>		34,1±11,2	0,265	36,1±11,8	34,2±9,8	0,491
<b>Incidencia Pélvica</b>	49,9±20,4	43,16±22,3	0,23	45,9±14,5	48,4±15,1	0,815
<b>Versión pelviana</b>	16,04±11,8	10,9±11,2	0,085	13,6±13,4	14,3±10,4	0,565
<b>SVA</b>	28,1±29,9	25,5±46,7	0,812	43,6±32,2	26,3±44,2	0,364
<b>T9Spi</b>	10,4±11,6	12,4±10,6	0,505	10,4±6,8	8,2±8,0	0,043
<b>T1Spi</b>	0,9±7,3	3,0±6,5	0,265	5,3±5,8	4,9±4,5	0,091

Fuente: elaboración propia

El análisis por regresión logística, muestra que la presencia de comorbilidades ( $p=0.026$ , Odd Ratio (OR)=1.423), una baja glicemia preoperatoria ( $p=0.003$ ;OR=0.865), cirugías mas largas ( $p=0.017$ ;OR = 0.124) son predictores independientes para la presencia de complicaciones.

Para complicaciones mayores, los predictores independientes son el número de niveles instrumentados ( $p=0.046$ , OR 1.311) y una cifosis post operatoria menor ( $P=0.025$ ;OR1.074). Por último, una alta densidad de implantes fue el único predictor para complicaciones mecánicas ( $p=0.014$ ;OR=4.380).

## DISCUSION

Este es el primer estudio que compara dos técnicas de desrotación en escoliosis neuromuscular, en general no hay un interés particular por la desrotación vertebral en estos pacientes, ya que los objetivos del tratamiento quirúrgico están orientados a obtener un buen cimiento pélvico a través del cual se pueda construir una columna balanceada. Una buena técnica de desrotación, una estandarización en la corrección nos permite por se alcanzar este objetivo y permite comparar los resultados en este grupo de pacientes.

Al desconocer la etiopatogenia de la escoliosis en general y con la menor experiencia que tenemos en escoliosis neuromuscular, debemos extrapolar nuestros conocimientos a los estudios realizados en escoliosis idiopática del adolescente. El objetivo en los pacientes con EIA es re-establecer la posición original tridimensional de la columna (122); este se logra aplicando fuerzas muy intensas sobre las vértebras. La traslación de la barra, rotación de la barra, cantiléver, maniobras de compresión y distracción, son todas eficientes en corregir el balance coronal (123), pero nuestro foco actual debe estar en no desmerecer la corrección sagital y axial en favor del balance coronal.

Podemos observar algunas ventajas indirectas, no previamente mencionadas, de la técnica de DC. La técnica de desrotación apical ha sido el “gold standard” por muchos años, porque fue la primera técnica que tomo en consideración el plano axial y no solo la rotación de la barra y traslación (53), pero ésta técnica o considera la globalidad de la columna, al aplicar fuerzas correctivas solo en el ápice de la curva. En esta técnica, la barra se fuerza dentro de los tornillos, muchas veces se posiciona en escoliosis para facilitar su entrada y luego se derrota la barra, lo cual lleva la columna a la línea media, pero no produce real desrotación vertebral(52), Lee en un estudios con EIA que concluyó que existe una importante diferencia en el potencial de corrección de 2,4% a 42,5% respectivamente entre la desrotación pura de la barra, versus la aplicación de torque de desrotación directa sobre las vértebras apicales (124). Por lo demás esta presión produce un aplanamiento de la barra, lo que compromete la corrección en el

plano sagital, que no es posible luego recuperar tras la desrotación apical, como se pudo observar en la tabla 19, con una pérdida de la cifosis torácica de  $13,2^{\circ} \pm 21,3$ , en pacientes que en promedio tienen  $45,5^{\circ} \pm 28,4$  de cifosis, o sea pierde aproximadamente un 30% de su valor angular.

Estos pacientes son frecuentemente osteoporóticos y la distribución de las fuerzas es una manera de evitar el arrancamiento de los tornillos y las fracturas pediculares. El porcentaje de alertas neuroquirúrgicas en el grupo de DA fue el doble que el grupo de DC, si bien esta diferencia no fue estadísticamente significativa, nos habla de las ventajas de distribuir las fuerzas a lo largo de toda la columna y de la manera más gentil en que trabaja esta técnica, que permite a los tejidos blandos posicionarse suavemente versus la violencia del gesto de la desrotación apical. La técnica de DA lleva más de 20 años siendo utilizada, por lo que los cirujanos se sienten muy cómodos usándola y enseñándola a sus residentes, sin embargo, es poco precisa, porque depende mucho de la experiencia, habilidad y agresividad del cirujano y su capacidad de “sentir” hasta cuando la maniobra es suficiente. La técnica de DC es más precisa, tiene muchos más pasos y el instrumental es complejo, pero una vez aprendida la técnica, la capacidad de corrección no depende del cirujano, sino de la capacidad de la columna de retomar la nueva posición a la que queremos llevarla, lo que la hace una técnica más reproducible y segura para cirujanos jóvenes con menos experiencia(120). Esto se grafica en que la capacidad de corrección de la DA en EIA se ha reportado entre 25-60%(124, 125), con una importante dispersión, similar capacidad tiene la DC que es entre 52.9-56-1% (91, 100), pero mucho más consistente en sus resultados

Ambas técnicas son eficientes en corregir la escoliosis neuromuscular en el plano coronal, axial y sagital. Di Silvestre mostró que la rotación vertebral directa aumenta de manera importante la corrección de las curvas torácicas principales (125). Desde el punto de vista del paciente, estas curvas son las que más impacto cosmético tienen por la gran deformidad que produce la giba, sin embargo, debemos recordar que las curvas torácicas de los pacientes con EIA son habitualmente más flexibles que las curvas de los pacientes con escoliosis neuromuscular (tabla 15). He y cols. pudo replicar estos resultados EIA,

con curvas principales cuya flexibilidad rodeaba el 43% (100). P. Sun estudió la comparación entre las técnicas de DA y DC en EIA, pero encontró diferencias significativas en favor de la técnica coplanar en cuanto a la capacidad de corregir el plano coronal, versus He que no encontró esta diferencia y que es compatible con nuestros resultados actuales. Nosotros observamos que en el plano coronal y axial ambas técnicas tienen similares capacidades de corrección. La corrección en el plano coronal se obtiene de una combinación entre la natural postura que asume la columna al colocar al paciente en prono y anestesiado en la mesa operatoria, además de las maniobras utilizadas.

En EIA, la rotación vertebral apical es fundamental porque tras realizar una corrección en el plano coronal y axial, las vértebras adyacentes normalmente aumentan su magnitud para compensar la curva instrumentada. En la DC, esta compensación no es necesaria, porque durante la maniobra, al incluir todas las vértebras en la corrección, cada una va alineándose de manera armónica en relación a la otra, con menor necesidad de una violenta compensación por las vértebras no instrumentadas.

La desrotación es más difícil en curvas rígidas, los mecanismos compensatorios y las curvas secundarias restringen nuestra capacidad de corregir homogéneamente la columna, la espasticidad también juega un rol en los pacientes neuromusculares, pero que las capacidades de corrección de la técnica son similares a los obtenidos en EIA. Esto es algo que debe ser tomado en consideración para la planificación pre – operatoria, en que curvas aparentemente muy rígidas, al ser medidas con proyecciones de bending y tracción, pueden no serlo durante el acto quirúrgico y puedan requerir menos maniobras u osteotomías de las que fueron planificadas inicialmente, disminuyendo la morbilidad del paciente.

La técnica de DC ha demostrado ser eficiente en mantener la cifosis en pacientes normocifóticos, incrementarla en pacientes hipocifóticos (100) y disminuirla en pacientes hipercifóticos, en escoliosis idiopática del adolescente. En este estudio, observamos que los pacientes tenían valores satisfactorios de magnitud de cifosis al final del procedimiento. Al revisar la estratificación, se observa que solo se

aplanan los pacientes hipocifóticos. Esto es algo que se busca en estos pacientes, en que queremos, a través de diferentes herramientas quirúrgicas, como osteotomías, reducir la cifosis a valores fisiológicos. Es muy notorio, eso si, la habilidad de la técnica de DC de mantener cifosis en pacientes en que no queremos perderla, con al menos 10° menos de aplanamiento que la técnica de DA (Tabla 19). Este es una de los principales beneficios de esta técnica, ya que la perdida de cifosis es uno de los problemas existentes en las técnicas de corrección de deformidad en el niño(126)

La corrección de la oblicuidad pelviana es absolutamente fundamental en estos pacientes, siendo uno de los objetivos principales de la cirugía, ambas técnicas fueron eficientes en corregir la angulación de la pelvis ( $2,7^{\circ}\pm 7,22$  en el grupo de DC y  $4,4\pm 12,8^{\circ}$  en el de DA)(tabla 19) , si bien este valor no fue significativo al analizarlo entre las técnicas, es un parámetro que se debe trabajar dirigida mente para dejar al paciente bien sentado en la silla de ruedas y evitar escaras por presión.

La mayor defensa que tenemos contra las complicaciones es prevenirlas, para lograr esto debemos evaluar de manera integra a nuestro paciente y obtener de él toda la información que pueda predecir la potencial presencia de una complicación. En un estudio de 2.154 pacientes con escoliosis neuomrucular, la tasa global de complicaciones fue 33.1% - 40.1%(32), lo cual es compatible con nuestros resultados (Tabla 20). La anamnesis remota del paciente debe iniciarse antes del nacimiento, con las características del embarazo de la madre, no encontramos ningún estudio que analizara la correlación entre las características perinatales del paciente y complicaciones. Nuestros hallazgos confirman la importancia de evaluar este período en la vida del niño. En un estudio retrospectivo que evaluó 7252 niños mayores de 5 años, con escoliosis neuromuscular, demostró que el 59% presentaba mas de 4 comorbilidades, lo cual se traducía en una estadía hospitalaria mas larga, alto riesgo de readmisión y mayores costos (55). Esto está completamente de acuerdo con nuestros hallazgos, en que los pacientes con mas de 4 comorbilidades presentaron mayor porcentaje de complicaciones y es además un predictor independiente de complicaciones, como lo demostró el análisis multivariable.

Las situaciones que se correlacionan fuertemente con hospitalizaciones más prolongadas y mayores porcentajes de readmisión son la incontinencia urinaria por disfunción vesical, la epilepsia y la insuficiencia respiratoria crónica. Los pacientes presentan dificultad para realizar su higiene personal, muchos presentan vejiga neurógena, lo que además los predispone a daño renal (60), la disfunción vesical es un problema relevante porque a menudo los apósitos se mojan con orina colonizada lo que aumenta el riesgo de infección o disminuye la capacidad de cicatrización de estas heridas. El 35% de los pacientes con MMC se cateteriza, 54% de los que presentan reflujo vesico-ureteral asocian una infección urinaria pre – operatoria (70). Si bien creemos innecesario tratar aquellos pacientes que están colonizados, no debemos olvidar que las infecciones urinarias son la primera causa de fiebre en el período post operatorio (71). De los dos pacientes que presentaron este síntoma, en ninguno fue posible identificar una infección urinaria pero no la descartamos, si bien no hubo correlación entre la presencia de infecciones urinarias previas y el porcentaje final de complicaciones.

Dos de nuestro pacientes presentaron un status epiléptico post operatorio, uno de ellos con Sd de Rett, por lo que aumento su período de estadía en la unidad de pacientes críticos (127). Recomendamos de manera fehaciente, tratar a estos pacientes pre – operatoriamente con algún anticonvulsivante más adecuado (en nuestra casuística utilizamos escitalopram) por esta razón; por lo demás, el reemplazo de acido valproico por otra droga debe ser realizado con anticipación para lograr adecuados niveles plasmáticos antes de la cirugía. El efecto trombocitopénico del Acido valproico es un tema controvertido (72). Pero en estos pacientes es mejor no tomar riesgos.

Una columna estable, independiente de la técnica quirúrgica utilizada como pudimos ver con anterioridad, implica para el paciente y sus cuidadores, mejor higiene, facilidad en el cateterismo y menos ITU, mejor posición en la silla disminuye el dolor y discomfort lo que podrían explicar la disminución en el porcentaje de crisis epilépticas. No hemos encontrado estudios que evalúan si hay un impacto en las dosis de anticonvulsivantes requeridas en la mejoría de la capacidad ventilatoria al restaurar altura del tronco y contrarrestar la hipotonía (57), si bien algunos estudios no muestran cambios

significativos en la capacidad vital (CV) (58) y disminución en el porcentaje de IRB, en nuestra serie de 60% a 8,1%. Es por esto por lo que recomendamos la cirugía aun en pacientes con importante compromiso ventilatorio pre – operatorio. Con una buena preparación pre – operatoria se ha demostrado que no hay un aumento en la mortalidad de este grupo de pacientes (56). El seguimiento de este estudio no nos permite llegar a una conclusión absoluta, pero eventualmente tenemos que evaluar si la cirugía mejora la sobrevida de estos niños.

Las grandes curvas están asociadas a un deterioro en la función diastólica (61), dada la magnitud de las curvas, un porcentaje de pacientes no logra obtener una ventana acústica adecuada para medir su FE. En un estudio en que solo en un 49,3% de los pacientes se logró obtener un adecuado ecocardiograma, 10 de cada 36 pacientes tenía algún tipo de complicación cardiaca menor después de la cirugía (128), nosotros logramos medir FE en solo un 23% de los pacientes y no encontramos correlación entre la magnitud de la curva, la rotación de ésta y la capacidad de medir FE, pero si observamos que curvas de mas de 80°, tenían menos de 60% FE y no debemos olvidar que muchos de nuestros pacientes con miopatías, de base presentan disfunción miocárdica primaria (108). El stress miocardio que se correlaciona con mala nutrición (19) y esta su vez con mayor incidencia de complicaciones, malos resultados quirúrgicos y estadías mas prolongadas (73). La presencia de hipotonía o espasticidad predispone a problemas deglutorios, lo que conlleva dificultad en la ganancia de peso (129) y reflujo gastroesofágico, lo que a su vez inicia en la presencia de complicaciones respiratorias, en este estudio además correlacionamos una baja glicemia pre – operatorio con mayor incidencia de complicaciones. Ayunos pre – operatorios prolongados en estos niños, que por todo lo anterior descrito, no presentan las reservas necesarias para sustentar dicho ayuno, deben ser evitadas.

Debido a mas políticas de rehabilitación especialmente en el servicio público, un porcentaje no menor de nuestros pacientes es obeso, Chile tiene un 60% de niños obesos o con sobrepeso (108), esto se correlaciona con alteraciones de cicatrización y aumento de los mediadores inflamatorios (64).

Los pacientes que no caminan tiene un mayor porcentaje de complicaciones (130). Nosotros no observamos este patrón, pero si el hecho que todos los pacientes con diagnóstico de MMC que presentaron algún tipo de complicación temprana, no tenían capacidad de marcha. Respecto a aquellos con alteraciones mecánicas tardías, ambos pacientes tenían capacidad de marcha. Por lo que podemos concluir que las complicaciones tempranas se ven incrementadas por la inhabilidad de marcha e inmovilidad y las tardías por la carga mecánica que implica la bipedestación.

En curvas de gran magnitud pre operatoria (130), las fijaciones largas hasta la pelvis, el número de niveles y las cirugías mas prolongadas (127) se correlaciona con mayor incidencia de complicaciones. Pese a que no encontramos esta correlación, nos parece que es efectiva, curvas mas rígidas implican mas niveles, cirugías mas largas y por tanto mas complicaciones post operatorias.

Una mala o excesiva reducción, aumenta el riesgo de complicaciones mayores. Observamos que la excesiva corrección de la cifosis es un factor predictor para el desarrollo de complicaciones y que un paciente que no está balanceado, con valores altos de T1Spi, va a fallar. Encontramos una fuerte correlación entre constructos rígidos y con alta densidad de tornillos y complicaciones mecánicas. Debemos recordar que estos pacientes son a menudo osteoporóticos, las reducciones deben ser adecuadas, pero no perfectas, expectativas excesivas pueden comprometer el resultado final.

Cognetti y cols. describen la importancia de las osteotomías en el aumento de complicaciones post operatorias (131); nuestras osteotomías fueron principalmente de la columna posterior y solo un 20% incluyo columna media y anterior, pero las osteotomías implican mayor tiempo quirúrgico y sangrado e implícitamente son parte del aumento de complicaciones, así como la inestabilidad mecánica de éstas pueden influir en las complicaciones mecánicas posteriores. Todo gesto quirúrgico implica una prolongación en los tiempos de pabellón, creemos que una excepción a esto, es tomarse el tiempo para realizar un desanclaje medular en el mismo tiempo quirúrgico que la corrección de la curva nuestras experiencias previas con una cirugía de desanclaje y un segundo tiempo de cirugía de deformidad (132),

nos ha demostrado que ésta solución no aumenta el riesgo de complicaciones y si nos ahorra una cirugía en estos niños.

Los pacientes con ENM sangran mas que los pacientes con EIA (32), por múltiples factores, nutrición, patología de base, calidad del colágeno de los vasos sanguíneos, incapacidad de mantener una hipotensión controlada por médulas al límite de la isquemia. Si bien el uso de ácido tranexámico debería ser un factor protector para el sangrado, no se observaron diferencias significativas entre los cuatro grupos comparados, salvo en una mayor incidencia de complicaciones en el grupo en que se utilizó ácido tranexámico tópico y endovenoso. Esto puede estar dado porque la administración del fármaco endovenosa no fue oportuna, el mecanismo de acción del TXA es competitivo, su vida media es de 80 minutos al ser administrado ev con un peak plasmático 60 minutos tras la administración(133) y en estos pacientes se administró muchas veces al inicio de la incisión. De manera tópica, los niveles plasmáticos son 70% mas bajos a nivel sistémico que utilizado ev, por lo que no hay una razón clara para correlacionar el uso de éste fármaco a mayor incidencia de complicaciones(134), salvo dado por un menor tamaño maestral.

Pese a las publicaciones en que no se encontraron diferencias con el uso de drenaje en escoliosis (135). La evidencia de nuestra cohorte apoya el uso de drenajes profundos en escoliosis neuromuscular, como un factor protector; en pacientes con drenaje superficial no se observó este efecto protector e incluso fue una molestia para el paciente. Esta cohorte tiene la particularidad de un porcentaje de niños con mielomeningocele en que el cierre de la herida operatoria es complejo, muchas veces a tensión y con abundante espacio muerto. Para evitar seromas e infecciones, recomendamos el uso de drenaje.

Estos pacientes presentan a veces complicaciones inhabituales, tales como mordedura de la lengua por la neuromonitorización, varicela en un paciente hospitalizado, fractura de un pedículo por caída, lo que nos debe hacer recordar el frágil equilibrio en que viven estos niños y lo preparados que debemos estar para lo inesperado.

Si bien no medimos dirigidamente calidad de vida, algunos signos indirectos de mejoría son evidenciados, pese al porcentaje de complicaciones, los pacientes operados de escoliosis neuromuscular disminuyeron su porcentaje de infecciones respiratorias, urinarias y el número de convulsiones diarias tras la cirugía.

Este es un estudio multicéntrico pero realizado por un único equipo quirúrgico, para poder realmente evaluar los beneficios de una técnica, esta debe ser reproducible por otros cirujanos, si bien es una debilidad de este estudio, esperamos que los resultados obtenidos estimulen a otros equipos quirúrgicos a adoptar la técnica de desrotación coplanar, aumentando así la muestra de pacientes lo que nos permitirá obtener observaciones mas concluyentes.

Estamos en la permanente búsqueda de técnicas que nos permitan obtener la mejor corrección con menos complicaciones, estadía hospitalaria y costos. El porcentaje de complicaciones para ambas técnicas es alto, los tiempos quirúrgicos largos y el sangrado abundante. El camino para reducir la morbimortalidad de estos pacientes, al parecer no pasa por la técnica de corrección de la curva, ya que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las dos técnicas; prevención, buenos cuidados habituales, esquemas nutricionales adecuados, planificación pre – operatoria completa, enfocándose en correcciones menos agresivas y horizontalización de la pelvis, manejo del sangrado intraoperatorio, cobertura adecuada de partes blandas y un trabajo multidisciplinario que incluya profesionales de la salud y cuidadores, es el camino para lograr un mejor resultado en estos niños. La técnica de desrotación coplanar es solo una herramienta mas en lograr este objetivo.

## CONCLUSIONES

1. Tanto la técnica de desrotación coplanar como la desrotación apical permiten una buena corrección de la escoliosis neuromuscular en los tres planos del espacio con una disminución en la oblicuidad pélvica.
2. Los pacientes con escoliosis neuromuscular son un grupo característico de pacientes, si bien presentan patologías muy diversas, en general son un grupo lábil de pacientes que asocia comorbilidades importantes, en este estudio en promedio más de 3 comorbilidades por paciente.
3. En el plano sagital, la técnica de desrotación coplanar aporta un menor efecto hipocifosante que la desrotación apical.
4. El porcentaje de comorbilidades perinatales en este grupo de paciente fue de 26%. La presencia de comorbilidades perinatales se asoció a complicaciones post operatorias, independiente de otras comorbilidades. Otro tipo de características perinatales (peso y talla al nacimiento, prematuridad, embarazo patológico, características del parto) no presentaron asociación con la presencia de comorbilidades, si bien la prematuridad en algunos casos puede ser causa de asfíxia perinatal y parálisis cerebral.
5. No hubo diferencias significativas entre las dos técnicas en cuanto complicaciones tempranas, tales como sangrado masivo, neumonía e infecciones y tardías como no unión o los porcentajes de re-cirugía a dos años. Ambas técnicas tienen el mismo porcentaje de complicaciones, en la técnica de Desrotación Coplanar 47,05% y en Desrotación Apical 63.9%, ( $p=0.217$ ) Las complicaciones se incrementan con la presencia de comorbilidades, largos tiempos quirúrgicos y corrección inadecuada.

6. Ambas técnicas son comparables en cuanto sangrado, número de transfusiones, y parámetros de laboratorio pre – intra y post operatorios. El uso de ácido tranexámico endovenoso, tópico o una combinación de ambos no disminuyó significativamente el sangrado en este grupo de pacientes y su combinación podría aumentar las complicaciones

## CONCLUSIONS

1. Both the Vertebral Coplanar Alignment and Apical Derotation techniques allow for a good three plane correction and pelvic obliquity decrease in neuromuscular scoliosis.
2. Patients with neuromuscular scoliosis represent a diverse group of pathologies, they are a usually unsteady with important comorbidities, in this study, an average of three comorbidities per patient.
3. In the sagittal plane, Vertebral Coplanar alignment technique is less hypokyphosing than the Apical derotation technique.
4. The percentage of perinatal comorbidities in this group of patients was 26%. The presence of perinatal comorbidities associates with post-operative complications, independent of the presence of other comorbidities. Other perinatal characteristics (birth weight, birth size, prematurity, pathological pregnancy, delivery characteristics) do not relate with comorbidities, even though in some cases prematurity might be the cause for perinatal asphyxia and cerebral palsy.
5. There were no statistical differences between both techniques regarding early complications such as massive bleeding, pneumonia and infections and late complications such as pseudoarthrosis or at two-years revisions. Both techniques have the same complications percentage (47.05% for VCA and 63.9% for AP ( $p=0.217$ )). Complications are increased by the presence of comorbidities, longer surgeries and inadequate correction.
6. Both techniques are comparable regarding bleeding, number of transfusions, pre-intra and post-operative laboratory parameters. The use of intravenous tranexamic acid, topical or a combination of both, does not significantly decrease bleeding in this groups of patients. The use of both i.v. and topical TXA could increase complications.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ouellet JA. AV, editor. Neuromuscular Scoliosis. 1 ed. New York: Springer - Verlag 2008.
2. Murphy RF, Mooney JF, 3rd. Current concepts in neuromuscular scoliosis. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2019;12(2):220-7.
3. Allam AM, Schwabe AL. Neuromuscular scoliosis. *PM R.* 2013;5(11):957-63.
4. Burgos J. IE, Sarramea HL. Patología de la columna vertebral. 1 ed. SILACO, editor. Mexico: Editorial Panamericana; 2016 2016. 557 p.
5. Lipton GE, Guille JT, Kumar SJ. Surgical treatment of scoliosis in Marfan syndrome: guidelines for a successful outcome. *J Pediatr Orthop.* 2002;22(3):302-7.
6. Sarwark J, Sarwahi V. New strategies and decision making in the management of neuromuscular scoliosis. *Orthop Clin North Am.* 2007;38(4):485-96, v.
7. Florentino-Pineda I, Blakemore LC, Thompson GH, Poe-Kochert C, Adler P, Tripi P. The Effect of epsilon-aminocaproic acid on perioperative blood loss in patients with idiopathic scoliosis undergoing posterior spinal fusion: a preliminary prospective study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(10):1147-51.
8. Lonstein JE, Akbarnia A. Operative treatment of spinal deformities in patients with cerebral palsy or mental retardation. An analysis of one hundred and seven cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(1):43-55.
9. Karikari IO, Pang H, Yankey KP, Duah HO, Akoto H, Hodes R, et al. A novel radiographic classification of severe spinal curvatures exceeding 100°: the Omega ( $\Omega$ ), gamma ( $\gamma$ ) and alpha ( $\alpha$ ) deformities. *European Spine Journal.* 2019;28(6):1265-76.
10. Keskinen H, Lukkarinen H, Korhonen K, Jalanko T, Koivusalo A, Helenius I. The lifetime risk of pneumonia in patients with neuromuscular scoliosis at a mean age of 21 years: the role of spinal deformity surgery. *J Child Orthop.* 2015;9(5):357-64.
11. M.D DJ. "Scoliosis and Its Pathophysiology: Do We Understand It?". *Spine.* 2001;26(6):1001.
12. Peng Y, Wang SR, Qiu GX, Zhang JG, Zhuang QY. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Chin Med J (Engl).* 2020;133(4):483-93.

13. society SR. Neuromuscular Scoliosis - Transition from pediatric to Adult Care [Internet]. SRS webpage 2019 October 26, 2019. Podcast
14. Halawi MJ, Lark RK, Fitch RD. Neuromuscular Scoliosis: Current Concepts. *Orthopedics*. 2015;38(6):e452-e6.
15. L. WS. *Natura History*. *Spine*. 1999;24(24):2592 - 600.
16. Nakamura N, Uesugi M, Inaba Y, Machida J, Okuzumi S, Saito T. Use of dynamic spinal brace in the management of neuromuscular scoliosis: a preliminary report. *J Pediatr Orthop B*. 2014;23(3):291-8.
17. DJ. M. Management of scoliosis in patients with Duchenne muscular dystrophy and spinal muscular atrophy: A literature review. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*. 2016;9(1):23-9.
18. Szabo L, Gergely A, Jakus R, Fogarasi A, Grosz Z, Molnar MJ, et al. Efficacy of nusinersen in type 1, 2 and 3 spinal muscular atrophy: Real world data from Hungarian patients. *Eur J Paediatr Neurol*. 2020;27:37-42.
19. Radman M, Mack R, Barnoya J, Castaneda A, Rosales M, Azakie A, et al. The effect of preoperative nutritional status on postoperative outcomes in children undergoing surgery for congenital heart defects in San Francisco (UCSF) and Guatemala City (UNICAR). *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147(1):442-50.
20. Bridwell KH, Baldus C, Iffrig TM, Lenke LG, Blanke K. Process measures and patient/parent evaluation of surgical management of spinal deformities in patients with progressive flaccid neuromuscular scoliosis (Duchenne's muscular dystrophy and spinal muscular atrophy). *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(13):1300-9.
21. Tsirikos A. CW, Dabney K., Miller F., Glutting J. Life expectancy in pediatric patients with cerebral palsy and neuromuscular scoliosis who underwent spinal fusion. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2003;45:677 - 82.
22. Alajmi T, Saeed H, Alfaryan K, Alakeel A, Alfaryan T. Efficacy of tranexamic acid in reducing blood loss and blood transfusion in idiopathic scoliosis: a systematic review and meta-analysis. *J Spine Surg*. 2017;3(4):531-40.

23. PR H. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am.* 1962;44:591-610.
24. Luque ER. Paralytic scoliosis in growing children. *Clin Orthop Relat Res.* 1982(163):202-9.
25. Luque ER. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res.* 1982(163):192-8.
26. Allen BL, Jr., Ferguson RL. The Galveston technique for L rod instrumentation of the scoliotic spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 1982;7(3):276-84.
27. Lonstein JE, Koop SE, Novachek TF, Perra JH. Results and complications after spinal fusion for neuromuscular scoliosis in cerebral palsy and static encephalopathy using luque galveston instrumentation: experience in 93 patients. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(7):583-91.
28. Desai SK, Sayama C, Vener D, Brayton A, Briceno V, Luerssen TG, et al. The feasibility and safety of using sublaminar polyester bands in hybrid spinal constructs in children and transitional adults for neuromuscular scoliosis. *J Neurosurg Pediatr.* 2015;15(3):328-37.
29. Albert MC, LB. Hybrid Fixation with Sublaminar polyester bands in the treatment of Neuromuscular Scoliosis: A comparative Analysis. *J Pediatr Orthop.* 2015;35:172-7.
30. Pesenti S, Chalopin A, Peltier E, Choufani E, Ollivier M, Fuentes S, et al. How Sublaminar Bands Affect Postoperative Sagittal Alignment in AIS Patients with Preoperative Hypokyphosis? Results of a Series of 34 Patients with 2-Year Follow-Up. *Biomed Res Int.* 2016;2016:1954712.
31. Shao ZX, Fang X, Lv QB, Hu ZC, Shao SY, Hu YB, et al. Comparison of combined anterior-posterior approach versus posterior-only approach in neuromuscular scoliosis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2018;27(9):2213-22.
32. Rumalla K, Yarbrough CK, Pugely AJ, Koester L, Dorward IG. Spinal fusion for pediatric neuromuscular scoliosis: national trends, complications, and in-hospital outcomes. *J Neurosurg Spine.* 2016;25(4):500-8.
33. Wang F, Xu XM, Lu Y, Wei XZ, Zhu XD, Li M. Comparative Analysis of Interval, Skipped, and Key-vertebral Pedicle Screw Strategies for Correction in Patients With Lenke Type 1 Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(10):e3021.

34. Lee J PY. Proximal Junctional Kyphosis: Diagnosis, Pathogenesis, and Treatment. *Asian Spine J*. 2016;10(3):593 - 600.
35. Akesen B, Atici T, Eken G, Ulusaloglu AC. The comparison of the results after spinal fusion with or without iliac screw insertion in the treatment of neuromuscular scoliosis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2018;52(6):435-7.
36. Modi HN, Suh SW, Song HR, Yang JH, Jajodia N. Evaluation of pelvic fixation in neuromuscular scoliosis: a retrospective study in 55 patients. *Int Orthop*. 2010;34(1):89-96.
37. Takaso M, Nakazawa T, Imura T, Fukuda M, Takahashi K, Ohtori S. Segmental Pedicle Screw Instrumentation and Fusion Only to L5 in the Surgical Treatment of Flaccid Neuromuscular Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43(5):331-8.
38. Phillips JH. GJ, Knapp jr R. Iliac screw fixation in Neuromuscular scoliosis. *Spine*. 2007;32(14):1566 - 70.
39. Jain A, Sullivan BT, Kuwabara A, Kebaish KM, Sponseller PD. Sacral-Alar-Iliac Fixation in Children with Neuromuscular Scoliosis: Minimum 5-Year Follow-Up. *World Neurosurg*. 2017;108:474-8.
40. Shabtai L, Andras LM, Portman M, Harris LR, Choi PD, Tolo VT, et al. Sacral Alar Iliac (SAI) Screws Fail 75% Less Frequently Than Iliac Screws in Neuromuscular Scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2017;37(8):e470-e5.
41. Herkowitz H. GS, Eismont F., Bell G., Baldesrton R. *The Spine*. 6th ed. Saunders E, editor. United States of America: Elsevier; 2011 2011.
42. Sarwahi V, Amaral T, Wendolowski S, Gecelter R, Gambassi M, Plakas C, et al. Minimally Invasive Scoliosis Surgery: A Novel Technique in Patients with Neuromuscular Scoliosis. *Biomed Res Int*. 2015;2015:481945.
43. Miladi L, Gaume M, Khouri N, Johnson M, Topouchian V, Glorion C. Minimally Invasive Surgery for Neuromuscular Scoliosis: Results and Complications in a Series of One Hundred Patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43(16):E968-E75.

44. Koller H, Zenner J, Gajic V, Meier O, Ferraris L, Hitzl W. The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: a clinical study and narrative review of the literature. *Eur Spine J.* 2012;21(3):514-29.
45. Sponseller PD, Takenaga RK, Newton P, Boachie O, Flynn J, Letko L, et al. The use of traction in the treatment of severe spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(21):2305-9.
46. Buchowski JM, Bhatnagar R, Skaggs DL, Sponseller PD. Temporary internal distraction as an aid to correction of severe scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(9):2035-41.
47. Tokala DP, Lam KS, Freeman BJ, Webb JK. Is there a role for selective anterior instrumentation in neuromuscular scoliosis? *Eur Spine J.* 2007;16(1):91-6.
48. Keeler KA. LL, Good C., Bridwell KH. Sides B., Luhmann SJ. Spinal fusion for spastic neuromuscular scoliosis. *Spine.* 2010;35(10):427-33.
49. Mody L, Washer LL, Kaye KS, Gibson K, Saint S, Reyes K, et al. Multidrug-resistant Organisms in Hospitals: What Is on Patient Hands and in Their Rooms? *Clin Infect Dis.* 2019;69(11):1837-44.
50. Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropicano P, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery.* 2014;74(1):112-20; discussion 20.
51. Sponseller PD, Jain A, Lenke LG, Shah SA, Sucato DJ, Emans JB, et al. Vertebral Column Resection in Children With Neuromuscular Spine Deformity. *Spine.* 2012;37(11):E655-E61.
52. Chang MS, Lenke LG. Vertebral Derotation in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Operative Techniques in Orthopaedics.* 2009;19(1):19-23.
53. Suk SI. Pedicle screw instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis: the insertion technique, the fusion levels and direct vertebral rotation. *Clin Orthop Surg.* 2011;3(2):89-100.
54. Garg S, McCarthy JJ, Goodwin R, Kolmodin J, Sankar WN, Franklin C, et al. Complication Rates After Bone Morphogenetic Protein (BMP) Use in Orthopaedic Surgery in Children: A Concise Multicenter Retrospective Cohort Study. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(6):e375-e8.
55. Berry JG. GM, Rodean J, Leahy I., Hall M., Ferrari L. . Comorbidities and complications of spinal fusion for scoliosis pediatrics. 2017;139(3):1 - 10.

56. Chong HS, Moon ES, Park JO, Kim DY, Kho PA, Lee HM, et al. Value of preoperative pulmonary function test in flaccid neuromuscular scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(21):E1391-4.
57. Campbell RM, Jr., Smith MD, Mayes TC, Mangos JA, Willey-Courand DB, Kose N, et al. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(3):399-408.
58. Gill I. EM, Metha J., Gibson MJ., Bushby K., Bullock R. Correction of Neuromuscular scoliosis in patients with Preexisting respiratory failure. *Spine*. 2006;31(21):2478 - 83.
59. Brook PD, Kennedy JD, Stern LM, Sutherland AD, Foster BK. Spinal fusion in Duchenne's muscular dystrophy. *J Pediatr Orthop*. 1996;16(3):324-31.
60. Kawakami N, Mimatsu K, Deguchi M, Kato F, Maki S. Scoliosis and congenital heart disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(11):1252-5; discussion 6.
61. Huh S, Eun LY, Kim NK, Jung JW, Choi JY, Kim HS. Cardiopulmonary function and scoliosis severity in idiopathic scoliosis children. *Korean J Pediatr*. 2015;58(6):218-23.
62. Bozcali E, Ucpunar H, Sevenscan A, Balioglu MB, Albayrak A, Polat V. A Retrospective Study of Congenital Cardiac Abnormality Associated with Scoliosis. *Asian Spine J*. 2016;10(2):226-30.
63. Prado F. SP, Garcia C. . Recomendaciones para la evaluación quirúrgica de la escoliosis en niños con enfermedad neuomruscular. *Rev Neumología Pediátrica*. 2010;5(2):67 - 88.
64. Bushby K, Finkel R, Birnkrant DJ, Case LE, Clemens PR, Cripe L, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 1: diagnosis, and pharmacological and psychosocial management. *Lancet Neurol*. 2010;9(1):77-93.
65. Kocak G, Onal C, Kocak A, Karakurt C, Ates O, Cayli SR, et al. Prevalence and outcome of congenital heart disease in patients with neural tube defect. *J Child Neurol*. 2008;23(5):526-30.
66. Ritter S, Tani LY, Shaddy RE, Minich LL. Are screening echocardiograms warranted for neonates with meningomyelocele? *Arch Pediatr Adolesc Med*. 1999;153(12):1264-6.

67. DiCindio S, Arai L, McCulloch M, Sadacharam K, Shah SA, Gabos P, et al. Clinical relevance of echocardiogram in patients with cerebral palsy undergoing posterior spinal fusion. *Paediatr Anaesth*. 2015;25(8):840-5.
68. Soliman DE, Maslow AD, Bokesch PM, Strafford M, Karlin L, Rhodes J, et al. Transoesophageal echocardiography during scoliosis repair: comparison with CVP monitoring. *Can J Anaesth*. 1998;45(10):925-32.
69. Ghorbanpoor M, Kajbafzadeh A-M, Nejat F, Rahimi S. The Incidence of Upper Urinary Tract Deterioration among Iranian Neonates with Spinal Dysraphism. *Iranian Journal of Pediatrics*. 2018;28(2).
70. Kaye IY, Payan M, Vemulakonda VM. Association between clean intermittent catheterization and urinary tract infection in infants and toddlers with spina bifida. *J Pediatr Urol*. 2016;12(5):284 e1-e6.
71. Yousef MAA, Rosenfeld S. Evaluation of postoperative fever after surgical correction of neuromuscular scoliosis: implication on management. *Eur Spine J*. 2018;27(8):1690-7.
72. Arun-Kumar V, Naresh-Babu J. Is There a Role for Preoperative Local Infiltration of Tranexamic Acid in Elective Spine Surgery? A Prospective Randomized Controlled Trial Analyzing the Efficacy of Intravenous, Local Infiltration, and Topical Administration of Tranexamic Acid. *Global Spine Journal*. 2019.
73. Canada NL, Mullins L, Pearo B, Spoede E. Optimizing Perioperative Nutrition in Pediatric Populations. *Nutr Clin Pract*. 2016;31(1):49-58.
74. Leite HP, Fisberg M, Novo NF, Nogueira EB, Ueda IK. Nutritional assessment and surgical risk markers in children submitted to cardiac surgery. *Sao Paulo Med J*. 1995;113(1):706-14.
75. Hu ZC, He LJ, Chen D, Li XB, Feng ZH, Fu CW, et al. An enhanced recovery after surgery program in orthopedic surgery: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):77.

76. Dadure C, Sola C, Capdevila X. Preoperative nutrition through a prehabilitation program: A key component of transfusion limitation in paediatric scoliosis surgery. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2015;34(6):311-2.
77. Jia R, Li N, Xu BY, Zhang W, Gu XP, Ma ZL. Incidence, influencing factors, and prognostic impact of intraoperative massive blood loss in adolescents with neuromuscular scoliosis: A STROBE-compliant retrospective observational analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(11):e6292.
78. Oetgen ME, Litrenta J. Perioperative Blood Management in Pediatric Spine Surgery. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2017;25(7):480-8.
79. Vitale MG. LD, Park MC., Choi M., Choe JC., Roye jr D. Quantifying risk of transfusion in children undergoing spine surgery. *The spine Journal*. 2002;2:166 - 72.
80. Szpalski M, Gunzburg R, Sztern B. An overview of blood-sparing techniques used in spine surgery during the perioperative period. *Eur Spine J*. 2004;13 Suppl 1:S18-27.
81. Goobie SM, Zurakowski D, Glotzbecker MP, McCann ME, Hedequist D, Brustowicz RM, et al. Tranexamic Acid Is Efficacious at Decreasing the Rate of Blood Loss in Adolescent Scoliosis Surgery: A Randomized Placebo-Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(23):2024-32.
82. Jones KE, Butler EK, Barrack T, Ledonio CT, Forte ML, Cohn CS, et al. Tranexamic Acid Reduced the Percent of Total Blood Volume Lost During Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgery. *Int J Spine Surg*. 2017;11:27.
83. Jhonson DJ. JC, Goobie S., Nami N., Wetzler J., Sponseller P., Frank S. High-dose Versus Low-dose Tranexamic Acid to Reduce Transfusion Requirements in Pediatric Scoliosis Surgery. *J Pediatr Orthop*. 2016;0(0):1-6.
84. Winter SF, Santaguida C, Wong J, Fehlings MG. Systemic and Topical Use of Tranexamic Acid in Spinal Surgery: A Systematic Review. *Global Spine J*. 2016;6(3):284-95.
85. Tucker KJ, Turker KS. Modulation of the periodontally evoked masseter reflexes by mechanical stimulation of the face. *Exp Brain Res*. 2001;139(4):443-7.

86. Hamilton DK, Smith JS, Sansur CA, Glassman SD, Ames CP, Berven SH, et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108,419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(15):1218-28.
87. Thuet ED, Winscher JC, Padberg AM, Bridwell KH, Lenke LG, Dobbs MB, et al. Validity and reliability of intraoperative monitoring in pediatric spinal deformity surgery: a 23-year experience of 3436 surgical cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(20):1880-6.
88. Bhagat S, Durst A, Grover H, Blake J, Lutchman L, Rai AS, et al. An evaluation of multimodal spinal cord monitoring in scoliosis surgery: a single centre experience of 354 operations. *Eur Spine J*. 2015;24(7):1399-407.
89. Pastorelli F, Di Silvestre M, Vommaro F, Maredi E, Morigi A, Bacchin MR, et al. Intraoperative monitoring of somatosensory (SSEPs) and transcranial electric motor-evoked potentials (tce-MEPs) during surgical correction of neuromuscular scoliosis in patients with central or peripheral nervous system diseases. *Eur Spine J*. 2015;24 Suppl 7:931-6.
90. Salem KM, Goodger L, Bowyer K, Shafafy M, Grevitt MP. Does transcranial stimulation for motor evoked potentials (TcMEP) worsen seizures in epileptic patients following spinal deformity surgery? *Eur Spine J*. 2016;25(10):3044-8.
91. Regidor I, de Blas G, Barrios C, Burgos J, Montes E, Garcia-Urquiza S, et al. Recording triggered EMG thresholds from axillary chest wall electrodes: a new refined technique for accurate upper thoracic (T2-T6) pedicle screw placement. *Eur Spine J*. 2011;20(10):1620-5.
92. Weissmann K. CM, Huaiquilaf C., Zarate A., Barraza G, editor Triggered EMG Threshold from Axillary Chest Wall electrodes for upper thoracic pedicle screws: Preliminary Data. *Spineweek 2016*; 2016; Singapur.
93. Arancel de prestaciones de Salud, Modalidad Libre elección (2018).
94. Nakamura N, Inaba Y, Kato S, Momose T, Yamada S, Matsuda Y, et al. Scoliosis surgery for handicapped children. *Spine Surg Relat Res*. 2017;1(4):185-90.

95. Saito W. MK, Inoue G., Imura T., Nakazawa T., Miyagi M., Shirasawa E., Uchida K, Takaso M. Perioperative Evaluation of Respiratory Muscle Strength after Scoliosis Correction in patients with Duchenne Muscular Dystrophy. *Asian Spine J.* 2017;11(5):787 - 92.
96. Toll BJ, Samdani AF, Janjua MB, Gandhi S, Pahys JM, Hwang SW. Perioperative complications and risk factors in neuromuscular scoliosis surgery. *J Neurosurg Pediatr.* 2018;22(2):207-13.
97. Modi HN, Suh SW, Hong JY, Cho JW, Park JH, Yang JH. Treatment and complications in flaccid neuromuscular scoliosis (Duchenne muscular dystrophy and spinal muscular atrophy) with posterior-only pedicle screw instrumentation. *Eur Spine J.* 2010;19(3):384-93.
98. Turturro F, Montanaro A, Calderaro C, Labianca L, Di Sanzo V, Ferretti A. Rate of complications due to neuromuscular scoliosis spine surgery in a 30-years consecutive series. *Eur Spine J.* 2017;26(Suppl 4):539-45.
99. Roddy E, Diab M. Rates and risk factors associated with unplanned hospital readmission after fusion for pediatric spinal deformity. *Spine J.* 2017;17(3):369-79.
100. He S, Bao H, Zhu Z, Qiu Y, Zhu F, Zhou H, et al. Vertebral coplanar alignment technique: a surgical option for correction of adult thoracic idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2016;25(2):417-23.
101. Sun L, Song Y, Liu L, An Y, Zhou C, Zhou Z. Bilateral apical vertebral derotation technique by vertebral column manipulation compared with vertebral coplanar alignment technique in the correction of Lenke type 1 idiopathic scoliosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013;14:175.
102. Kadam P, Bhalerao S. Sample size calculation. *Int J Ayurveda Res.* 2010;1(1):55-7.
103. Salud Md. Tratamiento Quirúrgico de Escoliosis en menores de 25 años. In: Pública SdS, editor. 2da Edición ed. Chile: Minsal; 2010. p. 26.
104. Abouleish AE. LM, Cohen NH., . ASA Provides Examples to Each ASA Physical Status Class. *ASA Newsletter.* 2015;79(38-49).
105. O'Brien MF, Kuklo T, Blanke K, Lenke L. Spinal deformity study group radiographic measurement manual.pdf. Scoliosis research society webpage: Medtronic; 2008.

106. Abelin-Genevois K, Idjerouidene A, Roussouly P, Vital JM, Garin C. Cervical spine alignment in the pediatric population: a radiographic normative study of 150 asymptomatic patients. *Eur Spine J*. 2014;23(7):1442-8.
107. Pratali RR, Nasreddine MA, Diebo B, Oliveira C, Lafage V. Normal values for sagittal spinal alignment: a study of Brazilian subjects. *Clinics (Sao Paulo)*. 2018;73:e647.
108. Duval.Beaupère G. SC, Cosson P. A Barycentremetric Study of the Sagittal Shape of Spine and Pelvis: The Conditions Required for an Economic Standing Position *Annals of Biomedical Engineering*. 1992;20:451 - 62.
109. Guiroy A, Gagliardi M, Sicoli A, Masanes NG, Ciancio AM, Jalon P, et al. [Spino-pelvic sagittal parameters in an asymptomatic population in Argentina]. *Surg Neurol Int*. 2018;9(Suppl 1):S36-S42.
110. Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, Pellanera S, Di Michele A, Di Renzo S, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J*. 2013;22(2):367-71.
111. Bert S, Iyriboz AT, Barret F, Zouaoui A, Chiras J. [An angiographic study of spinal vascularization at the thoracic-lumbar level]. *J Neuroradiol*. 1995;22(1):12-9.
112. Rhee JM. BS, Flynn JM. Operative Techniques in Spine Surgery. In: SW. W, editor. *Operative Techniques in Spine Surgery*. Operative techniques. 1. 1 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. p. 418-23.
113. Kim Y. LL. Thoracic pedicle screw placement: Free - hands technique. *Neurology India*. 2005;53(4):512-9.
114. Matsukawa K, Yato Y, Imabayashi H, Hosogane N, Asazuma T, Nemoto K. Biomechanical Evaluation of Cross Trajectory Technique for Pedicle Screw Insertion: Combined Use of Traditional Trajectory and Cortical Bone Trajectory. *Orthop Surg*. 2015;7(4):317-23.
115. Kim YJ, Lenke LG. Thoracic pedicle screw placement: free-hand technique. *Neurol India*. 2005;53(4):512-9.

116. Raynor BL, Lenke LG, Kim Y, Hanson DS, Wilson-Holden TJ, Bridwell KH, et al. Can triggered electromyograph thresholds predict safe thoracic pedicle screw placement? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(18):2030-5.
117. Araya P. WK, Scillik R., Grass J. Impedanciometría en cirugía de escoliosis. 1250 tornillos. IV simposio latinoamericano de Monitorización Neurofisiológica CLA-IFCN; 15 al 18 de Mayo; Buenos aires, Argentina2013.
118. Weissmann K.A. DF, Costa M., Huaiquilaf C.Zarate A. Barraza G., editor Triggered EMG threshold from axillary chest wall electrodes for upper thoracic pedicle screws: preliminary data. *Spineweek*; 2016 May 16 to 20th; Singapur.
119. Chang TL, Sponseller PD, Kebaish KM, Fishman EK. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar-iliac fixation versus traditional iliac fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(5):436-40.
120. Vallespir GP, Flores JB, Trigueros IS, Sierra EH, Fernandez PD, Olaverri JC, et al. Vertebral coplanar alignment: a standardized technique for three dimensional correction in scoliosis surgery: technical description and preliminary results in Lenke type 1 curves. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(14):1588-97.
121. Mendoza C. Prevención de infección de herida operatoria. In: paciente UdCysd, editor. 1 ed. Hospital Exequiel González Cortés 2010. p. 23.
122. Illes TS, Lavaste F, Dubousset JF. The third dimension of scoliosis: The forgotten axial plane. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019;105(2):351-9.
123. Muschik M. SD, Robinson PN., Kupferschmidt C. Dorsal instrumentation for idiopathic adolescent thoracic scoliosis: rod rotation versus translation. *Eur Spine J*. 1999;8:93-9.
124. Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(3):343-9.

125. Di Silvestre M, Lolli F, Bakaloudis G, Maredi E, Vommaro F, Pastorelli F. Apical vertebral derotation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis: myth or reality? *Eur Spine J*. 2013;22(2):313-23.
126. Barrios C. LJM, Mazeau P., Weissmann K., Lu G., Wang B., Kuang L., Hai Y., Maruende J.I. Satisfactory restoration of thoracic kyphosis in Lenke I AIS curves using bilateral vertebral coplanar alignment: an international multicenter experience. *Spine deformity*. 2020.
127. Basques BA, Chung SH, Lukasiewicz AM, Webb ML, Samuel AM, Bohl DD, et al. Predicting Short-term Morbidity in Patients Undergoing Posterior Spinal Fusion for Neuromuscular Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(24):1910-7.
128. Saito W, Inoue G, Imura T, Nakazawa T, Miyagi M, Shirasawa E, et al. The Relationship between Preoperative Echocardiographic Evaluation and Spinal Deformity in Patients with Neuromuscular Scoliosis. *Spine Surg Relat Res*. 2018;2(1):48-52.
129. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, Schwab FJ, Le Huec JC, Massicotte EM, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(22 Suppl 1):S149-60.
130. Master DL, Son-Hing JP, Poe-Kochert C, Armstrong DG, Thompson GH. Risk factors for major complications after surgery for neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(7):564-71.
131. Cognetti D, Keeny HM, Samdani AF, Pahys JM, Hanson DS, Blanke K, et al. Neuromuscular scoliosis complication rates from 2004 to 2015: a report from the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Neurosurg Focus*. 2017;43(4):E10.
132. Bhimani AD, Selner AN, Patel JB, Hobbs JG, Esfahani DR, Behbahani M, et al. Pediatric tethered cord release: an epidemiological and postoperative complication analysis. *J Spine Surg*. 2019;5(3):337-50.
133. Andersson L. NI, Nilen JE., Bengt U., Granstrand B., Melander B. Experimental and Clinical Studies on AMCA, the Antifibrinolytically Active Isomer of p-Aminomethyl Cyclohexane Carboxylic Acid. *Sacn J Haemat*. 1965;2:230-47.

134. Weissmann KA, Lafage V, Barrios Pitaque C, Lafage R, Descazeaux FM. Efficacy of topical versus intravenous tranexamic acid in spinal deformity. *Eur Spine J.* 2020;29(12):3044-50.
135. Patel SB, Griffiths-Jones W, Jones CS, Samartzis D, Clarke AJ, Khan S, et al. The current state of the evidence for the use of drains in spinal surgery: systematic review. *Eur Spine J.* 2017;26(11):2729-38.



## ANEXOS

### Anexo 1: Formulario de Consentimiento informado y aprobación por comité de ética

Santiago,

## Formulario de información Version 1

Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular.

Comparación con la técnica de desrotación apical

### **Objetivo**

El objetivo del estudio es evaluar el nivel de corrección de varios parámetros (curva, rotación vertebral, balance) obtenido con la técnica quirúrgica denominada “artrodesis toraco lumbar con tornillos transpediculares” utilizando dos diferentes sistemas de corrección. Esta evaluación supone también la comparación entre su estado de salud después de la operación y su estado de salud antes de la operación.

### **Metodología**

Para tratar la patología que afecta su espalda el cirujano realizará, a lo largo de las vértebras afectadas, un montaje con tornillos de titanio que serán insertados a través de los pedículos vertebrales, estos tornillos serán conectados en cada lado por una barra vertical que estabilizará el sistema y, si es necesario, unirá las barras de ambos lados con un conector transversal.

El propósito de este montaje es lograr una corrección de la deformidad o patología que afecta su columna, a través de la obtención de una posición adecuada en los tres planos de las vértebras afectadas (frontal, lateral y axial) y fusionándolas en esta posición para obtener una corrección definitiva y el alivio de los síntomas que lo puedan estar afectando.

El proceso de recuperación toma varios días y requiere de su paciencia y cooperación para llevarse a cabo exitosamente.

Todos los implantes y materiales utilizados han sido aprobados por las más exigentes normas de calidad y cumplen a cabalidad con toda la reglamentación existente para este tipo de productos. Este tipo de implantes y materiales son utilizados desde hace varias décadas y su eficacia y biocompatibilidad ha sido demostrada y comprobada.

### **Duración del seguimiento**

La evaluación se realizó por una duración total de 2 años.

El seguimiento médico de su enfermedad y de la operación se hace de manera similar al que se realizaría fuera de este estudio. A través de radiografía y fotos clínicas se evaluarán los parámetros descritos a los largo de su evolución

### **Interrupción del seguimiento**

Es usted libre, en cualquier momento, de interrumpir su participación en el seguimiento. Esta decisión no influye en el seguimiento médico de su enfermedad. Seguirá recibiendo todos los cuidados que necesite.

El responsable del seguimiento puede decidir la interrupción de éste antes de su final previsto. Esta decisión será justificada y será usted informado de ella. Seguirá usted recibiendo el seguimiento necesario adaptado a su enfermedad.

Bajo simple demanda y al final del seguimiento puede usted solicitar un resumen de los resultados obtenidos.

## Formulario de consentimiento

Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular.

Comparación con la técnica de desrotación apical

1. He leído la hoja de información del paciente y entiendo bien su contenido.
2. He tenido la posibilidad de hablar de este seguimiento con mi cirujano, que ha contestado a mis preguntas.
3. He estado completamente satisfecho(a) de las respuestas que me ha dado.
4. He recibido suficiente información sobre este seguimiento.
5. He entendido bien que mi participación es totalmente voluntaria.
6. He entendido que soy libre de salir del seguimiento:
  - En cualquier momento
  - Sin indicar las razones de mi decisión
  - Sin que esto tenga ninguna influencia en mi normal seguimiento médico
7. He entendido que puedo rechazar la participación en este seguimiento sin que esto tenga consecuencias sobre el tratamiento de mi enfermedad.
8. Para las necesidades del seguimiento, los datos médicos relacionados con éste serán transmitidos a un grupo de investigación. Sólo las informaciones necesarias le serán transmitidas. Dichas informaciones serán tratadas de manera estrictamente confidencial. Doy mi autorización para que mis datos sean transmitidos.
9. He tenido un tiempo suficiente para tomar mi decisión.
10. Estoy de acuerdo para participar en el seguimiento.

Si Usted tiene cualquier pregunta, acerca del proceso de obtención del Consentimiento Informado, o sus derechos como sujeto de estudio, entonces Ud. Puede contactar, en cualquier momento, a la presidente del Comité de ética del servicio de Salud Metropolitano Sur: Q.F. Sra. Verónica Riera Sciaraffia, dirección: Avenida Santa Rosa 3453, comuna San Miguel, Santiago, Chile, Teléfono: 56-2-2576-3850, celular institucional: 56-9-58582831, Correo electrónica [verónica.rivera@redsalud.gob.cl](mailto:verónica.rivera@redsalud.gob.cl).

Paciente:

_____	_____	_____	_____
Firma	Nombre y apellidos	Nº de centro	Fecha

Investigador:

_____	_____	_____	_____
Firma	Karen Weissmann	Nº de centro	Fecha

Director o Ministro de Fé

_____	_____	_____	_____
Firma	Nombre y apellidos	Nº de centro	Fecha

Karen Weissmann Marcuson

Fono: +56-9-3445-5078

Fono: 22-576-5781

Mail [equipocolumnass@gmail.com](mailto:equipocolumnass@gmail.com)



MEMORANDUM N°: 383/2019

**MAT.: Resultado de evaluación de Proyecto código 66-19082019.**

Santiago, 28 de agosto de 2019

**Dra. KAREN WEISSMANN MACUSON**  
**INVESTIGADOR PRINCIPAL**

**PROYECTO: "Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular. Comparación con la técnica de desrotación apical"**

**HOSPITAL EXEQUIEL GONZALEZ CORTES**  
**PRESENTE**

Informamos a Ud. que la Directiva del Comité Ético Científico (CEC) del Servicio de Salud Metropolitano Sur (SSMS), tomó conocimiento y evaluó los siguientes antecedentes del Proyecto: "Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular. Comparación con la técnica de desrotación apical", remitidos mediante carta fechada y recepcionada el 19/08/2019:

- I. **Antecedentes revisados y evaluados por la Directiva del CEC SSMS, en reunión del 27/08/2019:** (se adjunta asistencia)
  1. Carta de solicitud de evaluación, fechada 19/08/2019, dirigida a Pdta. CEC SSMS, firmada por Investigador Principal Karen Weissmann Marcuson.
  2. Carta, fechada 03/04/2019, dirigida a Directora SSMS, Dra. Carmen Aravena, solicitando exención de pago, firmada por Dra. Inés Araneda Aranda, Directora del Hospital Exequiel González Cortés.
  3. Carta, fechada agosto/2019, dirigida a Pdta. CEC SSMS, firmada por la Investigador Principal, informando que está participando en otro estudio.
  4. Certificado, fechado 03/04/2019, firmado por Directora del Hospital E. González C., certificando estar en conocimiento de este estudio.
  5. Certificado, fechado 03/04/2019, firmado por Directora del Hospital E. González C., certificando que este trabajo ha comprometido retribuir a este hospital con los resultados de su tesis.
  6. Certificado CITI Program.
  7. Diploma CITI Programa
  8. Formulario Carta de Compromiso Investigador, fechado agosto/2019, firmado por la Investigador Principal.
  9. Carta de autorización establecimiento, fechada 19/08/2019, dirigida a Comité de Ética Científico Adultos, Servicio de Salud Metropolitano Occidente, firmado por Dr. Mauricio Vergara, Jefe de la Unidad de Ortopedia y Traumatología, Hospital E. González C.
  10. Proyecto "Uso del sistema de corrección coplanar en Escoliosis Neuromuscular. Comparación con la técnica de desrotación apical"
  11. **Formulario de información, Versión 1, 20 de agosto de 2019.**
  12. **Formulario de consentimiento, Versión 1, 20 de agosto de 2019.**
  13. Curriculum Vitae de Karen Weissmann Marcuson.
- II. Por lo anterior, la Directiva del Comité Ético Científico (CEC) del SSMS determina, con fecha **27/08/2019** que **el Estudio no presenta reparos Éticos y lo aprueban para el Hospital Exequiel González Cortés.** Se remiten **firmados, timbrados y fechados:**
  - Formulario de información, Versión 1, 20 de Agosto de 2019.
  - Formulario de consentimiento, Versión 1, 20 de Agosto de 2019.

III. Además, se adjuntan los siguientes documentos:

- Asistencia de la Reunión del Comité Ético Científico del S.S.M.S.
- Declaración de Cumplimiento de las Buenas Prácticas Clínicas, Versión 4.0 actualizada el 11/12/18 en Sesión del CEC del S.S.M. SUR

Solicitamos a Ud. comunicar a este Comité:

1. El inicio de la ejecución del estudio.
2. Estado de avance y los eventos observados asociados y no asociados con el estudio.
3. Rechazo de participación de los sujetos.
4. Número de sujetos enrolados.
5. Cualquier antecedente importante que se observe durante la ejecución de la investigación.
6. Finalizado el estudio, remitir informe final.

Saludan atentamente,

SERVICIO DE SALUD  
METROPOLITANO SUR  
**PRESIDENTA** RIVERA SCIARAFFIA  
PRESIDENTA  
COMITE ETICO CIENTIFICO  
S.S.M.S.  
COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO

DR. HECTOR JORQUERA VERGARA  
SECRETARIO  
COMITE ETICO CIENTIFICO  
S.S.M.S.

C./c.:

- **Directora Hospital Exequiel González C.**
- Archivo Memos CEC SSMS
- Archivo Protocolo.

## PROTOCOLO ALERGIA AL LATEX

### Objetivo:

Definir las medidas preventivas y de manejo en pacientes con sensibilización al látex, habiendo o no presentado reacción anafiláctica durante la atención clínica.

### Alcance:

Se debe realizar la prevención en todo paciente con antecedentes de alergia al látex documentada o con sospecha de la misma.

En aquellos pacientes pertenecientes a alguno de los grupos de riesgo mencionados, ej. Pacientes con múltiples intervenciones quirúrgica, se deberá manejar como alérgico al látex, si es que aún no se ha hecho el estudio inmunológico.

### Responsables de la ejecución:

Jefes de Centro de Responsabilidad UPC, Quirúrgico y CAE.

Conocer, difundir y coordinar actividades para el cumplimiento del protocolo de manejo local de estos pacientes.

Enfermeras clínicas y supervisoras

Conocer, difundir y coordinar las actividades para el cumplimiento del protocolo de manejo local de estos pacientes en el ámbito de su competencia.

Personal técnico y auxiliar de Unidad de pabellón.

Conocer y ejecutar las actividades relacionadas con el manejo y tratamiento de éstos pacientes.

Médico anestesiólogo

Conocer y aplicar este protocolo

### Definiciones

Alergia al látex: cualquier reacción al látex mediada por mecanismos inmunológicos que se acompaña de manifestaciones clínicas.

Sensibilización al látex: cuando se demuestra la presencia de anticuerpos tipo IgE contra las proteínas del látex y no presenta manifestaciones clínicas

### Desarrollo :

El látex es un producto vegetal procesado que se obtiene de la savia del árbol *Hevea Brasiliensi*, y que contiene principalmente goma natural y en menor medida proteínas, lípidos e hidratos de carbono. Se han identificado al menos 15 proteínas de latex que se comportan como alérgenos. Tras un proceso de transformación se utiliza en distintos productos de uso cotidiano como también en el medio hospitalario.

Las manifestaciones clínicas pueden dividirse de acuerdo a su mecanismo fisiopatológico:

**a) De hipersensibilidad inmediata o tipo I (mediada por IgE):** producidas por las propias proteínas del látex. Son característicos los síntomas inmediatos, desde escasos minutos hasta una hora tras la exposición al producto de látex, pudiendo estar localizados en la zona de contacto o ser generalizados. Las manifestaciones varían desde urticaria (local o generalizada), angioedema, rinoconjuntivitis, y/o asma bronquial, hasta shock anafiláctico, que puede ser mortal.

El látex se comporta también como un AEROALERGENO, al ser vehiculizado por el polvillo lubricante de los guantes, capaz de inducir rinoconjuntivitis y asma profesional, así como reacciones alérgicas respiratorias o sistémicas, sin necesidad de mediar un contacto directo.

b) **Hipersensibilidad retardada, tipo IV.** Dermatitis de contacto, producidas generalmente por las sustancias químicas que se añaden al látex en su proceso de fabricación. Suele presentarse en forma de eczema en manos.

La prevalencia de sensibilización al látex es variable.

En la población general se ha descrito una prevalencia del 1%. En grupos con mayor contacto con el látex la prevalencia es mayor: trabajadores de la salud 17%, trabajadores de la industria del látex 8% y los pacientes sometidos a múltiples cirugías 37%. En los pacientes portadores de espina bífida o mielomeningocele la sensibilización puede llegar al 67%%.

Existen factores que determinan la sensibilización al látex, el primero es el factor genético, existen genes que se han asociado a esta alergia. El segundo factor de riesgo es el numero de intervenciones quirúrgicas a las que se ha sometido un paciente, siendo las cirugías urológicas, traumatológicas y algunas neurológicas las que tiene asociada esta condición. Un tercer factor está dado por el antecedente de atopia, que aumente 3 a 4 veces el riesgo relativo de padecer alergia al látex. Y por ultimo se ha descrito como factor la alergia alimentaria a un grupo de frutas y verduras (palta, plátano, kiwi, papaya y castañas), esto por la presencia de IgE específicas de estructuras proteicas similares al látex, esta reactividad cruzada se denomina síndrome látex-fruta.

En la actualidad la sensibilización al látex constituye la segunda causa de anafilaxia durante los procedimientos quirúrgicos.

La naturaleza propia de los alergenos condiciona que algunos se transformen en partículas de aerosol y otros ingresen mejor vía mucosas.

La sensibilización se produciría por el contacto de los alergenos con la piel o membranas mucosas del tracto respiratorio, urogenital o digestivo. (Tabla 1)

Se vería potenciada por la presencia de una dermatitis de contacto que produjera disrupción de la epidermis y también por el uso de guantes con polvo lubricante que favorecería la generación de látex en aerosol.

Tabla 1: Sensibilización al Látex

Grupo de riesgo	Prevalencia de Sensibilización
Historia previa de contacto al látex en múltiples intervenciones médico quirúrgicas	37-67%

(mielomeningocele, malformaciones urogenitales, sondajes vesicales múltiples)	
Personal de salud	17%
Exposición Ocupacional (trabajadores del caucho, peluquería, manipuladores de alimento)	8%
Historia personal de atopia	6-20%
Individuos con alergia alimentaria a alimentos con reacciones cruzadas al látex ( plátano, palta, kiwi, castaña, papaya)	20-26%
Población general	1%

### **CUADRO CLÍNICO ALERGIA AL LATEX**

El cuadro clínico puede ser producido por mecanismos inmunológicos (reacciones alérgicas verdaderas) y por mecanismos no inmunológicos (reacciones irritativas).

#### **Reacciones no inmunes**

**Dermatitis de contacto irritativa:** Corresponde al mayor número de reacciones que se describen. Son inducidas por irritación mecánica o el pH alcalino de los guantes con lubricantes. Se manifiesta como piel seca, erosionada y descamada. En exposición crónica puede haber eritema, pápulas y ulceración.

#### **Reacciones inmunes:**

Producida por mecanismos de hipersensibilidad inmediata y retardada. Estos últimos corresponden a reacciones mediadas por células (linfocitos T) y son responsables de la generación de la **dermatitis de contacto alérgica**, que suele aparecer 24 a 48 hrs de exposición al antígeno y en general se deben a reacciones a distintos compuestos químicos de bajo peso molecular utilizados en la elaboración de los guantes y no al látex per se. Se manifiesta como eritema local, hinchazón, vesículas, edema y prurito. Ambos tipos de dermatitis son difíciles de diferenciar clínicamente.

Las reacciones secundarias a hipersensibilidad inmediata o tipo I (mediada por IgE) inducidas por sensibilización a las proteínas del látex, aparecen en los primeros minutos hasta 36 hrs post exposición. Generan **urticaria, angioedema, rinitis, conjuntivitis, asma**, pudiendo llegar al compromiso multisistémico, es decir **shock anafiláctico**.

Los síntomas respiratorios de la alergia al látex son inducidos por alergenos aerolizados dispersados al ponerse y sacarse los guantes de latex. Por lo mismo son los trabajadores de la salud los que presentan con mayor frecuencia cuadros de **rino-conjuntivitis y asma ocupacional**. Los síntomas nasales y oculares pueden preceder la aparición del asma por meses o años.

Las reacciones alérgicas al látex constituyen la segunda causa de anafilaxia durante la anestesia general, después de los relajantes musculares. El cuadro clínico se caracteriza por la presentación entre los 25-290 minutos post inducción anestésica de disnea, congestión nasal, tos, urticaria generalizada, angioedema, broncoespasmo, hipotensión y finalmente shock. También, aunque con menor frecuencia, pueden presentarse casos de anafilaxia en casos de exposición cutánea o respiratoria.

### **DIAGNÓSTICO ALERGIA AL LATEX**

Debe basarse en una historia clínica detallada y la corroboración de sensibilización mediante pruebas cutáneas *in vivo* y/o pruebas *in vitro*.

Las pruebas de provocación se reservan para aquellos casos en que existan dudas diagnósticas, en que el estudio previo no sea concluyente, para la confirmación de alergia ocupacional y siempre que las reacciones clínicas no hayan sido severas.

En la población general no se recomienda el estudio preoperatorio de rutina.

Es conveniente si, un interrogatorio específico sobre síntomas sugerentes de sensibilización (Anexo 1) y valorar el estudio alergológico en pacientes con historia positiva

## Pruebas cutáneas

Deben incluir aditivos químicos y proteínas presentes en el látex

### a) Pruebas cutáneas de lectura inmediata (Prick Test):

Es el método más sensible para detectar la presencia de anticuerpos IgE dirigidos contra las proteínas del látex. Tienen un alto valor predictivo negativo y son de fácil realización y bajo costo, con un bajo riesgo de reacciones severas.

### b) Intradermoreacción:

La realización de pruebas intradérmicas está contraindicada por la alta frecuencia de reacciones sistémicas y el alto número de falsos positivos.

### c) Test de Parche:

En caso de dermatitis de contacto alérgica, se utiliza una batería estándar que incluye los químicos utilizados en el proceso de manufactura del látex. Los resultados se leen a las 48 y 72 hrs. Si el test es positivo aparece una reacción eczematosa en el lugar del alérgeno involucrado.

## Estudio in vitro

### a) Métodos serológicos (RAST, UNICAP, AlaSTAT)

Miden la presencia de IgE específica a proteínas del látex en suero. Son seguras pero de menor sensibilidad y mayor costo que las pruebas cutáneas, con baja especificidad, especialmente en polínicos y alérgicos a las frutas.

### b) Test de liberación de histamina:

Sensibilidad mayor al 90%, pero para su realización se requieren equipos muy costosos y personal altamente especializado.

## Test de Provocación

Confirman o descartan la alergia al látex en un paciente con historia clínica sugerente y en el que se ha confirmado una sensibilización positiva; debe considerarse la falta de estandarización de extractos y el riesgo de reacciones severas. Estas pruebas pueden realizarse por contacto o inhalación.

## PREVENCIÓN ANAFILAXIA AL LÁTEX

### Prevención Primaria

Identificar a los pacientes de riesgo.

Establecer normas para evitar el látex en pacientes con riesgo de sensibilización.

Confirmar o no la alergia al látex mediante los estudios mencionados anteriormente, para esto, derivar la especialista. Por ejemplo, se debería evitar la exposición al látex desde el nacimiento a pacientes con espina bífida o malformaciones urogenitales, de modo de evitar su sensibilización. Debe tenerse en cuenta que más de tres cirugías con alta exposición de mucosas ya suponen un alto riesgo de sensibilización.

### Prevención Secundaria

Orientada a evitar todo tipo de exposición al látex en los individuos ya sensibilizados.

Se tomarán medidas profilácticas tanto en individuos alérgicos, como en aquellos de los grupos de riesgo.

La primera medida para evitar que se produzcan reacciones anafilácticas es identificar a los pacientes que están en riesgo de sufrirlas, vale decir los pacientes sensibilizados al látex. Para esto se sugiere la realización de una encuesta (Anexo 1) que además será útil para identificar aquellos pacientes que presentan síntomas, es decir los que son alérgicos.

Si el paciente tiene historia clínica que sea de riesgo para estar sensibilizado al látex deberá ser derivado a policlínico de Inmunología para diseñar el estudio alergológico.

En el caso de pacientes alérgicos al látex deberán tomarse una serie de medidas, que incluyen la participación activa del paciente (su familia en el caso de niños pequeños), y del equipo de salud, dependerá además de si la cirugía es electiva o se trata de un procedimiento de urgencia.

En el caso de pacientes sensibilizados al látex y en los alérgicos al látex deberán considerarse varios niveles de prevención de reacciones alérgicas, los que incluyen:

#### 1. Nivel Ambulatorio:

- a) Brazaletes de alerta en pacientes alérgicos
- b) Disponer de informe médico sobre alergia al látex (recomendaciones personales)
- c) Disposición permanente de antihistamínicos y un autoinyectable de adrenalina.

## 2. Al ingreso a medio hospitalario

- a) Pacientes alérgicos hospitalizados deben estar claramente identificados mediante brazaletes, en sus fichas clínicas y sobre sus camas con carteles.
- b) Todo el personal que entra a estas piezas, independientemente si tiene o no contacto directo con el paciente, debe usar guantes sin látex. Si el personal ha usado guantes de látex con anterioridad debe lavarse prolijamente.
- c) Uso de delantal antes de entrar en contacto con el paciente.
- d) El personal encargado de preparar los alimentos debe usar guantes libres de látex. Se deben evitar alimentos con reacción cruzada con látex.

### Cirugía Electiva

1. Pabellón quirúrgico libre de látex, es decir, todos los insumos a utilizar deben ser libre de látex.
2. Visiblemente identificado como tal.
3. Se programará como primera intervención de la mañana.
  4. Asistirá el mínimo personal, evitando entradas y salidas innecesarias. Todo el material requerido deberá estar dispuesto en el pabellón con anterioridad (noche anterior)
  5. La noche anterior a la intervención se procederá a forrar todo aquello que contenga látex
  6. Se limpiará el pabellón 12 hrs previo a la intervención y se dejará cerrado con todos los insumos dentro.
  7. No se introducirán en el quirófano ningún elemento que contenga látex.
  8. Se conectará la climatización 8 hrs antes de la intervención (flujo de aire laminar) y se cerrarán las puertas del quirófano para evitar la entrada de partículas que contengan látex.
  9. Se debe utilizar una técnica anestésica con baja capacidad histaminoliberadora. Siempre que sea posible, utilizar una técnica loco-regional. (Anexo 2).
  10. Utilizar el menor número de fármacos posible y administrarlos en forma lenta y diluida.
  11. Tener disponible la medicación necesaria en caso de reacción anafiláctica. El carro de resucitación cardiopulmonar debe contener un apartado con material libre de látex.
  12. Ante cualquier signo sugerente de anafilaxia se debe actuar con prontitud y no retrasar el reconocimiento del cuadro.
  13. Si se presenta una reacción anafiláctica, posteriormente deberá realizarse Interconsulta a Inmunología para su estudio.
  14. Debe contarse con cupo de UCI O UPC por 12 horas post cirugía, quedará a discreción del anestesista liberar el cupo en caso que la cirugía haya transcurrido sin eventos
  15. Si no han ocurrido reacciones intraoperatorias o en el post operatorio inmediato, se valorará para su traslado a sala..
  16. Si se presentara reacción anafiláctica en el pabellón o en el post operatorio deberá ser manejado en UCI o UPC. Se recomienda su monitorización estricta para la detección precoz de recurrencia del shock por un período de 48 horas, ya que 20% de los pacientes presentan recurrencia del shock. Posterior a 48 horas se decidirá su traslado según sus condiciones clínicas.
17. **No existe consenso mundial para la premedicación de los pacientes, no se recomienda de rutina.**

### Cirugía de urgencia

1. Limpieza del pabellón previa a la intervención,

2. Pabellón libre de látex al menos dos, pero idealmente 6 horas previo a intervención, eso significa, forrar los elementos que contengan látex y dejar insumos para la cirugía dentro del pabellón. Luego cerrar el pabellón, previa identificación.
3. Técnica anestésica de baja capacidad histaminoliberadora
4. Tener disponible la medicación necesaria en caso de reacción anafiláctica.

Es improbable que la exposición al látex, en el ambiente hospitalario, se pueda evitar completamente. La meta es proveer un ambiente seguro para individuos alérgicos mediante el uso de materiales libre de látex. En individuos no alérgicos, se recomienda usar guantes de látex con bajo contenido de proteínas y libres de lubricantes para disminuir el riesgo de sensibilización.

### **MANEJO DE REACCIÓN ALÉRGICA SEVERA**

Estas reacciones incluyen urticaria, angioedema, dificultad respiratoria, mareos. El riesgo de progresar rápidamente a shock anafiláctico con hipotensión y colapso, hace que la intervención deba ser temprana tras la aparición de cualquier síntoma o signo sugerente de anafilaxis.

El tratamiento consiste:

1. Suspender la administración del “elemento” sospechoso.
2. Finalizar la cirugía en forma expedita y suspender la anestesia lo antes posible.
3. Tratamiento sintomático
  - Vía aérea permeable
  - Oxígeno 100%
  - Posición de trendelenburg para mejorar retorno venoso
  - Acceso venoso de alto flujo
  - Cristaloides
4. Fármacos:
  - Adrenalina iv
  - Adrenalina racémica
  - Clorfenamina iv
  - Salbutamol NBZ
  - Corticoides para prevenir recurrencias
5. Otras medidas
  - Uso de drogas vasoactivas en caso de hipotensión refractaria
  - Bicarbonato sódico si pH <7,1
  - Salbutamol iv o aminofilina en broncoespasmo permanente
  - UCI o UPC por lo menos por 12 hrs post evento debido a un porcentaje no despreciable (20%) de recurrencia dentro de este período.
6. Determinaciones analíticas seriadas

### **PROCEDIMIENTO LOCAL DE MANEJO DE PACIENTES CON ALERGIA AL LATEX**

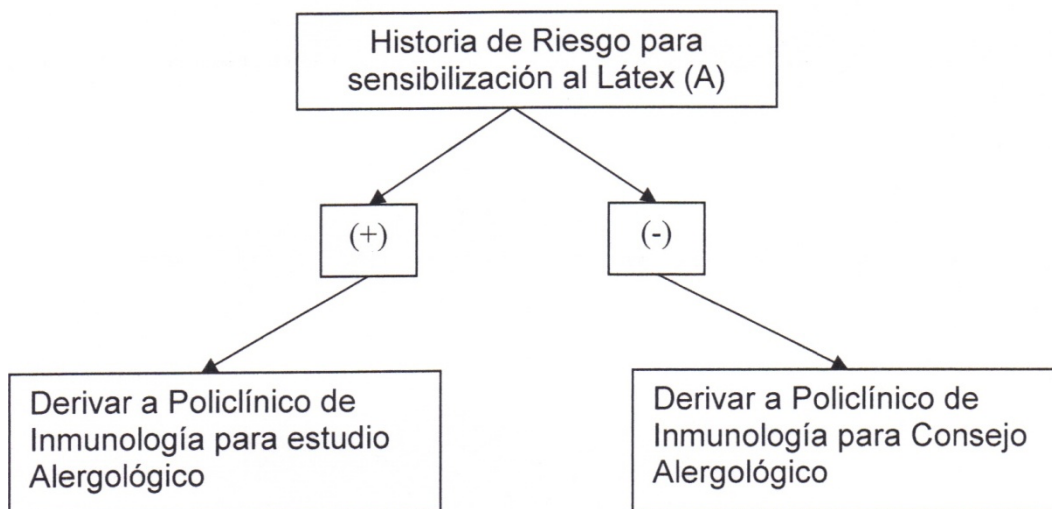
En base a la evidencia científica, el equipo de expertos define el siguiente procedimiento de manejo de dichos pacientes:

- Cirujano o Traumatólogo tratante deberá aplicar encuesta a pacientes pertenecientes a los grupos de riesgo, para su derivación oportuna a policlínico de Inmunología.

- Sólo serán “rotulados” los pacientes ALÉRGICOS AL LATEX por Inmunología, debiendo quedar explicitado en carátula de la ficha.
- Al momento del ingreso a hospitalización de un paciente con alergia al látex diagnosticada se identificará esta condición a través de una pulsera de identificación y de un letrero instalado en la unidad del paciente
- Será parte de la entrega de turno mencionar la calidad de alérgico al látex del paciente
- Se realizará PREVENCIÓN PRIMARIA, es decir **Pabellón Libre de Látex**, desde sus primeros procedimientos en **todo paciente** portador de:
  - Disrrafia Espinal (MMC)
  - Malformaciones Genito-Urinarias complejas (Ej. Cloaca, Seno Urogenital)
  - Malformados Anorrectales
  - Polimalformados.
  - Recién nacido que pueda requerir más de 3 cirugías durante su primer año de vida.
- Sólo los pacientes con su alergia al látex diagnosticada por inmunología requieren cupo en UPC confirmado en preoperatorio.
- La enfermera supervisora de pabellón será responsable de asegurar la ejecución de las actividades de preparación **DE PABELLÓN LIBRE DE LATEX**, supervisando el cumplimiento de las condiciones de seguridad por parte del personal de servicio.
- Será responsable también de asegurar la existencia del stock de medicamentos e insumos requeridos para el manejo y tratamiento de cuadros anafilácticos de alergia al látex.
- La atención directa del paciente con alergia al látex (y de los funcionarios que porten esta condición) debe ser realizada con guantes que no contengan látex.

## Flujograma

Flujograma 1: Búsqueda de pacientes sensibilizados al látex



**Nombre**  
**Edad**

**A. Factores de Riesgo Sensibilización al látex**

1. Antecedentes Mórbidos

Espina bífida \_\_\_\_\_  
 Vejiga neurogénica \_\_\_\_\_  
 Número de cirugías previas \_\_\_\_\_  
 Tipo de cirugías \_\_\_\_\_  
 Rinitis Alérgica \_\_\_\_\_  
 Dermatitis Atópica \_\_\_\_\_  
 Asma Bronquial \_\_\_\_\_  
 Otras alergias \_\_\_\_\_ Cúales \_\_\_\_\_

2. Exposición a Látex

Cirugías o procedimientos invasivos numerosos (más de 3)	S	N
Estos procedimientos o cirugías ocurrieron en la infancia	S	N
Uso de guantes de látex o exposición a guantes, sondas de látex en forma regular	S	N
Uso de chupetes o mamaderas de látex	S	N
Historia de dermatitis de contacto en las manos	S	N
Utilizaβ bloqueadore	S	N

3. Antecedentes de reacción a frutos de la familia del látex

¿Alguno de estos alimentos le produce urticaria, picazón de labios o garganta u otra reacción alérgica al comerlo o manipularlo?

Familia Látex	Síntomas	Familia Rosáceas	Síntomas	Otras Familias	Síntomas
palta		pera		zanahoria	
kiwi		manzana		apio	
piña		damasco		naranja	
castaña		tomates		uva	
papaya		melón		higo	
plátano		durazno		papas	
				maracuyá	

## Anexo 3: Artículos publicados

# *Efficacy of topical versus intravenous tranexamic acid in spinal deformity*

**Karen A. Weissmann, Virginie Lafage,  
Carlos Barrios Pitaque, Renaud Lafage &  
Francoise M. Descazeaux**

**European Spine Journal**

ISSN 0940-6719

Volume 29

Number 12

Eur Spine J (2020) 29:3044-3050

DOI 10.1007/s00586-020-06572-8

**Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at [link.springer.com](http://link.springer.com)".**



# Efficacy of topical versus intravenous tranexamic acid in spinal deformity

Karen A. Weissmann<sup>1,2</sup> · Virginie Lafage<sup>3</sup> · Carlos Barrios Pitaque<sup>1</sup> · Renaud Lafage<sup>4</sup> · Françoise M. Descazeaux<sup>5</sup>

Received: 18 February 2020 / Revised: 13 August 2020 / Accepted: 16 August 2020 / Published online: 31 August 2020  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

## Abstract

**Purpose** To compare topical tranexamic acid versus intravenous tranexamic acid in reducing intra- and postoperative blood loss and transfusion rate in deformity patients.

**Materials and method** We performed a retrospective cohort study with posterior fusion deformity patients, between 2009 and 2016. Patients were categorized in 4 groups: “No TXA” ( $n=35$ ) if the wound was packed with saline soaked sponges, “IV TXA” ( $n=37$ ) the patient received 20 mg/kg bolus at the beginning of the surgery followed by continuous infusion of 1 mg/kg/hr until closure, “Topical TXA” ( $n=23$ ) the wound was packed with sponges soaked in 6 g of TXA diluted in a 3 L saline solution, or “Combined TXA” ( $n=86$ ) the patient received both IV and topical TXA. The primary outcomes were total, intra- and postoperative blood loss, surgical time, postoperative Ht/Hb, transfusion rates, and duration of drain insertion.

**Results** A total of 181 patients were analyzed (78.6% F, 15.08 yo). No differences were found in total and intraoperative blood loss, surgical time, postoperative Ht/Ht, and transfusion rates. “Combined TXA” group had significantly less postoperative bleeding than “no TXA” group ( $p=0.022$ ). IV TXA patients (with o/without topical TXA) removed drains one day earlier than the no TXA group ( $p=0.002$ ). There were no complications related to the use of tranexamic acid.

**Conclusion** There is significant decrease in postoperative bleeding in pediatric deformity patients with combined topical and IV tranexamic acid.

**Keywords** Tranexamic acid · Scoliosis · Topical

## Introduction

Despite all the recent advances in deformity surgery, blood management remains a major issue. Excessive blood loss increases complications, hospital stays, and costs [1].

Excessive bleeding affects patients intraoperatively [2] and impacts the recovery process, it can lead to an extended

length of stay, nausea, and unnecessary allogeneic transfusions with increased risk of infection [3], and it also involves extra strain for the family in procuring blood and increased costs.

On a very high level, there are two ways to mitigate the issue of blood loss [4]: replace or save blood. Replacing blood involves autotransfusions, cell saver, or allotransfusions [3]; all of these are potentially associated with complications, increase procedures, and cost. Saving blood includes two types of interventions: hemodynamic and chemical/biological. The first consists in hemodilution, controlled hypotension, epidural block, and vasoconstrictor drugs [4]. Chemical/biological interventions are diverse and include: 1) use of erythropoietin (a time-consuming and costly solution, useful in patients refusing allotransfusion), 2) sealing the origin of bleeding with bonewax or thrombin-gelatin hemostatic matrix, or 3) use of systemic or topical chemicals that intervene on the coagulation chain. Within this last set of interventions, aprotinin [5] and epsilon aminocaproic acid [6, 7] (EACA) demonstrated excellent results in spine

✉ Karen A. Weissmann  
kweissmann@mail.ucv.es; kweissmannm@uchile.cl

<sup>1</sup> Escuela de Doctorado, Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, Valencia, Spain

<sup>2</sup> Departamento de Ortopedia y Traumatología, Area Sur, Universidad de Chile, Gran Avenida Jose Miguel Carrera 3100, San Miguel, Santiago, Chile

<sup>3</sup> Department of Surgery, Hospital for Special Surgery, New York, NY, US

<sup>4</sup> Department of Orthopedic Surgery, Hospital for Special Surgery, New York, NY, US

<sup>5</sup> Hospital Exequiel Gonzalez Cortés, Santiago, Chile

surgery but were discontinued due to the risk of deep venous thrombosis, pulmonary embolus, myocardial ischemia, bradycardia, renal failure, or allergies [8].

In this context tranexamic acid (TXA) is a competitive synthetic analog to lysine that reversibly binds to lysine receptor sites in plasminogen, thus preventing the conversion from plasminogen to plasmin and preventing fibrin degradation; it does not affect platelet count, it prevents platelet asthenia [9], and it does not decrease coagulation parameters such as activated partial thromboplastin time or prothrombin times. It has shown promising results during surgical procedures in patients with hematological disorders [5] and spine surgery [10, 11] when used intravenously (IV), but some complications have been described [12], such as venous thromboses, seizures, pulmonary embolism, myocardial infarction, strokes, and blood–brain barrier [5] penetration, which is a concern in children. There is a growing interest in administering TXA in a topical fashion, with positive results reported in dental procedures, epistaxis [2], and intraarticular in hip and knee procedures [13, 14]. In spine surgery, only two level-1 RCTs with topical tranexamic acid have been published; in one, the wound was washed with a topical TXA diluted in saline before closure; in the other, topical TXA was sprayed after laminectomy. Both reported a significant reduction in drain output [2]. Topical TXA has shown to achieve sufficient plasmatic levels to inhibit plasminogen at lower doses and with less complications [9].

The objective of the current study was to investigate if topical TXA was a viable and safe alternative to IV TXA in the setting of deformity surgery. More specifically, this study aimed to compare the efficacy of topical TXA versus intravenous TXA in reducing intraoperative and postoperative blood loss, and the need for transfusion.

## Material and method

This is a retrospective cohort study with deformity patients from one academic pediatric hospital (ethics committee approval, 3/2018), the surgeries were performed by one of five surgeons from the same team, and the anesthesiologist rotated in a scheduled by shift system.

### Study subjects

Patients were recruited between 2009 and 2016. Records from this period were recovered from the hospital database. Inclusion criteria were patients less 25 years old who underwent deformity surgery. Exclusion criteria were patients with revision surgery, growing system, anterior approach, hematological or hepatic conditions. Patients with dural tears were not excluded from this study.

## Anesthesiology preparation

Total intravenous anesthesia (TIVA) was employed to permit continuous evoked potentials (MEP and SSEP). All patients received prophylactic antibiotic with cefazolin 50 mg/kg/dose or clindamycin in patients allergic to B-lactamic (10 mg/kg/dose). Hemodilution or cell saver was not used in this series of patients.

## Surgical procedure

A posterior approach was performed in all patients while maintaining a medial blood pressure between 55 and 75 mmHg. Bleeding was controlled with saline or tranexamic soaked sponges.

All patients were instrumented with screws and rods. Medial blood pressure was increased to over 85 mmHg during the reduction maneuvers and during the immediate 24 h. Grafting was done with osteoconductors and local bone obtained after decortication. Wound closure was conducted in four stages: deep fascial plane, subcutaneous, subdermal, and either intradermic suture or staples. Drains were placed deep and superficial when an osteotomy was performed and only superficial when the spinal canal was intact. Suction drains were removed when drainage was less than 50 mL/day. Surgical time was measured from skin incision to dressing.

The criteria for transfusion were based on the blood transfusion protocols from our hospital [15]. All patients received antibiotics until the drainage was removed (cefazolin or clindamycin). Patients were monitored during at least 24 h in a pediatric intensive or intermediate care unit.

## Subjects categorization

Patients were categorized in four groups according to the way TXA was used during their surgery:

- No tranexamic acid (No TXA): The wound was packed with gauzes soaked in saline.
- IV tranexamic acid (IV TXA): TXA IV dose of 20 mg/kg in bolus and then a continuous infusion of 1 mg/kg/hr until skin closure. The bolus was injected at the time of the incision.
- Topical tranexamic acid (topical TXA): 6 g of TXA diluted in a 3L saline solution. The gauzes for packing were soaked in this solution; if solution remained after the surgery it was irrigated directly into the wound. If more irrigation was needed it was performed with pure saline.

- Topical and IV tranexamic acid (topical + IV TXA): This group received both interventions with the previously described doses.

## Outcomes

Intraoperative bleeding was determined by measuring the amount of blood collected in the suction canister and subtracting the amount of irrigation saline used, including the one in the sponges for packing. These were crushed to remove all liquid and weighted along with compresses used during surgery. The drain debit was measured every 12 h and recorded in the patient's chart. In the first 24 h, the drain was left with negative pressure and posteriorly at free fall. The total blood loss was defined as the sum of the intraoperative bleeding and the total drain output.

Additionally, we reported the preoperative and postoperative hematocrit and hemoglobin, the number of levels instrumented and average bleeding per level, surgical time, surgeon in charge, scoliosis etiology as adolescent idiopathic scoliosis (AIS) or neuromuscular scoliosis (NMS), number of days the drain was left in place, intraoperative or postoperative transfusions, and the presence of complications.

## Statistical analysis

After describing the entire cohort in term of demographic and surgical metrics using mean and standard deviation or median and percentile, association between operative time and fusion length with blood information was conducted using Pearson's correlations. Patients were stratified by type of blood management protocol, and surgical outcomes, especially intraoperative blood loss, postoperative blood loss, and total blood loss, were compared using either an ANOVA or a Kruskal–Wallis test, when appropriate. This analysis was conducted for the entire cohort as well as by fusion length group (less than 6 level fused, 6–12 level fused, more than 6 level fused). Complication rates were reported and compared between TXA groups. Finally, a sub-analysis by type of deformity (NMS versus AIS) and by surgeon was

conducted. Statistical analysis was performed using SPSS 20.0 (IBM, Chicago, IL, USA), and  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

## Results

### Demographics

A total of 181 patients were included in the analysis; 78.6% were female, with a mean age of 15.08 years (8–25 years). There were 35 patients in the No TXA group, 37 in the IV TXA group, 23 in the topical TXA, and 86 in the IV + topical TXA group (Table 1). Primary diagnosis was significantly different in the four groups as there were no neuromuscular cases in the topical TXA group.

The total blood loss overall was  $1,390 \pm 886$  mL, median 1235 mL (25th 758.5–75th 1836.5 mL) with mean intraoperative bleeding of  $1043 \pm 749.06$  mL, median 800 mL (25th 500–75th 1475 mL), and a mean drain output of  $352 \pm 352$  mL, median 253 mL (25th 93.5–75th 498.25 mL). Mean preoperative Ht for this series was 40.01% with 13.34 grs/dL of hemoglobin, postoperative 27.21% Ht and 9.21 grs/dL Hb.

### Correlation analysis between surgical metrics and estimated blood loss

There was a positive correlation between surgical time and number of instrumented levels ( $p = 0.000$ ,  $r = 0.359$ ), intraoperative bleeding ( $p = 0.000$ ,  $r = 0.494$ ), intraoperative transfusions ( $p = 0.000$ ,  $r = 0.438$ ), postoperative Ht/Hb ( $p = 0.000$ ,  $r = 0.367$ ), postoperative bleeding ( $p = 0.028$ ,  $r = 0.163$ ), number of days with drain ( $p = 0.041$ ,  $r = 0.155$ ), and total bleeding ( $p = 0.000$ ,  $r = 0.484$ ). There was no correlation between operative time and number of complications.

A total of 2003 levels were instrumented, with a medial of 11 levels (25th 9 to 75th 13 levels) per patient, and a total bleeding per level of 126.32 mL; of this 94.9 mL were intraoperative bleeding, and 32.02 mL were postoperative

**Table 1** Mean demographic data for the four groups

	No TXA ( $n = 35$ )	IV TXA ( $n = 37$ )	Topical TXA ( $n = 23$ )	IV and topical TXA ( $n = 86$ )	$p$ value
Sex male/female	6/29	4/33	7/16	21/65	0.281
Age	14.71 $\pm$ 2.21	14.59 $\pm$ 2.07	14.70 $\pm$ 3.71	15.57 $\pm$ 2.91	0.608
Diagnosis NMS/AIS*	30/5	5/32	23/0	30/56	<b>0.000</b>
Pre op Ht	39.86	39.21	39.33	40.55	0.693
Pre op Hb	13.21	13.19	12.47	13.66	0.052

Bold: Statistically significant ( $p < 0.005$ )

\*AIS adolescent idiopathic scoliosis NMS neuromuscular scoliosis

bleeding. The number of instrumented levels significantly correlated with the amount of intraoperative bleeding ( $r=0.237$ ), with intra- and postoperative transfusions ( $r=0.353$  and  $0.209$ ), postoperative Ht/Hb ( $r=0.226$  and  $0.221$ ), postoperative bleeding ( $r=0.269$ ), total bleeding ( $r=0.316$ ), drain days ( $r=0.228$ ), and number of complications ( $r=0.283$ ) (all  $p < 0.005$ ). IV TXA had significantly more levels fused ( $12.67 \pm 3.84$ ) than the no TXA and the topical + IV TXA groups (resp  $10.56 \pm 2.25$  levels and  $10.22 \pm 3.12$  levels,  $p < 0.001$ ).

**Group analysis**

No significant differences were found in total blood loss, intraoperative blood loss, surgical time, postoperative Ht/Hb, intraoperative and postoperative transfusion rates. Deeper analysis demonstrated that topical + IV TXA group had significantly less postoperative bleeding than the control/ no TXA group ( $295 \pm 321$  mL vs.  $480 \pm 447$  mL,  $p = 0.022$ ) (Table 2).

The operative time ranged from 80 to 400 min with a mean of  $218.39 \pm 74.64$  ( $p = 0.199$ ). On average, the drains were used during 3.23 days (25th 2 days and 75th 4 days, with a maximum of 11 days); patients who received IV TXA (with or without topical TXA) had their drain taken out one day earlier than the no TXA group ( $p = 0.002$ ). In an effort to control for the number of levels fused, a sub-analysis based on the distribution of levels fused was conducted. It demonstrated that postoperative bleeding ( $p = 0.051$ ) and drain day usage ( $p = 0.006$ ) were still significantly different in the IV and topic TXA groups; for the 6–12 level group, which was the biggest group in the cohort, the rest of the parameters were not significant.(Table 3)

Rate of complication for the entire cohort was 17.7% with a total of 32 complications, of which 8.8% were major complications (Table 4). The rate of complications for the neuromuscular group was 44% and 3.17% for the adolescent

**Table 3** ANOVA analysis for the four groups by percentile of the number of instrumented levels

Levels	0–6	6–12	12–18
Intra-op bleeding (mL)	0.932	0.159	0.603
Intra-op transfusion (U)	0.063	0.115	0.081
Post-op transfusion (U)	–	0.474	0.856
Post-op Ht (%)	0.091	0.787	0.527
Post-op Hb (grs/dl)	0.093	0.426	0.467
Drain days	0.314	<b>0.006</b>	0.155
Post-op bleeding (mL)	0.113	<b>0.051</b>	0.441
Total bleeding (mL)	0.756	0.165	0.581
Complications	0.682	0.774	0.632

Bold: Statistically significant ( $p < 0.005$ )

idiopathic scoliosis group. When compared by TXA group, there was no significant difference in complication rate based on TXA usage ( $p = 0.376$ ). No complications associated with the use of tranexamic acid were found in this series.

**Sub-analysis by diagnosis and surgeon**

The analysis by diagnosis (Table 5) demonstrated that NMS had significantly more postoperative transfusions ( $p = 0.015$ ) and higher postoperative Ht/Hb ( $p = 0.005$  and  $< 0.001$ ). For patients with neuromuscular scoliosis, there was no significant difference by TXA groups in postoperative bleeding or the number of days the drain was left in place. On the other hand, for AIS patients, the total drain debit ( $p = 0.010$ ) and drain days ( $p = 0.002$ ) were significantly lower in the topical + IV TXA group than for the other three groups.

The analysis by surgeons (Table 6) demonstrated that Surgeon #5 performed 50% of all the AIS surgeries, and 100% of the NMS surgeries. The ANOVA analysis by surgeon revealed that surgeon #5 had a faster OR time ( $p < 0.001$ ), less intraoperative bleeding ( $p < 0.001$ ), less postoperative

**Table 2** Comparative outcomes for patients treated with tranexamic acid

	No TXA (n=35)	IV TXA (n=37)	Topical TXA (n=23)	IV and topical TXA (n=86)	p value
No. of levels fused	10.56 ± 2.25	12.67 ± 3.84	11.96 ± 2.22	10.22 ± 3.12	<b>0.001</b>
Surgical time (min)	239.44 ± 62.43	210.56 ± 81.48	200.00 ± 83.3	217.78 ± 73.19	0.199
Drain days	4.0 ± 1.87	3.00 ± 0.74	3.45 ± 1.50	2.94 ± 1.22	<b>0.002</b>
Intraoperative bleeding (mL)	1130.89 ± 607.52	984.44 ± 796.35	811.08 ± 403.91	1093.72 ± 843.21	0.348
Postoperative bleeding (mL)	480.58 ± 447.61	372.57 ± 345.84	350.39 ± 262.55	295.13 ± 321.18	<b>0.022</b>
Total bleeding (mL)	1611.47 ± 764.35	1357.08 ± 893.45	1161.48 ± 510.96	1388.84 ± 988.62	0.262
Intraoperative transfusion (U)	1.14 ± 0.96	1.16 ± 1.21	0.61 ± 0.89	0.85 ± 1.01	0.112
Postoperative transfusion (U)	0.139 ± 42	0.30 ± 0.74	0.44 ± 0.84	0.259 ± 0.66	0.410
Post-op Ht (%)	26.9 ± 3.85	27.49 ± 5.25	28.00 ± 5.14	27.01 ± 5.16	0.806
Post-op Hb (grs/dL)	8.87 ± 1.27	9.53 ± 1.87	9.52 ± 1.86	9.13 ± 1.74	0.330

Bold: Statistically significant ( $p < 0.005$ )

**Table 4** Complications

Complication	Percentage (%)
Superficial infection	3.13
Deep infection	4.7
Occipital pressure sore	1.6
Bilateral pneumonia	4.7
Minor pneumothorax/atelectasis	4.7
Varicella	1.6
Intraoperative screw pullout repositioned during same surgery	1.6
Unidentified fever for 2 days	4.7
Incidental durotomy	3.13
Hypovolemic shock	4.7
Tongue biting	1.6
Post-op convulsions	3.13
Paraparesis (complete recovery 3 weeks)	1.6
Postoperative paralytic ileum	1.6
<i>Late complications</i>	
Proximal screw pullout due to PJK	3.13
Pedicle fracture due to traumatic accident	1.6
Nonunion	3.13

bleeding ( $p = 0.047$ ), less total bleeding ( $p < 0.001$ ), less intraoperative transfusions ( $p < 0.001$ ), higher postoperative Ht/Hb ( $p = 0.018$  and  $0.004$ ), and less complication rates ( $p = 0.011$ ). There was no significant difference across the surgeons in terms of postoperative transfusions ( $p = 0.455$ )

**Table 5** Intraoperative and postoperative blood loss according to scoliosis type

	AIS	NMS	<i>p</i> value
Intraoperative bleeding (mL)	1099.30 ± 785.96	938.89 ± 668.016	0.151
Postoperative bleeding (mL)	323.84 ± 330.28	405.36 ± 387.47	0.137
Total blood loss (mL)	1423.14 ± 866.35	1423.21 ± 866.35	0.498
Intraoperative transfusions ( <i>U</i> )	0.86 ± 1.01	1.09 ± 1.01	0.142
Postoperative transfusions ( <i>U</i> )	0.178 ± 0.56	0.43 ± 0.78	<b>0.015</b>
Post-op hematocrit (%)	26.48 ± 4.82	28.66 ± 4.79	<b>0.005</b>
Post-op hemoglobin (grs/dL)	8.87 ± 1.60	9.9 ± 1.70	<b>0.000</b>

Bold: Statistically significant ( $p < 0.005$ )

**Table 6** Surgeries performed by the different surgeons

Surgeon	% AIS surgeries	% of NMS surgeries	Surgical time (min)	Intraoperative bleeding (mL)
1	21.2	0	280.16 ± 60.06	1917.48 ± 984.43
2	13.6	0	243.75 ± 65.6	996.25 ± 578.59
3	1.7	0	330.00 ± 42.42	650 ± 212.13
4	1.7	0	255.00 ± 106.06	1665 ± 657.6
5	52.5	100	201.36 ± 71.60	870.48 ± 589.14
6	11	0	207.73 ± 56.76	1050 ± 724.22

or drain duration ( $p = 0.656$ ). We then isolated the data for surgeon number #5 with a total of 126 patients (64 NMS and 60 AIS), multivariate analysis showed that the topical + IV TXA group maintained a lower number of drain days ( $p = 0.029$ ) in the 6–12 number of instrumented levels group. There were no other significant differences.

### Discussion

Patients, with spinal deformity, frequently have multiple reasons for intraoperative bleeding; the use of multiple interventions all contributes to avoiding transfusions in these patients.

In this context, IV TXA is a well-documented tool [2, 11, 16] in pediatric deformity patients. This study identified three main predictors of increased bleeding in pediatric deformity surgery: number of instrumented levels, total surgical time, and the surgeon performing the surgery. Age, sex, and diagnosis did not influence bleeding, although transfusion rate was higher and postoperative Hb/Ht were lower in the neuromuscular group. The use of IV tranexamic acid with topical TXA decreased the number of drain days and postoperative bleeding.

The competitive mechanism of actions of TXA should be effective when applied in topical fashion as it avoids fibrin degradation. When administered IV, the half-life is reached within 80 min and peak plasma concentration is 1 h after injection [17]. It has high tissue penetration and absorbance as a one-time IV administration of 10 mg/kg allows for 80%

systemic fibrinolysis inhibition. In a topical fashion, plasma levels are 70% lower than when used IV [2]. Krhon et al. studied the use of tranexamic acid in orthopedic surgery and reported that by washing the wound with a tranexamic acid solution before closing, the fibrinolytic markers measured in the drain tube were significantly lower in the topical TXA group compared with the non-TXA group [18]. These results suggest that topical TXA acts very quickly, allowing IV infusion to stop sooner and at less cost.

When applied intravenously, high doses of TXA are more effective than low doses [16]; however, studies with 10 mg/kg in bolus and 1 mg/kg/hr (low dose) have shown important decrease in bleeding [19, 20]. The current study suggests that even smaller doses may be efficient when applied in a topical fashion (2 g of TXA per 1000 mL).

No complication-related to tranexamic acid was observed in this series, and there were overall no significant differences across the four studied groups. These findings are in line with the literature: the CRASH-2 [21] (clinical randomization of an antifibrinolytic in significant hemorrhage) study reported no increase in thromboembolic risk in trauma patients, other studies using topical tranexamic acid have not shown complications associated with its use [2, 9].

This study has limitations. The surgeon's expertise plays a significant role in the operative time and intraoperative bleeding. This did not alter our conclusion, but it should be taken into account when investigating peri-operative outcomes in multi-surgeon studies. Timing of tranexamic acid administration limited our ability to analyze its effectiveness intraoperatively; as the bolus was administered at incision, we benefited from effective plasmatic levels after one hour of surgical time.

The two TXA administration modalities complement each other and are not exclusive. From a timing point of view, we recommend the use of IV TXA during anesthesia induction to avoid bleeding during the intraoperative period and using TXA soaked sponges in the packing to decrease postoperative bleeding.

## Conclusion

There is a significant decrease in postoperative bleeding and drain day removal in deformity spine surgery with the use of intravenous and topic tranexamic acid. No differences were found in total blood loss, intraoperative blood loss, surgical time, postoperative Ht/Hb, intraoperative and postoperative transfusion rates. The number of levels, surgical time, and surgeon in charge correlate with bleeding. No complication-related TXA was found in this series.

**Availability of data and material** Yes.

## Compliance with ethical standards

**Conflicts of interest** Karen Weissmann, M.D. helped in consultant fees from Orthopediatrics, Medyssey, and Helico. Virginie Lafage, PhD contributed in Royalties: Nuvasive Inc., Consultant Globus Medical, Inc., Speaking and/or Teaching Arrangements: DePuy Synthes, Implanet. Carlos Barrios Pitaque M.D., PhD and Françoise M. Descazeaux M.D. were involved in no conflict of interest. Renaud Lafage M.Sc helped in Nemaris: stock option.

**Ethical approval** This project was presented to the hospital ethics committee (Approval 3/2018).

**Consent to participate** Retrospective study.

**Consent for publication** Yes.

## References

- Oetgen ME, Litrenta J (2017) Perioperative blood management in pediatric spine surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 25(7):480–488. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-16-00035>
- Winter SF, Santaguida C, Wong J, Fehlings MG (2016) Systemic and topical use of tranexamic acid in spinal surgery: a systematic review. *Glob Spine J* 6(3):284–295. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1563609>
- Vitale MG, Levy DE, Park MC, Choi H, Choe JC, Roye DP (2002) Quantifying risk of transfusion in children undergoing spine surgery. *Spine Journal* 2:166–172
- Szpalski M, Gunzburg R, Szttern B (2004) An overview of blood-sparing techniques used in spine surgery during the perioperative period. *Eur Spine J* 13(Suppl 1):S18–27. <https://doi.org/10.1007/s00586-004-0752-y>
- Fergusson DA, Hebert PC, Mazer CD, Fremes S, MacAdams C, Murkin JM, Teoh K, Duke PC, Arellano R, Blajchman MA, Busieres JS, Cote D, Karski J, Martineau R, Robblee JA, Rodger M, Wells G, Clinch J, Pretorius R, Investigators B (2008) A comparison of aprotinin and lysine analogues in high-risk cardiac surgery. *N Engl J Med* 358(22):2319–2331. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0802395>
- Verma K, Errico TJ, Vaz KM, Lonner BS (2010) A prospective, randomized, double-blinded single-site control study comparing blood loss prevention of tranexamic acid (TXA) to epsilon aminocaproic acid (EACA) for corrective spinal surgery. *BMC Surg* 10:13. <https://doi.org/10.1186/1471-2482-10-13>
- Florentino-Pineda I, Thompson GH, Poe-Kochert C, Huang RP, Haber LL, Blakemore LC (2004) The effect of amicar on perioperative blood loss in idiopathic scoliosis: the results of a prospective, randomized double-blind study. *Spine (Phila Pa 1976)* 29(3):233–238. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000109883.18015.b9>
- Kasimian S, Skaggs DL, Sankar WN, Farlo J, Goodarzi M, Tolo VT (2008) Aprotinin in pediatric neuromuscular scoliosis surgery. *Eur Spine J* 17(12):1671–1675. <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0790-y>
- Arun-Kumar V, Naresh-Babu J (2019) Is there a role for preoperative local infiltration of tranexamic acid in elective spine surgery? A prospective randomized controlled trial analyzing the efficacy of intravenous, local infiltration, and topical administration of tranexamic acid. *Glob Spine J*. <https://doi.org/10.1177/2192568219888446>
- Jones KE, Butler EK, Barrack T, Ledonio CT, Forte ML, Cohn CS, Polly DW Jr (2017) Tranexamic acid reduced the percent

- of total blood volume lost during adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Int J Spine Surg* 11:27. <https://doi.org/10.14444/4027>
11. Yagi M, Hasegawa J, Nagoshi N, Iizuka S, Kaneko S, Fukuda K, Takemitsu M, Shioda M, Machida M (2012) Does the intraoperative tranexamic acid decrease operative blood loss during posterior spinal fusion for treatment of adolescent idiopathic scoliosis? *Spine (Phila Pa 1976)* 37(21):E1336–1342. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318266b6e5>
  12. Wang M, Zheng XF, Jiang LS (2015) Efficacy and safety of antifibrinolytic agents in reducing perioperative blood loss and transfusion requirements in scoliosis surgery: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 10(9):e0137886. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137886>
  13. Konig G, Hamlin BR, Waters JH (2013) Topical tranexamic acid reduces blood loss and transfusion rates in total hip and total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 28(9):1473–1476. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.06.011>
  14. Alshryda S, Sukeik M, Sarda P, Blenkinsopp J, Haddad FS, Mason JM (2014) A systematic review and meta-analysis of the topical administration of tranexamic acid in total hip and knee replacement. *Bone Jt J* 96(8):1005–1015. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B8.33745>
  15. Fuentes IVJ (2009) Criterios de Indicación médica de trasfusiones. Componentes sanguíneos y hemoderivados., vol 1, 1 edn. Gobierno de Chile. Ministerio de Salud, Hospital Exequiel González Cortés
  16. Jhonson DJ, Jhonson JC, Goobie S, Nami N, Wetzler J, Sponseller P, Frank S (2016) High-dose versus low-dose tranexamic acid to reduce transfusion requirements in pediatric scoliosis surgery. *J Pediatr Orthop* 0:1–6
  17. Andersson L, Nilsson IM, Nilehn JE, Hedner U, Granstrand B, Melander B (1965) Experimental and clinical studies on AMCA, the antifibrinolytically active isomer of p-aminomethyl cyclohexane carboxylic acid. *Scand J Haematol* 2(3):230–247. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0609.1965.tb01300.x>
  18. Krohn CD, Sorensen R, Lange JE, Riise R, Bjornsen S, Brosstad F (2003) Tranexamic acid given into the wound reduces postoperative blood loss by half in major orthopaedic surgery. *Eur J Surg Suppl* 588:57–61
  19. Wong J, El Beheiry H, Rampersaud YR, Lewis S, Ahn H, De Silva Y, Abrishami A, Baig N, McBroom RJ, Chung F (2008) Tranexamic acid reduces perioperative blood loss in adult patients having spinal fusion surgery. *Anesth Analg* 107(5):1479–1486. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181831e44>
  20. Goobie SM, Zurakowski D, Glotzbecker MP, McCann ME, Hedquist D, Brustowicz RM, Sethna NF, Karlin LI, Emans JB, Hresko MT (2018) Tranexamic acid is efficacious at decreasing the rate of blood loss in adolescent scoliosis surgery: a randomized placebo-controlled trial. *J Bone Jt Surg Am* 100(23):2024–2032. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.00314>
  21. Collaborators C-t, Shakur H, Roberts I, Bautista R, Caballero J, Coats T, Dewan Y, El-Sayed H, Gogichaishvili T, Gupta S, Herrera J, Hunt B, Iribhogbe P, Izurieta M, Khamis H, Komolafe E, Marrero MA, Mejia-Mantilla J, Miranda J, Morales C, Olaomi O, Ollidashi F, Perel P, Peto R, Ramana PV, Ravi RR, Yuthakasemsunt S (2010) Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet* 376(9734):23–32. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60835-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60835-5)

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



# Neuromuscular Scoliosis: Comorbidities and Complications

Karen Andrea Weissmann<sup>1,2</sup>, Virginie Lafage<sup>3</sup>, Carlos Barrios Pitaque<sup>1</sup>, Renaud Lafage<sup>3</sup>,  
Carlos M. Huaiquilaf<sup>4</sup>, Bryan Ang<sup>3</sup>, Ronald G. Schulz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Doctorado, Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, Valencia, Spain

<sup>2</sup>Departamento de Ortopedia y Traumatología, Universidad de Chile, Santiago, Chile

<sup>3</sup>Department of Surgery, Hospital for Special Surgery, New York, NY, USA

<sup>4</sup>Hospital Exequiel Gonzalez Cortés, Redsalud, Santiago, Chile

**Study Design:** Single-center, retrospective cohort study conducted from 2013 to 2017.

**Purpose:** To determine the risk factors for surgical complications in neuromuscular scoliosis based on known patient comorbidities.

**Overview of Literature:** The concept of neuromuscular scoliosis includes a wide variety of pathologies affecting the neuromuscular system. Complications are numerous and are often difficult to predict.

**Methods:** A retrospective analysis of a single-center database was conducted from 2013 to 2017. Inclusion criteria were patients aged <25 years, diagnosis of neuromuscular scoliosis, and history of posterior fusion deformity surgery. A total of 64 patients (mean age, 15 years; 63% females) were included in this study. Clinical, radiological, and laboratory parameters in the preoperative, intraoperative, and postoperative settings were analyzed. Univariate analysis was performed using Student *t*-test for continuous variables, and a chi-square test was used for noncontinuous variables. Multivariate analysis was performed to identify predictors of major, mechanical, and total complications.

**Results:** Complications were found in 44% of patients, with 46.9% consisting of major complications, and 84.4% being early complications. Univariate analysis revealed that the presence of perinatal comorbidities, independent of other comorbidities, increased the risk for complications ( $p=0.029$ ). Preoperative hypoglycemia, high number of instrumented levels, longer surgical time, use of an all-screw construct, lower preoperative pelvic obliquity, postoperative lower kyphosis, high thoracic spinopelvic angle (as measured by T9 spino-pelvic inclination), absence of deep drain, and use of superficial drain were associated with postoperative complications (all  $p<0.05$ ). Logistic regression demonstrated that comorbidities, longer surgical time, hypoglycemia, and absence of deep drains are predictors of complications. Independent variables that predicted major complications were the number of levels fused, postoperative kyphosis ( $p=0.025$ ; odds ratio [OR], 1.074), and high screw density ( $p=0.014$ ; OR, 4.380).

**Conclusions:** Complications in neuromuscular scoliosis are increased by comorbidities, long surgical time, and inadequate correction. Preventative measures to decrease these complications include appropriate preoperative patient preparation and surgical planning.

**Keywords:** Scoliosis; Complications; Comorbidity; Perinatal

Received May 24, 2020; Revised Aug 30, 2020; Accepted Aug 30, 2020

Corresponding author: Karen Weissmann

Departamento de Ortopedia y Traumatología, Universidad de Chile, Area Sur. Gran Avenida Jose Miguel Carrera, 3100, San Miguel, Región Metropolitana, Chile

Tel: +56-9-84191581, Fax: +56-2-26720146, E-mail: karenw9@gmail.com, kweissmannm@uchile.cl

## Introduction

The concept of neuromuscular scoliosis includes a wide variety of pathologies associated with both the nervous and muscular systems [1]. With such a heterogeneous group of disorders, it is difficult to establish guidelines for preoperative planning, surgery, and postoperative treatment. Although patients are evaluated individually, identifying the shared characteristics can be valuable for treatment algorithms.

It is difficult to anticipate the complications in neuromuscular scoliosis surgery, with rates being reported from 6.3% to 50.0% [2-14]. The Scoliosis Research Society morbidity and mortality database for neuromuscular scoliosis reported a rate of 13%–16% between 2004 and 2007. This rate dramatically decreased to 4% between 2012 and 2015,

and the authors primarily attributed this reduction to a two-fold decrease in infection rate.

Over the past 20 years, there have been insufficient, quality studies reporting the associations between neuromuscular scoliosis complications and controllable parameters, including ambulatory status, diagnosis of myelomeningocele, curve magnitude severity, instrumentation type, estimated blood loss, and pulmonary comorbidities [2-7,9-13,15] (Table 1). None of the published reports addressed the potential impact of perinatal comorbidities.

The Barker hypothesis proposes transgenerational epigenetic inheritance these changes might occur in as early as one generation [16]. Later life outcomes such as lower test scores, psychiatric diseases, and epilepsy have been associated with perinatal circumstances [16]. We hypothesized that epigenetic inheritance and perinatal

**Table 1.** Articles that studied the correlation between known parameters and complications in neuromuscular scoliosis

Variable	No. of studies	Reference	Our study
<b>Demographics</b>			
Age >13 yr	2	[9,12]	No, low Risser yes
Nonwhite race	1	[7]	Not analyzed
Family income	1	[7]	No, same results public/private hospital
<b>Comorbidities</b>			
≥1 known comorbidity	2	[7,9]	Yes
Pulmonary comorbidity	3	[2,4,12]	No
Known diagnosis: myelomeningocele or Duchenne	4	[2,9,10,15]	Yes
Weight under 5% or over 95%	2	[2,9]	No
Epilepsy	1	[2]	No
Previous surgery	1	[2]	No
Non-ambulatory	4	[2,9,11,13]	Yes
<b>Curves characteristics</b>			
Curve magnitude	4	[3,9,11,12]	No
Curve rigidity	1	[3]	No
Pelvic obliquity	2	[2,9]	No
<b>Surgery related</b>			
No. of levels instrumented	1	[7]	Yes
One versus double staged surgery	1	[15]	No
Type of instrumentation	4	[5,6,9,10]	No
Osteotomies	1	[6]	No
Surgical time	2	[2,9]	Yes
Blood loss	3	[2,7,9]	Yes
Inadequate reduction (LL or PO)	1	[2]	Yes, for major complications

LL, lumbar lordosis; PO, pelvic obliquity.

comorbidities could potentially be related to complications in neuromuscular scoliosis surgery. Therefore, the present study was conducted to investigate the association between perinatal comorbidities, preoperative evaluation, surgical parameters, and postoperative complications in neuromuscular scoliosis.

## Materials and Methods

This study was approved by the ethics committee for evaluation (approval no., 383/2019). Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. A single-center retrospective analysis was conducted using the data of patients operated between August 2013 and October 2017. Inclusion criteria were patients aged <25 years, a diagnosis of neuromuscular scoliosis, and a past surgical history of a posterior spinal fusion. Exclusion criteria were history of revision spine surgery or use of growth-guided systems. Data were collected from patient charts.

### 1. Preoperative evaluation

All patients underwent the same preoperative evaluation protocol consisting of a cardiac, pulmonary, psychological, and laboratory assessment. Data pertaining to perinatal morbidity were collected, including pregnancy characteristics, type of delivery, gestational weeks at birth, maternal diseases during pregnancy, birth weight, and birth size.

The following parameters concerning the current physical condition were evaluated: gait, preoperative and postoperative height and weight, comorbidities, previous surgeries, sports practiced, presence of thelarche in girls and increase in testicular volume in boys, age at menarche in girls or voice change in boys, use of preoperative brace, allergies, and use of medications. All patients underwent preoperative laboratory testing, including hematocrit (Ht, expressed as %), hemoglobin (Hb, g/dL), and platelet count (100,000 platelets/field); coagulation analysis comprising activated partial thromboplastin time (seconds) and prothrombin time (%); and a biochemical analysis of blood urinary nitrogen and glucose (both in mg/dL).

Patients were evaluated by a pediatric cardiologist using a bidimensional echocardiogram to search for any malformations. Ejection fraction was measured in patients when an adequate acoustic window permitted it. When possible, spirometry with and without a  $\beta_2$ -sympathomimetic agent was performed to measure forced expiratory volume dur-

ing the first second (FEV1). When spirometry was not possible due to mental or physical issues, thoracic anteroposterior and lateral X-rays, along with clinical evaluation, were used for preoperative assessment. Other respiratory parameters analyzed in this study were the use of nocturnal external respiratory aids such as bilevel positive airway pressure (BiPAP) and the number of lower respiratory tract infections (LRTI) per year in the preoperative and postoperative period.

All patients underwent a complete urinalysis and culture test. The number of urinary tract infections (UTIs) per year was recorded. If the urine culture test result was positive or the patient had previous urine culture tests, the colonizing bacterial type was evaluated. If a culture had  $\leq 80,000$  colonies/field, it was considered as colonization and was left untreated.

Neurological evaluation was also performed when possible. Patients with epilepsy were preoperatively administered escitalopram for 3 days to avoid seizures related to neuromonitoring unless they were already taking this drug. The number of preoperative and postoperative seizures and the number and type of anticonvulsants taken were also recorded.

A psychological evaluation was performed on all complying patients to identify situations that would be contraindicated for surgery and to provide support and recommendations for families and patients. In general, three sessions were performed, including two before surgery and one postoperatively.

Preoperatively, an anesthesiologist evaluated all patients 1 month before surgery and classified the patients according to the American Society of Anesthesiologists (ASA) physical status classification [17]. Preoperative temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), blood pressure (mm Hg), heart rate (bpm), and oxygen saturation (%) were also recorded.

Imaging evaluation was performed preoperatively, immediately postoperatively, and at 2-year follow-up and included full-length anteroposterior and lateral radiographs as well as preoperative bending and traction films to evaluate the curve flexibility. Radiographic parameters of interest included skeletal maturity assessed using the Risser scale, curve magnitude (Cobb angles), apical vertebral rotation assessed using the Raimondi method, pelvic obliquity (PO), cervical lordosis, thoracic kyphosis (TK), lumbar lordosis, pelvic incidence, sacral slope, pelvic tilt, sagittal vertical axis, T1 spino-pelvic inclination, and T9 spino-pelvic inclination (T9SPI) [18-20]. All measure-

ments were performed in Surgimap ver. 2.2.14.1 (Nemaris Inc., New York, NY, USA).

Details regarding the following intraoperative parameters were collected: blood pH, PCO<sub>2</sub> (partial pressure of carbon dioxide, mmH<sub>2</sub>O), PO<sub>2</sub> (partial pressure of oxygen, mmH<sub>2</sub>O), Ht/Hb, screw density, type of rod material, type of derotation technique, osteotomies, surgical time (from skin incision to the placement of the dressing), intraoperative bleeding, number of red blood cells (RBCs), plasma and platelet transfusions, and the use type and dosage of vasoactive drugs. Neuromonitoring data were analyzed regarding baselines, endlines, and any alerts.

Postoperative parameters evaluated in this study included length of stay (LOS) at each unit, admission to the intensive care unit (ICU) with or without mechanical ventilation, airway status (intubated or extubated), Ht, Hb, platelets, and C-reactive protein at postoperative days 1, 3, and 7. Postoperative transfusions were also evaluated. Postoperative bleeding was evaluated by measuring the drain output and the number of drain days.

Early complications were defined as complications that occurred in the perioperative period up to 12 months postoperatively. Complications classified after this time period were considered as late complications. Major complications were defined as those that pose a risk to the patient's life, and mechanical complications were any of those related to the osteosynthesis material.

## 2. Statistical analysis

Univariate analysis was conducted to compare patients who sustained a complication versus those who did not using a chi-square or a two-tailed Student *t*-test. Similar analyses were conducted for major and mechanical complications. Statistically significant parameters identified in the univariate analysis were then used in a binary logistic regression to examine the variables with the largest impact associated with the likelihood of developing complications. Statistical analysis was conducted using IBM SPSS ver. 19.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA), and the level of significance was set at 0.05.

## Results

### 1. Demographics

A total of 64 consecutive patients were included in this

**Table 2.** Primary diagnosis

Diagnosis	No. of frequency
<b>Neuropathics</b>	
<b>First motoneuron</b>	
Cerebral palsy	20
Chiari type I	4
Siringomyelia	3
Intradural tumors	2
Spinocerebellar ataxia	1
Spinal cord trauma	2
<b>Second motoneuron</b>	
Charcot–Marie–Tooth	1
Spinal atrophie type II	3
Congenital hypothyria	6
<b>Mixed</b>	
Tetherd cord	2
Myelomeningocele	8
<b>Myopathic</b>	
Duchenne syndrome	1
Central core disease	1
<b>Collagenopathies</b>	
Marfan syndrome	3
Ehler–Danlos syndrome	7

study, with a follow-up time of 24 months. The majority of cohort consisted of female patients (62.5%), with a mean age at surgery of 15 years (range, 8–25 years). Motor neuron pathologies accounted for 50% of the cohort, with cerebral palsy being the most common diagnosis in this group (Table 2).

In total, 51.6% of the patients were treated in the public system, and 48.4% were treated in the private system by the same surgical team and primary surgeon. Preoperative weight (mean, 45.49±44.48 kg) significantly increased (mean, 51.45±15.17 kg) at 2-year follow-up ( $p=0.030$ ), as did mean height (preoperative, 135.09±44.49 cm; 2-year follow-up, 148.74±33.81 cm;  $p<0.001$ ).

### 2. Complications

The mean complication rate was 44.4% (28 patients with 32 complications), and early complications accounted for 84.4% of all complications (Table 3). Among patients with complications, 7.7% had a surgical site infection (3.1%

**Table 3.** Complications

Complication	Rate (%)
Superficial infection	3.13
Deep infection	4.7
Occipital pressure sore	1.6
Bilateral pneumonia	4.7
Minor pneumothorax/atelectasis	4.7
Varicella	1.6
Intraoperative screw pullout repositioned during same surgery	1.6
Unidentified fever for 2 days	4.7
Incidental durotomy	3.13
Hypovolemic shock	4.7
Tongue biting	1.6
Postoperative convulsions	3.13
Paraparesis (complete recovery 3 weeks)	1.6
Postoperative paralytic ileum	1.6
Late complications	
Proximal screw pullout due to proximal junctional kyphosis	3.13
Pedicle fracture due to traumatic accident	1.6
Nonunion	3.13

superficial and 4.7% deep), and 4.7% were diagnosed with pneumonia. Vancomycin and amikacin were the most commonly used antibiotics in infected patients. Among patients with deep infection, one was diagnosed with varicella and received extended treatment with acyclovir. Two incidental durotomies were repaired during surgery without further complications.

Major complications were found in 49.9% of patients, with all complications occurring in the early period (i.e., before 1 year). Among these patients, three recuperated from hypovolemic shock, 9.4% were due to respire, and two patients had status epilepticus. There were no deaths in this series. Late complications were all mechanical in nature and observed in 7.8% of patients; two of these were nonunions requiring revision, and both were myelomeningoceles with sacroiliac nonunion and underwent anterior lumbar interbody fusion with good results.

In total, 63% of patients had normal baselines in the four extremities, and 8% had only readable somatosensory evoked potential (SSEP) and motor evoked potential (MEP) in the upper extremities. All other patients had either absent, altered, or incomplete lines in the upper and lower extremities. A total of 10 patients had intraoperative

neuromonitoring alerts, of which four were perfusion-related and spontaneously recuperated upon increasing the blood pressure, whereas two were minor alerts during detethering that recuperated immediately after the completion of this part of procedure. Among the remaining four alerts, three patients had a decrease in MEP in one lower extremity, primarily anterior tibialis and adductor hallucis longus with no clinical postoperative consequence, and one patient with Ehlers–Danlos syndrome had a complete loss of lower extremity SSEP and MEP. Partial improvement was observed after activation of the intraoperative protocol (<50% at final follow-up), but the patient woke up paraparetic (M2 right lower extremity and M3 left lower extremity), with complete recovery at 3 weeks.

### 3. Clinical evaluation

#### 1) Perinatal characteristics

In total, 78.5% of the mothers had normal pregnancies, 54.8% of deliveries where eutocic, 41.9% were C-sections, and 3.2% required the use of forceps. Delivery occurred at a mean of 37.9 weeks (range, 26–41 weeks), with a mean birth weight of 3,186 g (range, 1,040–4,280 g) and a mean size of 48.2 cm (range, 32–54 cm). Furthermore, 33.3% of patients had no perinatal pathologies. A prenatal diagnosis of pathology involving the central nervous system (myelomeningocele) was found in 14% of mothers. The most common perinatal conditions besides morphological alterations of the spinal canal (seven patients) were genopathies, prematurity, and perinatal pneumonias.

#### 2) Comorbidities

At least one comorbidity was found in 93.75% of patients, whereas 56% of them had three or more comorbidities, with a maximum of 10 comorbidities.

#### 3) Previous surgery

In total, 62.5% of patients had undergone previous surgeries, 46.9% had undergone fewer than three surgeries, and 15.7% had undergone more than four surgeries.

#### 4) Current health

A total of 73.8% of patients underwent surgery post menarche or voice change at a mean age of 12.8 years. Of those premenarchial patients, 17.7% had already undergone thelarche or displayed secondary sexual characteristics at a mean age of 10.27 years. No allergies were found in

70.8% of patients, whereas 18.5% were allergic to latex (all myelomeningocele cases), 4.6% were allergic to penicillin, and 3% had other allergies. There were no sports activities in 85.9% of patients, whereas 32.3% of them had undergone a previous treatment with a brace.

#### 5) Cardiac evaluation

No cardiac alterations were found in 73.4% of patients. Among those with morphological findings, the majority were mild tricuspid insufficiencies. Ejection fraction could be measured in only 15/64 patients, with the mean value being  $71.53\% \pm 14.78\%$ . Two patients had life-threatening malformations, including one patient who had a severe aortic dilatation with mitral valve reflux and cava dilatation with Marfan syndrome that required evaluation by a cardiothoracic surgeon; however, no cardiac surgery was recommended at that point and posterior spine fusion was subsequently authorized. The other patient had cardiac insufficiency due to cor pulmonale secondary to a  $144^\circ$  curve magnitude that required permanent digoxin to maintain cardiac function.

#### 6) Bronchopulmonary evaluation

Standard spirometry evaluation could be completed in 29.7% of patients, with the mean FEV1 being  $73.16\% \pm 17.58\%$ . Preoperatively, 60% of patients had more than three episodes of LRTI a year, of whom 15.6% required domiciliary nocturnal BiPAP. Postoperatively, 8.1% of patients presented with an LRTI, and the difference between the preoperative and postoperative number of LRTIs was significantly different ( $p < 0.000$ ).

#### 7) Urological evaluation

Recurrent lower UTIs before surgery were found in 21.5% of patients; 69% of these patients had three or fewer UTIs per year, whereas 31% had up to six UTIs per year. After surgery, the UTI prevalence was 12.5%, with 75% of these patients having fewer than three UTIs per year and 25% having up to five UTIs per year; this decrease was significantly different ( $p = 0.015$ ). In particular, 77.77% of the identified bacteria were Gram-negative.

#### 8) Neurological evaluation

Preoperatively, 15.6% of patients suffered from one to four seizures per month. Of these patients, 20% were under anticonvulsant treatment, with 54% being treated with valproic acid, and all of them were under multi-pharma-

cological treatment. Postoperatively, 6.3% of patients still experienced seizures but at a maximum rate of once per month ( $p = 0.007$ ).

#### 9) Psychological evaluation

Psychiatric evaluation was performed in 71.9% of patients, and no psychotic or personality disorders were diagnosed. Although all patients undergoing psychiatric evaluation exhibited anxiety symptoms, no surgery was suspended or rescheduled due to psychological pathology.

#### 10) Anesthesia

In total, 54.7% of patients had ASA 2, and 20.3% had ASA 3. Antibiotic prophylaxis with cefazolin was implemented in 96.6% of patients, whereas 3.4% received clindamycin. Vasoactive drugs were required to maintain hemodynamic stability in 34.4% of patients, of which phenylephrine was used in 25% of patients, epinephrine or norepinephrine in 28%, and 3% of them required the addition of dopamine.

#### 11) Surgical technique

A total of 833 levels were instrumented. Titanium rods were used in 54.7% of patients, and CrCo rods were used in 40.6% of patients. In three patients, one rod of each material was placed. Screw placement was primarily a low-density screw technique (in 72.6% of patients). In 29.6% of patients, the instrumentation was performed to the pelvis. In 53.1% of patients, the coplanar technique was used for derotation, whereas apical rotation was used in 46.9% of patients. Osteotomies were performed in 40% of patients; 81% of these were classified as Schwab 2 [21]. Eight patients were simultaneously detethered, and no postoperative fistulas were formed. The mean surgical time was  $217.4 \pm 90.7$  minutes.

#### 12) Surgical correction

A total of 69% of patients had Risser scale scores of III to V. The mean preoperative maximum Cobb angle was  $65.7^\circ \pm 25.5^\circ$ , and by  $11.2^\circ \pm 16.5^\circ$  and  $18.9^\circ \pm 12.7^\circ$ , respectively, on bending and traction films (both with  $p < 0.001$ ). The maximum Cobb angle was corrected to  $33.9^\circ \pm 23.6^\circ$  ( $p < 0.001$ ) postoperatively, with a slight loss of correction at 2 years ( $3.2^\circ \pm 8.3^\circ$ ,  $p = 0.026$ ). PO was also significantly corrected ( $p = 0.017$ ) and maintained at 2 years. In the sagittal plane, TK was significantly decreased from  $41.0^\circ \pm 28.5^\circ$  to  $34.1^\circ \pm 17.4^\circ$  ( $p = 0.015$ ), with no further change at 2-year follow-up (Table 4).

## 13) Bleeding

Operative laboratory parameters were normal in all patients, with a mean Ht/Hb of 40.35%/13.26 g/dL, which

decreased to 30.88%/10.51 g/dL during the surgery and stabilized at 28.64%/9.9 g/dL in the postoperative period and 30.16%/12.44 g/dL at discharge (Table 5). Total blood

**Table 4.** Pre- and postoperative radiographic measurements

Measurement	Preoperative	Postoperative	Correction	<i>p</i> -value	2-yr FU	% Correction at 2-yr FU	<i>p</i> -value
Max Cobb (°)	65.7±25.5	30.6±22.2	-33.9±14.2	<b>0.000</b>	33.9±23.6	3.2±8.3	<b>0.026</b>
Bending (°)	56.1±28.2	-	11.2±16.5	<b>0.000</b>	-	-	-
Traction (°)	50.91±25.9	-	18.9±12.7	<b>0.000</b>	-	-	-
Pelvic obliquity (°)	12.34±16.88	6.54±10.14	-3.5±10.2	<b>0.017</b>	6.3±8.7	0.3±6.8	0.772
Apical vertebral rotation (°)	18.9±12.5	10.5±11.1	-7.5±13.1	<b>0.000</b>	11.2±10.7	1.1±8.7	0.461
Lordosis cervical (°)	13.74±13.5	17.6±17.0	1.7±15.2	0.405	14.5±13.6	-5.2±16.3	<b>0.041</b>
Thoracic kyphosis (°)	41.0±28.5	34.1±17.46	8.4±24.5	<b>0.015</b>	33.8±19.57	0.9±9.3	0.507
Lordosis lumbar (°)	54.6±19.85	51.89±15.2	-3.9±15.28	0.066	49.1±16.1	-2.4±12.1	0.190
Sacral slope (°)	35.6±11.13	35.0±10.67	-2.1±6.7	0.836	34.0±8.1	0.5±6.1	0.821
Pelvic incidence (°)	46.1±21.56	48.9±16.0	-2.9±6.5	0.495	47.3±14.8	-1.0±6.2	0.533
Pelvic tilt (°)	13.2±11.62	13.87±10.3	-0.6±6.9	0.760	14.0±11.6	0.3±7.0	0.750
Sagittal vertical axis (mm)	26.75±39.3	28.8±46.5	2.4±59.8	0.766	34.0±39.8	5.1±50.0	0.493
T9SPI (°)	11.5±11.0	8.3±8.8	-2.9±12.2	0.085	9.1±7.5	-0.5±8.5	0.702
T1SPI (°)	2.0±6.8	3.4±7.0	1.3±7.9	0.206	5.1±5.1	1.7±8.8	0.303

Values are presented as mean±standard deviation. Bold type is considered statistically significant. FU, follow-up; SPI, spino-pelvic inclination.

**Table 5.** Laboratory parameters pre- to postoperative

Variable	Preoperative	Intraoperative	Postoperative	At discharge
Hematocrit (%)	40.35±3.49	30.88±4.85	28.64±4.8	30.16±4.11
Hemoglobin (g/dL)	13.26±1.4	10.51±1.58	9.9±1.74	12.44±12.52
Platelets (thousand/field)	273.610±72.23	-	-	-
Activated partial thromboplastin time (sec)	30.39±3.57	-	-	-
Prothrombin (%)	84.33±26.95	-	-	-
Glucose (mg/dL)	87.61±8.35	-	-	-
Blood urinary nitrogen (mg/dL)	14.43±4.72	-	-	-
Temperature (°C)	36.06±1.37	-	35.9±0.99	-
Medial arterial pressure (mm Hg)	110.31/63.34	-	102.61/57.07	-
Heart rate (bpm)	84.74±18.72	-	-	-
Saturation O <sub>2</sub> (%)	98.26±1.48	-	-	-
PH	-	7.35±0.09	-	-
PCO <sub>2</sub> (mmH <sub>2</sub> O)	-	41.67±7.9	-	-
PO <sub>2</sub> (mmH <sub>2</sub> O)	-	9.63±66.70	-	-
C-reactive protein day 1 (mg/L)	-	-	9.0±7.5	-
C-reactive protein day 3 (mg/L)	-	-	115.65±88.96	-
C-reactive protein day 7 (mg/L)	-	-	81.90±54.21	-

Values are presented as mean±standard deviation or number. PCO<sub>2</sub>, partial pressure of carbon dioxide; PO<sub>2</sub>, partial pressure of oxygen.

**Table 6.** Bleeding

Variable	Mean±standard deviation	Min–max
Intraoperative bleeding (mL)	938.89±668.016	150–4,000
Total drain debit (mL)	405.36±387.47	0–1,875
Total blood loss (mL)	1,423.21±866.35	175–4,425
Intraoperative transfusions	1.09±0.937	0–1
Postoperative transfusions	0.43±0.47	0–3

loss volume, including drain output, was 1,423.21±866.35 mL (Table 6). In 54.6% of patients, intravenous tranexamic acid (TXA) was used, and in 82.8% of patients, topical TXA was used (Table 7). Intraoperatively, 44 patients were transfused with RBCs, nine patients were transfused with platelets, and 14 patients were transfused with plasma. Postoperatively, 23 patients required RBC transfusions, and none required additional plasma or platelets (Table 6). Superficial drains were used in 48 patients, deep drains were used in 12 patients, and no drain was used in 16 patients. The mean number of days of drain use was 3.19 with a maximum of 7 days.

#### 14) Hospitalization

A total of 26.6% of patients were sent to the ICU while intubated, of whom eight were mechanically ventilated after detethering to avoid Valsalva maneuver. Another 32.3% of patients were sent directly to the intermediate care unit. The mean length of hospital stay was 3.5 days.

#### 4. Risk analysis

Patients with and without overall complications were compared using univariate analysis based on all the above-described preoperative, intraoperative, and postoperative parameters (Table 7). In terms of demographic data, there were no significant differences between patients with or without complications. The number of comorbidities was significantly higher in patients with complications (mean of 4.0 versus 2.5,  $p=0.009$ ).

Patients with complications were more likely to have a history of perinatal comorbidities ( $p=0.029$ ), independent of other comorbidities; no other perinatal parameters were statistically significant. The laboratory findings revealed that patients with complications had a significantly lower preoperative glycemia (84.7 versus 89.9 g/dL,  $p=0.016$ ).

Intraoperatively, patients with more number of complications had more levels instrumented ( $p=0.044$ ), longer surgical time ( $p=0.012$ ), presence of an all-screw construct ( $p=0.010$ ), absence of a deep drain ( $p=0.003$ ), or use of superficial drain ( $p=0.021$ ). Osteosynthesis material, simultaneous detethering, and use of osteotomies were not significant. Total bleeding was almost significant with a  $p$ -value of 0.065.

Patients with complications had a smaller preoperative PO ( $p=0.050$ ), smaller postoperative kyphosis ( $p=0.035$ ), larger flattening of TK ( $10.8^\circ\pm 27.7^\circ$  versus  $6.3^\circ\pm 21.6^\circ$ ), and higher postoperative T9SPI ( $p=0.043$ ) (Table 8).

In the multivariate logistic regression analysis, presence of comorbidities ( $p=0.026$ ; odds ratio [OR], 1.423), lower preoperative glycemia ( $p=0.003$ ; OR, 0.865), longer surgical time ( $p=0.020$ ; OR, 1.007), and absence of a deep drain ( $p=0.017$ ; OR, 0.124) were identified as independent predictors for the presence of complications. For major complications, the independent predictors were the number of levels fused ( $p=0.046$ ; OR, 1.311) and lower postoperative kyphosis ( $p=0.025$ ; OR, 1.074). Finally, a high screw density ( $p=0.014$ ; OR, 4.380) was the only independent predictor of mechanical complications.

## Discussion

The best defense against complications is to prevent them. In a study of 2,154 patients with neuromuscular scoliosis, the overall complication rate was 33.1%–40.1%, an unacceptable value for any surgical procedure [7,14], indicating that it is necessary to assess patients in advance to obtain all pertinent information that might impact a complication. Patient history must begin before the patient is even born, including the mother's pregnancy and birthing circumstances. We did not find any study analyzing the association between perinatal characteristics and complications; however, our findings support the importance of perinatal pathologies in the incidence of surgical complications in neuromuscular scoliosis. In a retrospective study that evaluated the cause of complications in 7,252 children with neuromuscular scoliosis aged >5 years, 59% of them were found to have more than four comorbidities, which correlated with a higher incidence of surgical complications [22]. Similarly, in our study, the presence of four or more comorbidities served as an independent predictor of complications.

Conditions strongly associated with longer hospital-

**Table 7.** Risk assessment for complications

Variable	Category	With complication	No complication	p-value
Demographic	Age (yr)	14.86±2.44	15.44±4.36	0.498
	Sex (male:female)	11:14	25:14	0.093
	Preop weight (kg)	45.06±14.88	45.93±16.90	0.840
	Preop size (cm)	148.8±15.4	146.7±19.14	0.730
	Hospital (public/private)	18/10	15/21	0.369
	No. of comorbidities	3.96±2.5	2.47±1.6	<b>0.009</b>
	Previous surgeries (yes/no)	19/9	21/15	0.302
	Thelarche age (yr)	9.75±2.5	10.57±1.13	0.464
	Menarche age (yr)	12.65±1.7	12.93±1.7	0.589
	Preop brace (yes/no)	12/16	9/27	0.107
	Allergies (yes/no)	8/20	10/26	0.320
	Ambulatory status (yes/no)	16/12	24/11	0.250
	No. of seizures (/mo)	0.5±1.2	0.28±0.9	0.390
	No. of UTI (/yr)	0.9±1.5	0.3±1.1	0.095
	No. of LRTI (/yr)	1.0±1.7	0.67±1.5	0.458
	No. of patients (ASA I/II/III)	4/17/7	12/18/6	0.207
	Perinatal	Birth weight (kg)	3.176±739	3194±596
Birth size (cm)		48.23±4.8	48.07±3.83	0.873
Delivery (wk)		37.62±2.9	38.17±2.6	0.436
Pathological pregnancy (normal/pathological)		6/31	6/20	0.273
Delivery (eutocic/c-section)		16/9	18/17	0.609
Perinatal pathology (no/yes)		14/13	28/8	0.029
Laboratory	Preop glycemias (mg/dL)	84.7±8.2	89.9±7.9	0.016
	Preop blood bitrogen (mg/dL)	15.75±5.0	13.4±4.3	0.055
	Hematocrit preop (%)	40.4±4.2	40.3±4.2	0.973/0.908
	Hemoglobin preop (g/dL)	13.3±1.8	13.27±1.1	-
Surgical	Rod material (titanium/CrCo/both)	19/7/2	16/19/1	0.074
	All screws/low density	23/5	24/12	<b>0.010</b>
	No. of instrumented levels	13.93±2.9	12.31±3.3	<b>0.044</b>
	LIV to pelvis (yes/no)	8/28	11/17	0.458
	Surgical technique (VCA/AD)	13/15	21/15	0.244
	Osteotomies Schawb (1–6)	0/11/2/0/0/0	0/11/2/1/0/0	0.592
	Simultaneous dethethering (yes/no)	4/24	4/32	0.495
	Surgical time (min)	245.0±80.2	189.7±86.7	<b>0.012</b>
	Bleeding (mL)	1,112±865	800±418	<b>0.065</b>
	Use of intravenous TXA (yes/no)	17/19	18/10	0.134
	Use of topical TXA (yes/no)	29/7	24/4	0.296
	No. of transfusions—red blood cells	3±2.0	1.75±1.2	0.123
	No. of transfusions—platelet	2.88±2.9	3.7±3.1	0.700
	Hematocrit (%)	27.6±5.7	29.5±3.9	0.170
Hemoglobine (g/dL)	9.5±2.0	10.23±1.4	0.092	

(Continued on next page)

**Table 7.** Continued

Variable	Category	With complication	No complication	<i>p</i> -value
	pH	7.3	7.3	0.578
	PO <sub>2</sub> (mmH <sub>2</sub> O)	111.9	86.5	0.298
	pCO <sub>2</sub> (mmH <sub>2</sub> O)	40.7	42.7	0.465
	Drain (superficial)	17	11	<b>0.021</b>
	Drain (deep)	10	18	<b>0.003</b>
	Intensive care unit	4.65	2.29	0.178
	Intensive treatment unit	3.16	1.26	0.108
	Medical-surgical unit	6.77	3.55	0.094
	Mechanical ventilation (yes/no)	7/18	7/26	0.578

Values are presented as mean±standard deviation or number, unless otherwise stated. Bold type is considered statistically significant.

Preop, preoperative; Postop, postoperative; UTI, urinary tract infections; LRTI, lower respiratory tract infections; ASA, American Society of Anesthesiologists; LIV, lower instrumented vertebra; VCA, vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation; TXA, tranexamic acid; PCO<sub>2</sub>, partial pressure of carbon dioxide; PO<sub>2</sub>, partial pressure of oxygen.

**Table 8.** Radiological parameters and their complication risk

Variable	Preoperative			Postoperative		
	With complications	Without complications	<i>p</i> -value	With complications	Without complications	<i>p</i> -value
Risser (0–V)	3/5/1/1/8/10	3/2/6/3/11/11	0.362	-	-	-
Curve magnitude (°)	69.7±27.7	62.3±23.3	0.271	34.8±22.6	26.9±21.7	0.186
Apical vertebral rotation (°)	19.7±14.3	18.2±10.8	0.668	12.3±12.4	9.1±10.0	0.301
Pelvic obliquity (°)	7.27±8.4	16.8±21.0	<b>0.050</b>	8.4±12.5	5.1±8.0	0.220
Cervical lordosis (°)	13.2±11.9	14.2±14.9	0.782	16.6±16.6	18.4±17.4	0.683
Thoracic kyphosis (°)	40.9±31.8	41.2±25.7	0.976	28.9±15.2	38.2±18.1	<b>0.035</b>
Lumbar lordosis (°)	53.4±22.8	55.7±17.0	0.670	49.4±14.2	53.8±15.8	0.267
Sacral slope (°)	37.4±11.0	34.1±11.2	0.265	36.1±11.8	34.2±9.8	0.491
Pelvic incidence (°)	49.9±20.4	43.16±22.3	0.230	45.9±14.5	48.4±15.1	0.815
Pelvic tilt (°)	16.04±11.8	10.9±11.2	0.085	13.6±13.4	14.3±10.4	0.565
Sagittal vertical axis (mm)	28.1±29.9	25.5±46.7	0.812	43.6±32.2	26.3±44.2	0.364
T9 spino-pelvic inclination (°)	10.4±11.6	12.4±10.6	0.505	10.4±6.8	8.2±8.0	<b>0.043</b>
T1 spino-pelvic inclination (°)	0.9±7.3	3.0±6.5	0.265	5.3±5.8	4.9±4.5	0.091

Values are presented as number or mean±standard deviation, unless otherwise stated. Bold type is considered statistically significant.

izations and readmission include bladder dysfunction, epilepsy, and chronic respiratory insufficiency [20]. Although our numbers do not support this completely, neurogenic bladder is also very common and predisposes to renal damage [23]. Wounds and dressings get easily contaminated with colonized urine, which increases the risk of infection and prevents the wound from healing. In our study, 35% of patients with myelomeningocele self-catheterized, and 54% had vesicoureteral reflux with UTI in the preoperative evaluation [23].

Two patients presented with seizures in the immediate postoperative period, with one patient having a past history of Rett syndrome. Interestingly, this increased the LOS in the ICU [24]. Hence, we recommend checking anticonvulsant plasmatic levels in advance.

A good preoperative evaluation and preparation is mandatory in patients with respiratory failure undergoing surgery. Patients who present with inadequate ventilatory mechanics due to hypotonicity, spasticity, or trunk shortening have a high incidence of pneumonia during

their lives at a rate of 8.0 for every 100 patients [25,26]. Importantly, our study findings support that the number of LRTIs in patients decreased to 51.9% after surgery. This decrease is significant as it is associated with important increases in the overall quality of life and life expectancy.

To expand more on the improvement of quality of life after surgery, our results disclosed significant decreases in the incidences of UTI, LRTI, and epilepsy after the surgery. These decreases relieve patients and parents of significant non-scoliosis-related issues; a stable spine allows for better hygiene, easier access to catheterization (leading to a decreased risk of developing UTIs), better ventilation and less gastroesophageal reflux, and therefore less incidence of LRTIs. We can only theorize regarding the significant decrease in seizures, but a vicious position is painful and stressful. We hypothesize that the relief caused by surgery probably diminishes the reactive threshold to trigger a seizure.

Cardiac sequelae stemming from neuromuscular pathologies include cardiac malfunctions due to primary myocardial alterations or collagen quality. High-magnitude curves are associated with increased deterioration of diastolic function. Due to the curve magnitude, the cardiac evaluation oftentimes may be incomplete. In one study, only 49.3% of patients were able to undergo an appropriate echocardiogram, with 33% of them undergoing surgery suffering from a minor cardiac-related complication after surgery [27]. In our patient series, 100% of them underwent an echocardiogram, but ejection fraction (EF) could be measured in only 23% of them. We did not find any correlation between the curve magnitude/rotation and the ability to measure the EF. Importantly, we found that curves  $>80^\circ$  were associated with an EF  $<60\%$ , thus providing further evidence of the importance of preventing neuromuscular patients from reaching such levels of deformity.

Myocardial stress correlates with poor nutrition, and poor nutrition has been shown to correlate with complications, poor surgical results, and greater length of hospital stay [28]. Due to hypotonia or spasticity, deglutition capacity is diminished and therefore serves as a significant obstacle to adequate weight gain [15]. Furthermore, we found that a lower preoperative glycemia is a predictor of complications, even if it is not in hypoglycemia levels. This point must be considered when scheduling surgeries as patients generally fast for long hours and reach the surgery at low glycemic levels. Conversely, obesity has

also been correlated with increased risk for complications in the literature. In our country, 60% of children are overweight or obese, which correlates with a higher complication rate, poor healing, and high levels of inflammatory mediators [28].

Nonambulatory patients have been reported to have a higher prevalence of postoperative complications [11]. We did not find this association in our study; however, all patients with myelomeningocele who had early complications were nonambulatory, whereas those with late complications were ambulatory. Potentially, mechanical loading is more important in ambulatory patients, and immobility predisposes nonambulatory patients to early complications.

Preoperative curve magnitude increased the risk for complications. Fusion to the pelvis, a higher number of levels, and a longer surgical time are associated with longer lengths of hospital stay [11,24]. Although we did not find an association between curve magnitude or rigidity and an increased risk for complications, we believe that this principle holds true, as rigid, bigger curves tend toward longer surgical times and more bleeding, and our study demonstrated that surgical time is a predictor of complications.

Poor or excessive reduction increases the risk for major complications. We found that excessive correction of kyphosis was a predictor of major complications and that unbalanced patients with higher T9SPI values were also at risk. We also found that rigid all-screw constructs predicted the presence of mechanical complications. These patients are typically osteoporotic, and reductions must be adequate and not perfect, as too much expectation may compromise the result of the surgery.

Although in this patient series osteotomies and detethering were not associated with the development of complications, Cognetti et al. [6] reported the opposite result. Considering that  $<20\%$  of the osteotomies included more than one column in our series, we believe that osteotomies increase the surgical time and bleeding and therefore correlate with a major complication-driven event. Detethering during the same surgical time does not add comorbidity; in a study performed on 3,682 pediatric patients who were detethered, there was no increase in the incidence of complications compared with patients undergoing scoliosis surgery without this added procedure [29].

Patients with neuromuscular scoliosis demonstrated

increased blood loss compared with their adolescent idiopathic scoliosis counterparts [30]. We found that the use of deep drains served as a protective factor for these patients. Therefore, we specifically recommend the use of deep drains in patients with myelomeningocele where dead space after closure remains an issue.

There were some uncommon complications in our patient series, which included small pox in a hospitalized, vaccinated patient, thereby demonstrating how immunosuppressed these patients are after such a major surgery. One patient also suffered a tongue laceration due to malpositioned buccal protection. This finding reveals that we must always be prepared for the unexpected.

Although quality of life measures were not a primary outcome for these children, a decrease in the rate of infections, better ability to eat, better ventilatory parameters, less pain, and a stable spine all make us consider surgery as an efficient method to improve the lives of both children and caretakers, despite the risk of complications.

Based on our study findings, we state that there are important factors that must be considered to reduce the probability of developing complications in patients with neuromuscular scoliosis. In the preoperative setting, obtaining a global patient history and developing a good preoperative plan that considers reduction in terms of established thresholds are key. Intraoperatively, achieving an adequate kyphosis with a balanced center of mass and a low PO, while at the same time decreasing the surgical time and blood loss, can further reduce the probability of developing complications.

## Conclusions

Complications in neuromuscular scoliosis are increased by perinatal comorbidities, long surgical times, and inadequate correction. Appropriate patient preparation and surgical planning are the preventive measures to decrease these complications.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## References

- Halawi MJ, Lark RK, Fitch RD. Neuromuscular scoliosis: current concepts. *Orthopedics* 2015;38:e452-6.
- Toll BJ, Samdani AF, Janjua MB, Gandhi S, Pahys JM, Hwang SW. Perioperative complications and risk factors in neuromuscular scoliosis surgery. *J Neurosurg Pediatr* 2018;22:207-13.
- Jalanko T, Helenius I, Pakarinen M, Koivusalo A. Gastrointestinal complications after surgical correction of neuromuscular scoliosis: a retrospective cohort study. *Scand J Surg* 2018;107:252-9.
- Matsumoto M, Miyagi M, Saito W, et al. Perioperative complications in posterior spinal fusion surgery for neuromuscular scoliosis. *Spine Surg Relat Res* 2018;2:278-82.
- Turturro F, Montanaro A, Calderaro C, Labianca L, Di Sanzo V, Ferretti A. Rate of complications due to neuromuscular scoliosis spine surgery in a 30-years consecutive series. *Eur Spine J* 2017;26(Suppl 4):539-45.
- Cognetti D, Keeny HM, Samdani AF, et al. Neuromuscular scoliosis complication rates from 2004 to 2015: a report from the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Neurosurg Focus* 2017;43:E10.
- Rumalla K, Yarbrough CK, Pugely AJ, Koester L, Dorward IG. Spinal fusion for pediatric neuromuscular scoliosis: national trends, complications, and in-hospital outcomes. *J Neurosurg Spine* 2016;25:500-8.
- Duckworth AD, Mitchell MJ, Tsirikos AI. Incidence and risk factors for post-operative complications after scoliosis surgery in patients with Duchenne muscular dystrophy: a comparison with other neuromuscular conditions. *Bone Joint J* 2014;96-B:943-9.
- Sharma S, Wu C, Andersen T, Wang Y, Hansen ES, Bunger CE. Prevalence of complications in neuromuscular scoliosis surgery: a literature meta-analysis from the past 15 years. *Eur Spine J* 2013;22:1230-49.
- Lonstein JE, Koop SE, Novachek TF, Perra JH. Results and complications after spinal fusion for neuromuscular scoliosis in cerebral palsy and static encephalopathy using luque galveston instrumentation: experience in 93 patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37:583-91.
- Master DL, Son-Hing JP, Poe-Kochert C, Armstrong DG, Thompson GH. Risk factors for major complications after surgery for neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36:564-71.
- Kang GR, Suh SW, Lee IO. Preoperative predictors of postoperative pulmonary complications in neuro-

- muscular scoliosis. *J Orthop Sci* 2011;16:139-47.
13. Modi HN, Suh SW, Hong JY, Cho JW, Park JH, Yang JH. Treatment and complications in flaccid neuromuscular scoliosis (Duchenne muscular dystrophy and spinal muscular atrophy) with posterior-only pedicle screw instrumentation. *Eur Spine J* 2010;19:384-93.
  14. Mohamad F, Parent S, Pawelek J, et al. Perioperative complications after surgical correction in neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop* 2007;27:392-7.
  15. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38(22 Suppl 1):S149-60.
  16. Edwards M. The Barker hypothesis. In: Preedy V, Patel VB, editors. *Handbook of famine, starvation, and nutrient deprivation*. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 191-211.
  17. Hurwitz EE, Simon M, Vinta SR, et al. Adding examples to the ASA-physical status classification improves correct assignment to patients. *Anesthesiology* 2017;126:614-22.
  18. O'Brien MF, Kuklo TR, Blanke KM, Lenke LG; Spinal Deformity Study Group. Radiographic measurement manual [Internet]. Milwaukee (WI): Scoliosis Research Society; 2008 [cited 2020 Aug 10]. Available from: <https://www.oref.org/docs/default-source/default-document-library/sdsg-radiographic-measurement-manual.pdf?sfvrsn=2&sfvrsn=2>.
  19. Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J* 2013;22:367-71.
  20. Hacquebord JH, Leopold SS. In brief: the Risser classification: a classic tool for the clinician treating adolescent idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res* 2012;470:2335-8.
  21. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery* 2014;74:112-20.
  22. Berry JG, Glotzbecker M, Rodean J, Leahy I, Hall M, Ferrari L. Comorbidities and complications of spinal fusion for scoliosis. *Pediatrics* 2017;139:e20162574.
  23. Ghorbanpoor M, Kajbafzadeh AM, Nejat F, Rahimi S. The incidence of upper urinary tract deterioration among Iranian neonates with spinal dysraphism. *Iran J Pediatr* 2018;28:e59680.
  24. Basques BA, Chung SH, Lukasiewicz AM, et al. Predicting short-term morbidity in patients undergoing posterior spinal fusion for neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2015;40:1910-7.
  25. Campbell RM Jr, Smith MD, Mayes TC, et al. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:399-408.
  26. Keskinen H, Lukkarinen H, Korhonen K, Jalanko T, Koivusalo A, Helenius I. The lifetime risk of pneumonia in patients with neuromuscular scoliosis at a mean age of 21 years: the role of spinal deformity surgery. *J Child Orthop* 2015;9:357-64.
  27. Saito W, Inoue G, Imura T, et al. The relationship between preoperative echocardiographic evaluation and spinal deformity in patients with neuromuscular scoliosis. *Spine Surg Relat Res* 2018;2:48-52.
  28. Canada NL, Mullins L, Pearo B, Spoede E. Optimizing perioperative nutrition in pediatric populations. *Nutr Clin Pract* 2016;31:49-58.
  29. Bhimani AD, Selner AN, Patel JB, et al. Pediatric tethered cord release: an epidemiological and postoperative complication analysis. *J Spine Surg* 2019;5:337-50.
  30. Patel SB, Griffiths-Jones W, Jones CS, et al. The current state of the evidence for the use of drains in spinal surgery: systematic review. *Eur Spine J* 2017;26:2729-38.

# Vertebral Coplanar Alignment Technique Versus Bilateral Apical Vertebral Derotation Technique in Neuromuscular Scoliosis


Global Spine Journal

1-9

© The Author(s) 2021

Article reuse guidelines:  
[sagepub.com/journals-permissions](http://sagepub.com/journals-permissions)  
 DOI: 10.1177/2192568221992313  
[journals.sagepub.com/home/gsj](http://journals.sagepub.com/home/gsj)



Karen A. Weissmann, MD<sup>1,2</sup> , Carlos Barrios, MD, PhD<sup>3</sup> ,  
 Virginie Lafage, PhD<sup>4</sup>, Renaud Lafage, MSc<sup>4</sup> , Marcelo A. Costa, MD<sup>5</sup>,  
 Diego Álvarez, MD<sup>6</sup>, Carlos M. Huaiquilaf, MD<sup>6</sup>, Bryan Ang, MD<sup>7</sup> ,  
 and Ronald G. Schulz, MD<sup>5</sup>

## Abstract

**Study Design:** Single-center retrospective analysis of prospectively collected data.

**Objective:** Our aim was to compare the correction capacity in 3 planes of the VCA technique versus the AD technique in neuromuscular scoliosis patients.

**Methods:** We analyzed patients with neuromuscular scoliosis that underwent posterior spinal fusion from 2013 to 2017 using 2 different techniques for correction: vertebral coplanar alignment (VCA) that takes into consideration the fact that the medial cortex is more resistant than the lateral cortex, with more anchor points for better distribution of forces and ligamentotaxis and the more widely spread apical derotation (AD) technique. Clinical, surgical, and radiographic information of patients operated on with the AD technique were compared to those operated on with the VCA technique in the coronal, sagittal and axial plane at pre-op, immediate post-op, and 2 year follow-up.

**Results:** 64 patients met inclusion criteria, 34 patients underwent the VCA technique and 30 patients underwent the AD technique. The 2 cohorts did not differ in terms of demographics, clinical presentation or preoperative alignment. There were no significant differences in the correction ability between both techniques regarding curve magnitude, apical vertebral rotation, or pelvic obliquity. There was a significant decrease in thoracic kyphosis in the AD group compared to the VCA group in the immediate postop period ( $4.2 \pm 26.6^\circ$  for VCA and  $13.2 \pm 21.3^\circ$  for AD ( $p = 0.048$ )).

**Conclusion:** Both apical derotation technique and vertebral coplanar alignment allow for correction in the 3 planes for patients with neuromuscular scoliosis. VCA is a less hypokyphosing technique than AD.

## Keywords

vertebral coplanar alignment, apical derotation, neuromuscular scoliosis

<sup>1</sup> School of Doctorate, Valencia Catholic University Sant Vincent Martyr, Valencia, Spain

<sup>2</sup> Department of Orthopedics and Traumatology, University of Chile, San Miguel, Región Metropolitana, Chile

<sup>3</sup> Institute for Research on Musculoskeletal Disorders, Valencia Catholic University Sant Vincent Martyr, Valencia, Spain

<sup>4</sup> Department of Orthopedic Surgery, Hospital for Special Surgery, New York, NY, USA

<sup>5</sup> Redsalud, Santiago, Chile

<sup>6</sup> Hospital Exequiel González Cortés, Redsalud, Santiago, Chile

<sup>7</sup> Weill Cornell School of Medicine, New York, NY, USA

## Corresponding Author:

Karen A. Weissmann, MD, School of Doctorate, Valencia Catholic University Sant Vincent Martyr, Valencia, Spain; Department of Orthopedics and Traumatology, University of Chile, Area Sur. Gran Avenida Jose Miguel Carrera, 3100, San Miguel, Región Metropolitana, Chile.

Email: [kweissmann@mail.ucv.es](mailto:kweissmann@mail.ucv.es); [kweissmannm@uchile.cl](mailto:kweissmannm@uchile.cl)



Creative Commons Non Commercial No Derivs CC BY-NC-ND: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-NoDerivs 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) which permits non-commercial use, reproduction and distribution of the work as published without adaptation or alteration, without further permission provided the original work is attributed as specified on the SAGE and Open Access pages (<https://us.sagepub.com/en-us/nam/open-access-at-sage>).

## Introduction

Patients with neuromuscular deformity represent a challenging population to treat. As such, determining the correct surgical plan can oftentimes be complex given the multitude of variables to consider, ranging from clinical (i.e. ventilatory function, comorbidities) to biomechanical (i.e. pelvic obliquity, curve magnitude and rigidity, bone quality, sitting balance).<sup>1,2</sup> Currently, no clear patterns of neuromuscular curvatures have been described in the literature and there remains a lack of consensus on the best technique to achieve a balanced posture.

In the setting of neuromuscular scoliosis, a surgeon has multiple corrective techniques at his or her disposal to select from. The use of traction, either preoperatively or intraoperatively, has been previously reported in patients with high grade curves.<sup>3</sup> Combined approaches have a role in correction when treating patients with rigid curves<sup>4</sup> and permit better control of pelvic obliquity; however, they are also associated with increased OR time and EBL.<sup>3</sup> The posterior-only approach on the other hand has been associated with fewer complications and thus remains the preferred technique for a majority of spine surgeons.

Suk et al. first brought attention to 3-dimensional correction for adolescent idiopathic scoliosis in 2011 with his description of the apical derotation technique in achieving vertebral derotation.<sup>5</sup> This technique takes advantage of long screws and aims at manipulating and translating the vertebrae anteriorly. The derotation torque is applied at the same time to both sides of the vertebra, forcing its position against the convexity. Although not specifically indicated, this technique has successfully been applied in the treatment of neuromuscular scoliosis as well<sup>1</sup>

Another strategy for 3D correction is the vertebral coplanar alignment (VCA) technique, which takes into consideration aspects of vertebral anatomy that the apical derotation techniques does not. Because the medial cortex of the vertebral body is wider and more resistant than the lateral cortex,<sup>2</sup> this allows for more anchor points during derotation for a better distribution of forces. Furthermore, VCA takes advantage of the fact that children have stronger ligaments and more elastic bones by relying on this strong attachment to guide correction.<sup>3</sup> By relocating the normal coplanar axis into a single plane, translation and derotation can be achieved in one gesture.<sup>4</sup>

### Aim

The objective of this study was to compare the 3D corrective ability of the vertebral coplanar alignment (VCA) technique with that of the apical derotation (AD) technique in the setting of pediatric patients with neuromuscular scoliosis.

## Material and Method

### Study Design

Following approval by the institutional review board (IRB), a retrospective analysis of prospectively collected data was

performed on patients with neuromuscular scoliosis that underwent posterior spinal fusion at our hospital from 2013 to 2017. Inclusion criteria consisted of neuromuscular scoliosis or collagenopathy patients, age 25 or younger, who underwent a posterior-only approach. Exclusion criteria included patients who underwent revision surgery as well as the presence of any growing rods. All procedures were performed by the same surgeon.

### Data Collection

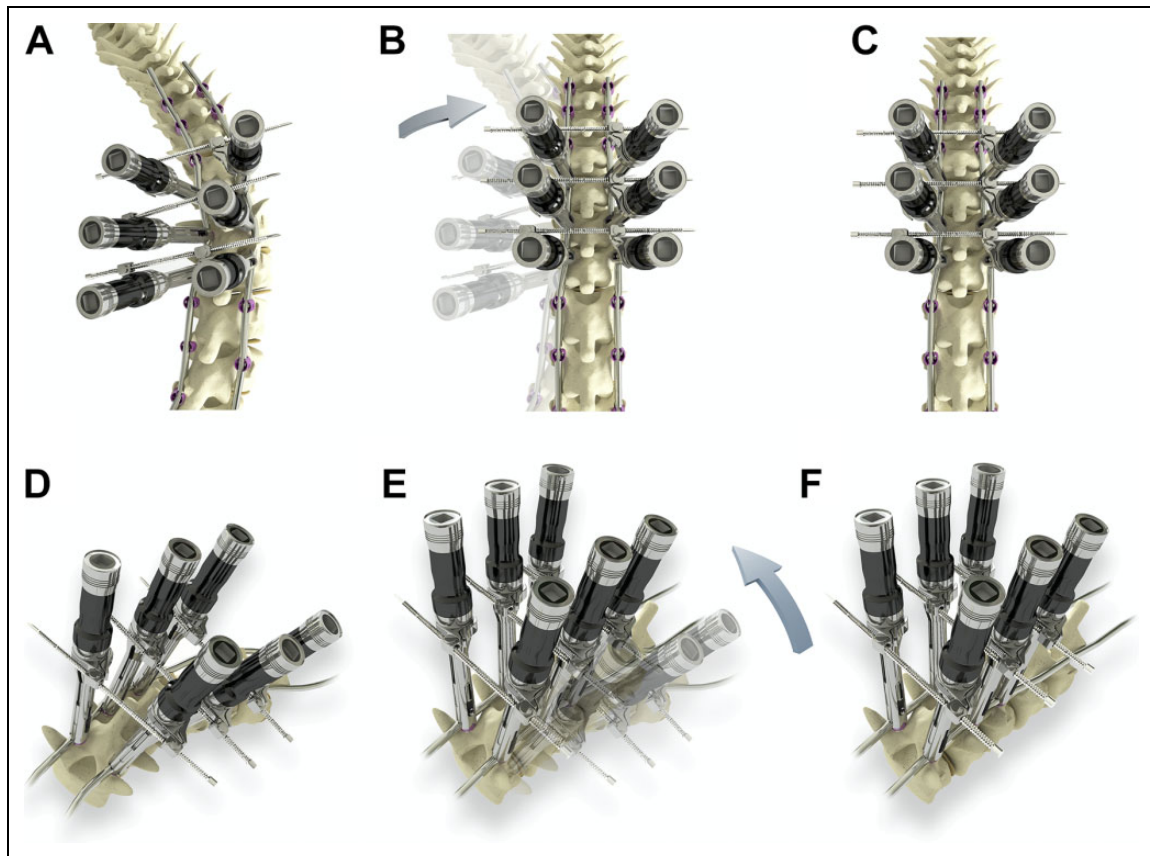
Demographics such as age, gender, diagnosis, and comorbidities were collected from the electronic medical records. Full length radiographs were collected in anteroposterior (AP), lateral, traction, and bending films at preop, in the immediate postoperative period and at 2-year follow-up. Coronal plain films were used to determine each patient's Risser classification, coronal Cobb angle for each curve (proximal thoracic [PT], thoracic/thoracolumbar [T/TL], and lumbar curve<sup>6</sup>), pelvic obliquity (defined as the angle between both iliac crests and the horizontal) and apical vertebral rotation (AVR) as measured by the Raimondi method.<sup>7</sup> Sagittal parameters included cervical lordosis (CL), thoracic kyphosis (TK), lumbar lordosis (LL), sacral slope (SS), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), sagittal vertebral axis (SVA), T9 spino-pelvic inclination (T9Spi) for evaluation of the gravitational center, and T1Spi for assessment of global sagittal alignment. All measurements were performed using Surgimap 2.2.14 (Nemaris Inc, New York, NY). Flexibility of the main curve was assessed on traction and bending x-rays; the coronal surgical correction of the main curve was evaluated by the pre- to post changes in Cobb angles as well as the difference between bending/traction Cobb angles and the corresponding postoperative Cobb angle.

### Preoperative Evaluation

Preoperative cardiopulmonary status of these patients were assessed by a cardiologist with a bidimensional echocardiogram and by a pulmonologist with spirometry when possible. The American Society of Anesthesiologist (ASA) Physical Status classification system was used to further characterize each patient's operative risk.<sup>8</sup> Anesthesia protocol consisted of total intravenous anesthesia (TIVA). No pre-operative traction was used in these patients.

### Surgical Technique

Under Neuromonitoring and radioscopy, patients were first positioned prone on the operating table. A total facetectomy was then performed to help in freehand screw placement.<sup>9</sup> Screws were either in an "all-screws" construct, or in a "zigzag" distribution (i.e. 4 screws at both ends of the construct, then one screw per vertebra on alternate pedicles). Osteotomy types ranged from Schwab type 2 to 5.<sup>10</sup> Patients were assigned to 1 of 2 surgical techniques (apical derotation or vertebral coplanar alignment technique) by osteosynthesis



**Figure 1.** Maneuvers of the Apical Derotation Technique (AD). a: After rod placement, tubes are placed on the apical vertebrae both in the convexity and the concavity; b: bilateral derotation of the apical vertebrae toward the convexity is performed; c: final position of the spine where the inners are tightened; d: Oblique view of the spine with apical tubes; e: derotation maneuver in oblique view. f: final position of the spine in oblique view.

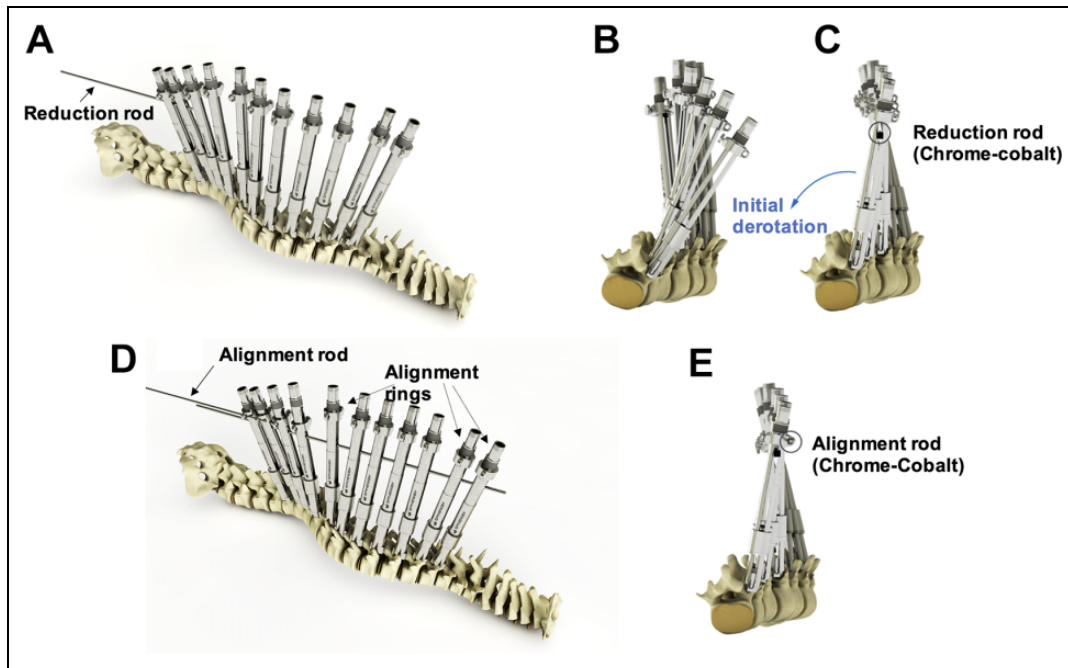
material availability. Both techniques have been described in the literature.<sup>5,11</sup> The apical derotation technique (AD) consisted of bilateral rotation of the apical vertebrae toward the convexity, after the rods have been already placed, addressing only the apex of the deformity (Figure 1),<sup>12</sup> while the vertebral alignment technique (VCA) aimed at providing a simultaneous 3D correction by inserting a pre-bent rod through pre-aligned slotted tubes (Figures 2 and 3). For grafting, osteoconductors and local bone were used. Wound closure was performed in 4 stages; drains were placed deep and superficial when an osteotomy was performed and only superficial when the spinal canal was left intact.

### Post-Operative

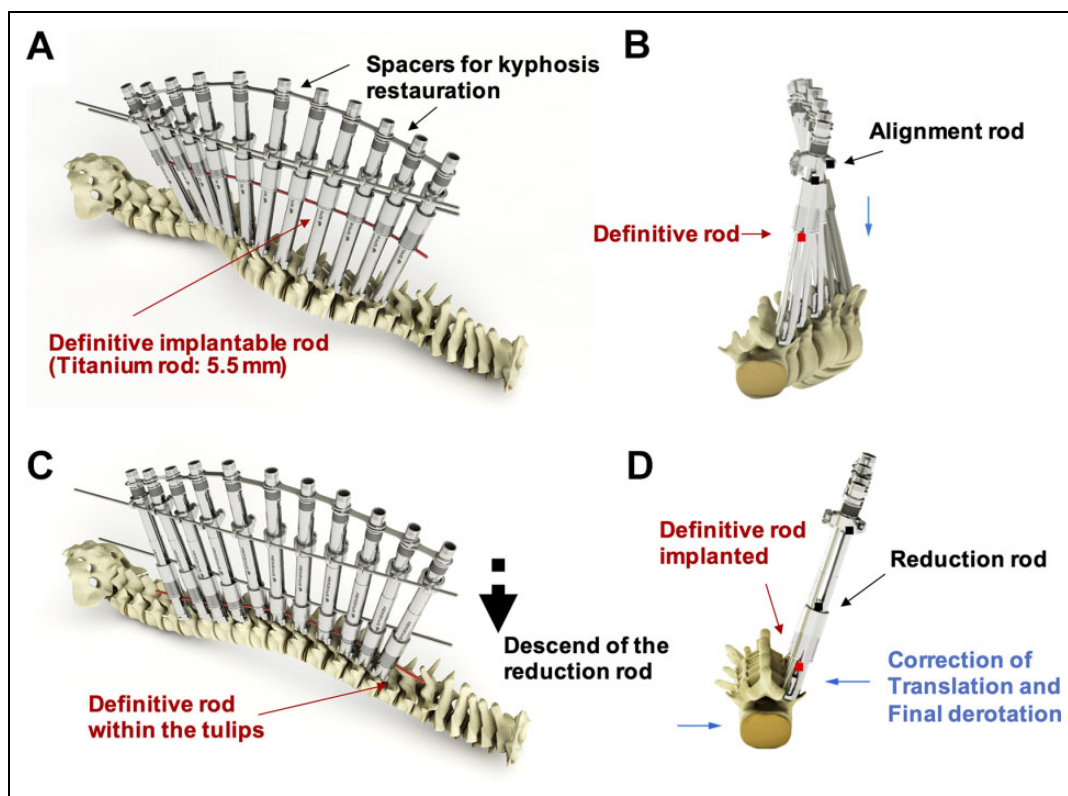
All patients remained at least 24 hours in a critical care unit, with patient controlled analgesia (PCA). Those undergoing simultaneous cord de-tethering remained in mechanical ventilation for 24 to 48 hours in order to avoid Valsalva maneuvers. Patients were administered antibiotics for the duration that they had a drain in place. Patients were discharged when no opioids were required for analgesia.

### Statistical Analysis

Descriptive statistics were used to describe overall demographic, surgical, and radiographic metrics for both cohorts. The distribution of the parameters was then evaluated with a Kolmogorov-Smirnov test, and the 2 groups were compared using either unpaired t-test or Mann-Whitney U test as appropriate. Operative data such as numbers of levels fused, surgical time, estimated blood loss, hardware material, and neuromonitoring was collected and compared between derotation techniques. Use of a drain, length of stay, and discharge location were also compared using Chi-square and Fisher exact test. Correction potential for each technique was compared using the same process previously described. Loss of correction at 2 year follow-up was also assessed between the 2 techniques by subtraction of the 2 year follow-up value from the immediate postoperative value for coronal, sagittal and axial parameters. Finally, a sub-analysis to determine the ability to maintain kyphosis was done by stratifying the patient's preoperative thoracic kyphosis in 3 groups (< 20°, 20-50°, >50°) and evaluating the difference between pre and post-operative kyphosis. Statistical analysis was performed using SPSS 20.0 (IBM, Chicago, IL, USA) and  $p < 0.05$  was considered statistically significant.



**Figure 2.** Maneuvers of the Vertebral Coplanar Alignment (VCA). a: Detail of the insertion of the first rod (reduction rod) into the slotted tubes for alignment of the upper end of the tubes; b: axial view before insertion of the reduction rod; c: An initial derotation of the vertebral bodies is obtained once the insertion of the reduction rod is completed; d: insertion of the alignment rod into the lateral alignment rings; e: axial view of the final configuration.



**Figure 3.** a: restoration of the physiologic kyphosis by spreading the distal ends of the tubes in the thoracic spine using different-sized spacers; the definite implantable rod is inserted below the reduction cylinders; b) axial view of the construct; c) progressive descend of the rods by pushing down the reduction rod; when the definite rod is located within the tulips, all pedicles are aligned in the same plane; d: axial view after the descend of the definite rod that permit correction of spine translation and final derotation.

## Results

### Preoperative Evaluation

Out of the 64 patients included, 40 were females, with a mean age of 15 years old (8 to 25 years old). The most common diagnosis was Cerebral Palsy (N = 20) (Table 1). Comorbidities were present in 94.1% of patients in the VCA group with a mean of 2.5 comorbidities per patient, and 96.5% for the apical derotation with a mean of 3.8 comorbidities per patient (p = 0.015). On average, patients in the VCA group were 10 kg heavier (p = 0.025) than those in the AD group. There were no other significant differences in demographics or preoperative lab values between cohorts (Table 2).

**Table 1.** Distribution of Neuromuscular Diseases.

Diagnosis	VCA	AD	
Neuropathics	n (%)	n (%)	total
<i>First Motoneuron</i>			
Cerebral palsy	11	9	20
Chiari type I	2	2	4
Siringomyelia	2	1	3
Intradural tumors	2		2
Spinocerebelar ataxia		1	1
Spinal cord trauma	1	1	2
<i>Second Motoneuron</i>			
Charcot-Marie-Tooth		1	1
Spinal atrophy type II	1	2	3
Congenital hypophonia	2	4	6
<b>Mixed</b>			
Tetherd cord	1	1	2
Myelomeningocele	3	5	8
<b>Myopathic</b>			
Duchenne syndrome		1	1
Central core disease	1		1
<b>Syndromic</b>			
Marfan syndrome	1	2	3
Ehler-Danlos syndrome	4	3	7

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation.

**Table 2.** Demographics, Anthropometric Prolife, and Preoperative Characteristics of the 2 Groups.

Characteristic	Coplanar n = 34	AD n = 30	p-value
Age (years)	15.65	14.67	0.285
Sex (F/M)	22/12	18/12	0.703
Height (cm)	150 ± 17	145 ± 18	0.398
Weight (kg)	50.5 ± 17	40.7 ± 13	<b>0.020</b>
Menarche (age)	13	12.6	0.361
Perinatal comorbidities (%)	23.5	44.8	0.064
Comorbidities (n°/patient)	2.5	3.8	<b>0.015</b>
Active ambulatory status (%)	73.5	51.7	0.063
Previous use of brace (%)	32.4	33.3	0.935
ASA I, II, III (%)	26.5/55.9/17.6	23.3/53.3/23.3	0.487
Risser (mean)	3.50	3.17	0.801

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation; ASA, American Society of Anesthesiology Physical Classification System.

### Preoperative Radiographic Presentation

The highest magnitude curve had a mean Cobb angle of 64.8 ± 24.6° for VCA and 66.9 ± 26.9° for the AD group (p = 0.758). The AVR of this curve was 19.2 ± 13.7° for the VCA group and 18.6 ± 11.2° for the AD group (p = 0.878). The AD group had a significantly larger (p = 0.036, Table 2) but less rigid (Table 3) proximal thoracic curve. The AD group had significantly higher values for PI and SS than the VCA group (Table 2).

### Clinical and Surgical Outcomes

The average number of levels instrumented was 12.56 for the coplanar group, and 13.53 for AD group (p = 0.229). Surgical time did not differ between the groups and averaged 198.4 minutes for the VCA, and 203 minutes for the AD (p = 0.384). There was no significant difference in the type of rod material used, type of screw placement, number and type of osteotomy, or additional maneuvers between the 2 groups (Table 4). Two patients in the coplanar group and 6 in the apical derotation group underwent detethering during surgery. There were no dural fistulas in these patients.

The estimated blood loss (EBL) was 938.9 mL with a maximum of 4,000 mL. There was no significant difference between the surgical techniques in terms of EBL (1,041 mL in VCA, and 827 mL in AD group, p = 0.265), postoperative hematocrit/hemoglobin, number of transfusions needed, or use of vasoactive drugs (Table 5).

Analysis of neuromonitoring revealed that 74% of patients in the coplanar and 50% in the Apical derotation group had normal baseline motor and Somatosensitive evoked potentials. VCA had 3 intraoperative neuromonitoring alerts, while AD had 7 alerts (p = 0.106); these alerts resolved before the end of the surgery with a mild decrease in correction maneuvers. One case in the AD group had postoperative unilateral paresis that resolved 3 weeks after the surgery.

Drains remained for 3.5 days in the VCA group and 2.9 days in AD groupe (p = 0.169). Drain output for both groups was not statistically different (p = 0.305) with 452.4 mL for VCA patients and 352.07 mL for AD.

Averaged hospitalization time was 10.5 days; there was no significant difference between both groups regarding length of stay (p = 0.789 for ICU (Intensive care unit), p = 0.928 for ITU (Intermediate care unit), p = 0.518 for MQ (Medico-surgical)) (Table 5).

At 2 year follow-up, the difference in weight was maintained (p = 0.025).

### Post-Operative Alignment

The analysis of the pre to post changes (i.e. correction) by group revealed significant differences in coronal alignment except for pelvic obliquity for both groups (p = 0.056 for VCA, and p = 0.109 for AD) and AVR of the proximal and distal curves for the VCA group. At immediate post-op (Table 6), the

**Table 3.** Preoperative Radiological Parameters for the Coplanar (VCA) and Apical Derotation (AD) Groups.

		Preop		p value*
		VCA mean $\pm$ SD	AD mean $\pm$ SD	
<b>Major Curve</b>	Coronal Cobb**	64.8 $\pm$ 24.6	66.8 $\pm$ 26.9	0.758
	Max Bending	60.7 $\pm$ 27.3	51.3 $\pm$ 29.1	0.346
	Bending Flexibility	6.6 $\pm$ 18.5 (7%)	16.1 $\pm$ 12.7 (29%)	0.076
	Max Traction	54.1 $\pm$ 25.3	47.2 $\pm$ 27.0	0.455
	Traction Flexibility	18.4 $\pm$ 13.6 (26%)	19.4 $\pm$ 11.7 (33%)	0.828
	Max Rotation	19.2 $\pm$ 13.7	18.6 $\pm$ 11.2	0.878
<b>Sagittal profile</b>	Pelvic Obliquity	7.7 $\pm$ 9.4	12.5 $\pm$ 21.1	0.879
	Thoracic Kyphosis	37.3 $\pm$ 28.5	45.6 $\pm$ 28.4	0.290
	Lumbar Lordosis	56.4 $\pm$ 19.7	52.5 $\pm$ 20.2	0.472
	Sacral Slope	33.9 $\pm$ 9.1	39.2 $\pm$ 10.5	<b>0.050</b>
	Pelvic Incidence	46.2 $\pm$ 11.5	57.3 $\pm$ 18.5	<b>0.008</b>
	Pelvic Tilt	13.2 $\pm$ 9.9	16.2 $\pm$ 12.9	0.390
	SVA	29.4 $\pm$ 34.2	23.1 $\pm$ 45.2	0.592
	T9Spi	11.8 $\pm$ 10.3	11.1 $\pm$ 12.1	0.834
	T1Spi	2.7 $\pm$ 6.1	1.3 $\pm$ 7.0	0.444

\*unpaired t-test \*\*Cobb: Highest magnitude curve, Max Rotation: Apical vertebral rotation for the curve with the biggest magnitude, Max Bending and MaxTraction: Dynamic measures for the biggest curve magnitude, used to determine curve flexibility. VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation.

**Table 4.** Additional Surgical Tools Used in the 2 Groups.

Technique	VCA	Apical Derotation	p value*
<b>Rod (%)</b>	Ti:62	Ti:47	0.440
	Mixed: 2.9	Mixed: 6.7	
	CrCo:35.1	CrCo:46.3	
<b>Screw Placement (%)</b>	All Screws: 32.4	All Screws: 20	0.512
	ZigZag: 67.7	ZigZag: 80	
<b>Osteotomies (%)</b>	Schwab 2: 32.3	Schwab 2: 33	0.386
	Schwab 3: 8.8	Schwab 3: 3.3	
		Schwab 5: 3.3	
		Schwab 6: 3.3	
<b>Compression and Distraction (%)</b>	Concavity Distraction: 29.4	Concavity Distraction:10	0.323
	Convexity Compression:5.8	Convexity Compression:3.3	
	Both:23.5	Both:36.7	
	End gesture:20.6	End gesture: 20	
	No gesture:20.6	No gesture:30	

\*Chi-square test.

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation.

maximum Cobb angles were corrected by  $34.6 \pm 13.2^\circ$  for the VCA and  $33.2 \pm 15.6^\circ$  for AD patients ( $p = 0.721$ ), AVR correction was  $7.8 \pm 14.4^\circ$  in the VCA group and  $7.1 \pm 11.8^\circ$  for AD ( $p = 0.335$ ). There were no significant differences in the correction ability between both techniques for each curve regarding curve magnitude, AVR or pelvic obliquity ( $p = 0.978$ ). In the sagittal plane, there was a significant difference in the amount of flattening of the thoracic kyphosis in the immediate post-op period, with the VCA group losing  $4.2 \pm 26.6^\circ$  and the AD losing  $13.2 \pm 21.3^\circ$  ( $p = 0.048$ ). At 2 year follow-up, the AD group lost significantly more correction than the VCA for this parameter ( $p = 0.046$ ). The rest of the correction in the sagittal parameters was not significant

between the 2 techniques. The stratification by preoperative thoracic kyphosis revealed no significant changes in thoracic kyphosis for the hypokyphotic ( $<20^\circ$ ) and normokyphotic curves ( $20-50^\circ$ ), whereas the hyperkyphotic patients ( $>50^\circ$ ) had a significant flattening of thoracic-kyphosis at immediate postop (50.2%,  $p = 0.000$ ). There was a significant correlation between preoperative kyphosis and correction percentage ( $p = 0.000$ , RR 0.763) for the whole cohort, as well as for both groups individually (VCA:  $p = 0.000$ , RR 0.841, AD:  $p = 0.000$ , RR = 0.665). The analysis of maintenance of correction at 2-years (50% follow-up) demonstrated a small but significantly greater loss of thoracic kyphosis for the AD group ( $3.7^\circ$  vs  $-1.8^\circ$ ,  $p = 0.046$ ).

**Table 5.** Intra and Postoperative Parameters of the 2 Groups.

Parameter	VCA	Apical Derotation	p value*	p value**
Bleeding (ml)	1040.9 ± 772.9	826.7 ± 519.6	0.265	
Post op Ht (%)	28.5 ± 5.0	28.9 ± 4.7	0.777	
Post op Hb (grs/dl)	10.0 ± 1.6	9.8 ± 1.8	0.585	
RBC transfusions (%patients)	86.4	86.4		0.681
Platelet transfusion (%patients)	50	37.5		0.415
Plasma transfusions (%patients)	76.9	60		0.635
Drain (days)	3.5 ± 1.3	2.9 ± 1.5	0.237	
Discharge Ht (%)	29.5 ± 3.6	30.6 ± 4.5	0.393	
Discharge Hb (grs/dl)	10.4 ± 1.3	13.7 ± 15.8	0.682	
ICU (days)	4.1 ± 7.2	2.7 ± 2.0	0.789	
ITU (days)	2.8 ± 4.8	1.6 ± 1.3	0.928	
MQ (days)	4.9 ± 7.7	5.0 ± 5.0	0.518	
Deep/Superficial (%)	79.4/20.6	70/16.7		0.281/0.470
Neurologic alerts (%)	8.8	23.3		0.106

\*Unpaired t test; \*\* Chi-square test.

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation; Ht, hematocrit; Hb, hemoglobin; RBC, red blood cell; ICU, intensive care unit; ITU, intensive therapy unit; MQ, medico-surgical unit.

**Table 6.** Comparison of Immediate Postoperative Alignment and Correction (i.e. Change From Pre- to Post-op).

		Immediate postop correction			Change from pre-op to post-op				
		VCA	AD	p**	VCA	p (VCA)*	AD	p (AD)*	p**
<b>Major Curve</b>	Max Cobb	27.7 ± 20.2	33.7 ± 24.3	0.321	-34.6 ± 13.2	0.000	-33.2 ± 15.6	0.000	0.721
	Max AVR	10.6 ± 12.2	10.3 ± 10.1	0.618	-7.8 ± 14.4	0.009	-7.1 ± 11.8	0.007	0.335
<b>Sagittal profile</b>	Pelvic Obliquity	4.1 ± 7.5	9.4 ± 12.1	0.065	-2.7 ± 7.2	0.056	-4.4 ± 12.8	0.109	0.978
	Thoracic Kyphosis	33.9 ± 17.1	30.4 ± 25.1	0.890	4.2 ± 26.6	0.403	13.20 ± 21.3	0.005	0.048
	Lumbar Lordosis	51.7 ± 11.3	52.1 ± 18.9	0.904	-4.6 ± 17.6	0.173	-3.1 ± 12.4	0.219	0.736
	Sacral Slope	31.0 ± 8.6	39.5 ± 11.1	0.002	-2.34 ± 6.8	0.077	-3.6 ± 3.2	0.584	0.192
	Pelvic Incidence	43.3 ± 11.8	55.4 ± 17.8	0.003	-1.9 ± 6.5	0.118	-0.48 ± 3.3	0.480	0.316
	Pelvic Tilt	12.5 ± 7.6	15.5 ± 12.7	0.225	-0.4 ± 6.4	0.731	0.7 ± 4.6	0.474	0.483
	SVA	29.3 ± 41.8	35.0 ± 51.4	0.288	-9.0 ± 44.5	0.282	15.76 ± 75.5	0.857	0.13
	T9Spi	9.7 ± 7.3	6.7 ± 10.1	0.188	-1.9 ± 9.26	0.273	-4.1 ± 17.8	0.431	0.525

\*paired t-test within group \*\* unpaired t-test between the VCA and AD group.

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation.

## Complications

38.2% of the patients in the coplanar groups and 50% in the apical derotation group had complications ( $p = 0.244$ ). Late complications were seen in 7.8% of the patients. There were 2 cases of proximal junctional kyphosis within each group. One patient suffered a pedicle fracture secondary to a fall. There were 2 cases of non-union that required revision surgery, both in patients with myelomeningocele who failed at the lumbosacral junction (Table 7).

## Discussion

Neuromuscular scoliosis patients have different needs than AIS patients. The goal of surgical treatment in neuromuscular scoliosis is to obtain a solid foundation through a balanced spine, subsequently leading to better ventilation, deglutition and a reduction in pain. In this study, we demonstrated that both the VCA and AD techniques are efficient in correcting the coronal

and axial planes, but the global approach offered by the VCA technique allows for the maintainance of thoracic kyphosis and places less stress on the apex of the curve.

Apical derotation has been for many years the first technique to consider the concept of axial rotation in addition to rod rotation and translation.<sup>5</sup> However, when describing the concept of apical derotation, Suk et al. never took into account the globality of the spine,<sup>5</sup> instead applying corrective forces directly to the apex of the vertebra.<sup>12</sup> In this technique, the rod is first forced into the screws before the derotation forces are applied, thus the rod has already been flattened and as only the apex is derotated, the rest of the rod is already fixed into the spine's established pattern. VCA proposes a more indirect approach as it distributes forces across the entirety of the spine, thus including all vertebrae in the process. This translates into less torque being applied at one point of the rod, reducing the degree of rod flattening. Additionally, in osteoporotic patients, this more harmonious distribution of forces could prevent screw pullout and pedicular fractures.

**Table 7.** Complications for VCA and AD Groups.

Complication	VCA	AD	Total
<b>Intraoperative</b>			
Incidental durotomy	1	1	3.13%
Occipital pressure sore	1	0	1.6%
Intraoperative screw pullout	1	1	3.13%
repositioned during same surgery			
Hypovolemic shock	2	2	6.35%
Tongue biting	1	0	1.6%
<b>Early Postoperative period</b>			
Superficial infection	2	0	3.13%
Deep infection	1	1	3.13%
Bilateral Pneumonia	1	1	3.13%
Minor pneumothorax/Atelectasis	1	3	6.25%
Varicella	1	0	1.6%
Unidentified fever for 2 days	0	3	4.7%
Post op convulsions	0	2	3.13%
Paraparesis	1	1	3.13%
(complete recovery 3 weeks)			
Postoperative paralytic ileum	0	1	1.6%
<b>Late complications</b>			
Proximal screw pullout due to PJK	2	1	4.7%
Pedicle fracture due to traumatic accident	1	0	1.6%
Nonunion	0	2	3.13%
Total	16	19	54.6%

VCA indicates vertebral coplanar alignment; AD, apical derotation.

Studies by Di Silvestre et al. and He et.al demonstrated that VCA had a higher potential to correct main thoracic curves<sup>13,14</sup> versus AD techniques in AIS patients. However, it is important to note that the curves in AIS patients tend to be more flexible than those with neuromuscular scoliosis; in the study by He et al., the flexibility for the major curve in AIS patients was found to be 43%. In our current study on neuromuscular scoliosis patients with much more rigid curves, we found that both AD and VCA attained a similar degree of correction in the coronal and axial planes. Correction capacity in the coronal plane is achieved by a combination of natural curve correction that occurs when the patient is placed in prone positioning along with the overall efficacy of the surgical technique.

In AIS, apical vertebral rotation correction is important as non instrumented levels usually compensate for this rotation with an increase in curve magnitude. The correcting ability of AD has been reported between 25-60%<sup>12,15</sup> while the correcting ability of VCA has ranged between 52.9-56.1%.<sup>11,14</sup> In the current study, both techniques obtained slightly less than 50% of correction in the apical vertebral rotation, with no statistical difference in their derotation capacity. It is possible that baseline spasticity plays an important role in the rigidity seen in neuromuscular scoliosis patients and that once this factor is eliminated during anesthesia, curve correction can be achieved to comparable levels that are seen in AIS patients with more flexible spines. This must be taken into consideration when planning future surgeries for patients with neuromuscular scoliosis as they may not require as aggressive of correction maneuvers that their low preoperative curve flexibility might suggest.

VCA in AIS patients results in increased thoracic kyphosis for hypo-kyphotic patients and no changes for the normo-kyphotic and hyper-kyphotic patients.<sup>11,14</sup> In the current study, both the patients receiving VCA and those receiving AD achieved a satisfactory thoracic kyphosis by the end of the procedure. Following stratification by preoperative thoracic kyphosis, only the hyper-kyphotic group demonstrated flattening of thoracic kyphosis. This was an expected result of the surgical strategy since the use of posterior osteotomy aims at reducing the degree of thoracic kyphosis for these patients. Interestingly, while both techniques seem adequate in terms of final postoperative thoracic kyphosis, the VCA group had significantly less flattening of the kyphosis with almost 10° of difference when compared to the AD group. This appears to be the main benefit of the VCA technique, as loss of kyphosis remains one of the biggest issues in pediatric deformity patients.<sup>11</sup> Limiting hypokyphosis is advantage in neuromuscular patients as most of them already have restrictive ventilatory patterns and diminishing kyphosis might further affect their ventilatory capacity.

Complications were similar in both groups. Although not statistically significant, we reported a larger number of neuromonitoring events for the apical derotation maneuver (7 alerts for AD vs 3 alerts for VCA). Future studies should investigate this concept further as the AD technique places significantly more stress in the most rigid part of the curve and thus may portend a higher potential for major neuromonitoring complications.

The study was limited to a single center with a single surgeon which may affect the generalizability of our results. Additionally, the study's sample size was relatively small and may have implications on the results and overall power of the study. Lastly, the heterogeneity of the rod material may have affected our results, but importantly there was no statistically significant difference in rod composition between the 2 groups. Despite these limitations, this study is unique and informative in regard to comparing the efficacy of the VCA and AD techniques in treating neuromuscular scoliosis. To our knowledge, this is the first study that compares 2 different surgical techniques for apical derotation in neuromuscular scoliosis. It shows the ability of VCA to obtain good coronal and axial correction without significant loss of thoracic kyphosis.

## Conclusion

Both apical derotation technique and vertebral coplanar alignment allow for correction in the 3 planes in patients with neuromuscular scoliosis. VCA is a novel approach for surgical correction of neuromuscular scoliosis as it is a less hypokyphosing technique than AD. Both are valid techniques for correcting neuromuscular scoliosis patients.

## Consent to Participate

Retrospective study

## Consent for Publication

Yes

## Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared the following potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article. Karen Weissmann, M.D.: Consultant fees from Orthopediatrics, Medyssey and Helico. Virginie Lafage, PhD: Royalties: Nuvasive Inc., Consultant Globus Medical, Inc., Speaking and/or Teaching Arrangements: DePuy Synthes, Implanet. Carlos Barrios, M.D. PhD: No conflict of interest. Renaud Lafage MSc: Nemaris: Stock-option. Marcelo A. Costa M.D.: No conflict of interest. Diego Alvarez M.D.: No conflict of interest. Carlos M. Huaiquilaf M.D.: No conflict of interest. Bryan Ang.: No conflict of interest. Ronald G. Schulz M.D.: No conflict of interest.

## Ethics Approval

This project was presented to the ethics committee of the southern area of out city (Memo 383/2019, MAT: 66-19082019)

## Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

## ORCID iDs

Karen A. Weissmann, MD  <https://orcid.org/0000-0003-4263-6704>  
 Carlos Barrios, MD, PhD  <https://orcid.org/0000-0002-6657-7246>  
 Renaud Lafage, MSc  <https://orcid.org/0000-0002-4820-1835>  
 Bryan Ang, MD  <https://orcid.org/0000-0002-4174-997X>

## References

1. Modi HN, Suh SW, Song HR, Yang JH, Jajodia N. Evaluation of pelvic fixation in neuromuscular scoliosis: a retrospective study in 55 patients. *Int Orthop*. 2010;34(1):89-96. doi:10.1007/s00264-008-0703-z
2. Hong JY, Suh SW, Easwar TR, Hong SJ, Yoon YC, Kang HJ. Clinical anatomy of vertebrae in scoliosis: global analysis in four different diseases by multiplanar reconstructive computed tomography. *Spine J*. 2013;13(11):1510-1520. doi:10.1016/j.spinee.2013.06.047
3. Caine D, Purcell L. The exceptionality of the young athlete. In: Caine D, Purcell L (eds) *Injury in Pediatric and Adolescent Sports. Epidemiology, Treatment and Prevention*, Vol. 1. In: Micheli LJ (ed) *Contemporary Pediatric and adolescent sports Medicine*, Vol. 27, 1st ed. Springer; 2016:248. doi:10.1007/978-3-319-18141-7
4. Vallespir GP, Flores JB, Trigueros IS, et al. Vertebral coplanar alignment: a standardized technique for three dimensional correction in scoliosis surgery: technical description and preliminary results in Lenke type 1 curves. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008; 33(14):1588-1597. doi:10.1097/BRS.0b013e3181788704
5. Suk SI. Pedicle screw instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis: the insertion technique, the fusion levels and direct vertebral rotation. *Clin Orthop Surg*. 2011;3(2):89-100. doi:10.4055/cios.2011.3.2.89
6. Expert Panel on Pediatric I. Kadom N, Palasis S, et al. ACR Appropriateness criteria((R)) suspected spine trauma-child. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(5 S):S286-S299. doi:10.1016/j.jacr.2019.02.003
7. Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J*. 2013;22(2): 367-371. doi:10.1007/s00586-012-2564-9
8. Hurwitz EE, Simon M, Vinta SR, et al. Adding examples to the ASA-physical status classification improves correct assignment to patients. *Anesthesiology*. 2017;126(4):614-622. doi:10.1097/ALN.0000000000001541
9. Kim YJ, Lenke LG. Thoracic pedicle screw placement: free-hands technique. *Neurology India*. 2005;53(4):512-519.
10. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery*. 2014;74(1): 112-120; discussion 120. doi:10.1227/NEU.0000000000000182o
11. Barrios C, Lajara JM, Mazeau P, et al. Satisfactory restoration of thoracic kyphosis in Lenke I AIS curves using bilateral vertebral coplanar alignment: an international multicenter experience. *Spine Deform*.2020;8(3):469-479. doi:10.1007/s43390-020-00067-8
12. Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(3):343-349. doi:10.1097/01.brs.0000109991.88149.19
13. Di Silvestre M, Lolli F, Bakaloudis G, Maredi E, Vommaro F, Pastorelli F. Apical vertebral derotation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis: myth or reality? *Eur Spine J*. 2013;22(2):313-323. doi:10.1007/s00586-012-2372-2
14. He S, Bao H, Zhu Z, et al. Vertebral coplanar alignment technique: a surgical option for correction of adult thoracic idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2016;25(2):417-423. doi:10.1007/s00586-015-4080-1
15. Steib JP, Dumas R, Mitton D, Skalli W. Surgical correction of scoliosis by in situ contouring: a detorsion analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(2):193-199. doi:10.1097/01.BRS.0000107233.99835.A4