

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені О.О.Богомольця

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

РОГОЗИНСЬКИЙ ВАЛЕНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 616.711-007.24-053.2-089.12

ДИСЕРТАЦІЯ
ВИКОРИСТАННЯ ГАЛО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТРАКЦІЇ ПРИ
ХІРУРГІЧНОМУ ЛІКУВАННІ СКЛАДНИХ
ДЕФОРМАЦІЙ ХРЕБТА У ДІТЕЙ

Галузь знань 22 «Охорона здоров'я»
Спеціальність 222 «Медицина»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.О.Рогозинський

Науковий керівник – Левицький Анатолій Феодосійович, доктор медичних
наук, професор

Київ – 2022

АНОТАЦІЯ

Рогозинський В.О. Використання гало-гравітаційної тракції при хірургічному лікуванні складних деформацій хребта у дітей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 222 Медицина. Галузь знань 22 Охорона здоров'я. – Національний медичний університет імені О.О.Богомольця, Київ, 2022.

Зміст анотації

Складні сколіотичні деформації у дітей ($>100^\circ$) за даними сучасної літератури складають від 0,12 % до 1,7 % серед інших сколіотичних деформацій хребта. Сучасна хірургічна практика одномоментної корекції складних сколіотичних деформацій хребта включає використання остеотомій Ponte та Vertebral Column Resection (VCR), що збільшує можливість корекції деформації, але й збільшує ризик неврологічних ускладнень, об'єму інтраопераційної крововтрати. Визначення «складної деформації хребта» залишається нечітким, але в більшості публікацій його визначають як деформацію, що перевищує 100° . Гало-гравітаційна тракція (ГГТ) є безпечною та ефективною методикою для попереднього коригування складних деформацій хребта до проведення корекції в обсязі - задньої інструментації хребта.

Гало-гравітаційна тракція (ГГТ) є безпечною методикою, оскільки у світовій літературі описані ускладнення у вигляді розхитування штифтів або поверхневі інфекції шкіри навколо штифтів, які є несуттєвими та не загрожують життю пацієнта. Застосування ГГТ зменшує час хірургічного втручання, інтраопераційну крововтрату та дає змогу поліпшити вентиляційну функцію легень, а це, в свою чергу, сприяє зниженню ризиків смертності внаслідок легеневої недостатності в дорослому віці.

Метою дослідження є покращення результатів хірургічного лікування складних сколіотичних деформацій хребта у дітей шляхом вдосконалення

раціональної тактики та методик гало- гравітаційної тракції. Поліпшити показники вентиляційної функції легень за рахунок попереднього застосування ГГТ у пацієнтів зі складними деформаціями хребта; встановити ефективний і безпечний алгоритм лікування складних деформацій хребта в дітей з респіраторними дисфункціями. Зниження ризиків неврологічних ускладнень, зниження інтраопераційної крововтрати.

На підставі мети були сформовані наступні **завдання дослідження**:

Завдання дослідження:

1. Провести системний аналіз наукової літератури щодо сучасних тенденцій існуючих технологій використання гало-гравітаційної тракції в системі хірургічної корекції складних сколіотичних деформацій хребта у дітей.

2. Розробити математичну модель «хребет – система гало- гравітаційної тракції» та провести дослідження методом скінченних елементів розподілу в ній внутрішніх напружень під час витягіння.

3. Вдосконалити та впровадити в клінічну практику нові підходи до використання гало-тракційної тракції в системі хірургічного лікування складних сколіотичних деформацій хребта у дітей.

4. Дослідити функцію зовнішнього дихання у хворих зі складними деформаціями хребта при використанні гало-гравітаційної тракції.

5. Оцінити результати етапного хірургічного лікування з використанням гало-гравітаційної тракції у пацієнтів зі складними деформаціями хребта та контрольної групи пацієнтів.

За даними проведеного аналізу літературних джерел було визначено, що двоетапне лікування важких сколіотичних деформацій хребта з використанням гало-гравітаційної тракції дають позитивні результати після проведення хірургічної корекції, але ефективність, методологія та віддалений прогноз при застосуванні гало-гравітаційної тракції у пацієнтів зі складними сколіотичними деформаціями хребта до цього часу залишається дискусійним питанням.

Було проведено математичне моделювання розподілу напружень в системі «гало-гравітаційна тракція – хребет» при різних кутах деформації методом скінченних елементів.

За результатами моделювання можна зробити наступні висновки: при лікуванні ригідних деформацій хребта у дітей з кутом деформації $>100^\circ$ з використанням системи гало-гравітаційної тракції доведено ефективність даної методики, однак максимальне рекомендоване навантаження не має перевищувати 50% маси тіла пацієнта; при деформації хребта більше 70° , найбільш напруженими є блок хребців T2-T5 розробленої нами математичної моделі; максимальне значення напруги за Мізесом 33 Мпа, що не є критичним для кісткової тканини з точки зору міцності, але зі збільшенням навантаження удвічі, рівень напруженого стану підвищиться також удвічі і може перевищити межу міцності кісткової тканини.

Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при різних кутах сколіотичної деформації показав, що при всіх величинах сколіотичної деформації хребта найбільш напруженими є хребці Th4 та Th5 розробленої нами математичної моделі. У задньому опорному комплексі максимальне значення напружень знаходяться у місцях входу гвинтів у кістку. Математичне моделювання заднього спондилодезу показало, що при великих кутах деформації $>100^\circ$ напруга може призводити до руйнування кісткової тканини хребців і для зменшення цього впливу необхідно проводити додаткові заходи.

Для вирішення задач клінічних досліджень було проаналізовано хід та результати лікування 76 пацієнтів від 7 до 17 років зі складними сколіотичними деформаціями хребта, які проходили лікування в клініці кафедри дитячої хірургії Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (на базі хірургічних відділень НДСЛ «ОХМАТДИТ» м. Київ) в період з 2009 по 2019 р.р. Пацієнти були поділені на дві групи дослідження: I (група дослідження) – 38 дітей ($11,0 \pm 2,8$) роки, яких лікували з використанням гало-гравітаційної тракції з використанням розробленої

тактики етапного хірургічного лікування; II (контрольна група) – 38 дітей ($11,2 \pm 2,8$) роки, яким виконували одномоментну хірургічну корекцію.

Гало-гравітаційну тракцію у пацієнтів I групи починали з мінімальної ваги від 2 до 4 кг, поступово доводячи до 50 % від маси тіла пацієнта, максимальна вага досягалась протягом перших 8 - 12 діб після початку використання ГГТ. Тривалість витяжіння не перевищувала 8 тижнів залежно від мобільності хребта. Динаміку зменшення деформації відмічали по сегментах хребта після 1, 2, 4, 6 та 8 тижнів витяжіння. За результатами аналізу доведено, що найбільш ефективний термін гало-гравітаційної тракції склав 6 тижнів. Середній відсоток корекції деформації при накладанні сили у 40% ваги становив ($30,3 \pm 13,3$) %, що статистично значущо ($p=0,042$) менше, ніж при накладанні сили у 50% ваги – ($39,4 \pm 13,3$) %.

Після гало-гравітаційної тракції у дітей статистично значущо ($p<0,001$) зменшився кут деформації в середньому на ($36,5 \pm 14,9$)°, що становить ($34,0 \pm 14,1$)% корекції деформації. У дітей до 13 років спостерігали зменшення кута деформації в середньому до ($67,6 \pm 14,7$)°, у дітей старше 14 років – до ($85,9 \pm 18,2$)°.

Пацієнтам, у яких використовували гало-гравітаційну тракцію проводили контроль функції дихання до та після закінчення витяжіння. До ГГТ у всіх пацієнтів відмічалось порушення вентиляційної функції легень, після проведення ГГТ у 6 (23,1 %) дітей відмічали нормальну вентиляцію легень, у 18 (69,2 %) дітей – 1-у ступінь порушень, й у 2 (7,7%) дітей – 2-гу ступінь порушень вентиляції легень.

До хірургічного лікування у I групі кут фронтальної деформації в середньому становив ($71,5 \pm 16,5$)° (від 41° до 106°), у II групі - ($106,1 \pm 4,5$)° (від 100° до 117°).

У пацієнтів I групи отриманий після ГГТ кут сколіотичної деформації (($71,5 \pm 16,5$)°) був статистично значущо ($p<0,001$) меншим, ніж в II групі (($106 \pm 4,5$)°).

Хірургічне лікування сколіозу доцільне при викривленні більше ніж 40° за методом Собба, і це пов'язано з тим, що викривлення більше за 40° прогресують навіть після завершення росту скелету.

Різниця у величині сколіотичної деформації до лікування між групами не було ($p=0,113$). Після лікування кут деформації, як показано вище, у дітей I групи ($44,4\pm 15,3$) $^\circ$ значущо ($p<0,001$) був меншим, ніж у дітей II групи ($56,9\pm 14,2$) $^\circ$, хоча зменшення деформації хребта були статистично значущими ($p<0,001$) в обох групах. При цьому загальний відсоток корекції деформації в результаті лікування у дітей I групи ($59,4\pm 13,1$) % був статистично значущо ($p<0,001$) більшим, ніж у дітей II групи ($46,6\pm 12,3$) %.

Застосування запропонованого нами методу лікування сколіотичної деформації з використанням гало-гравітаційної тракції першим етапом дозволило значущо покращити результати корекції. Застосування нашого методу лікування не тільки значущо ($p<0,001$) зменшує деформацію хребта, але й помітно збільшує величину хірургічної корекції.

Незалежно від протоколу лікування кращі результати при корекції сколіотичної деформації були у дітей молодше 14 років.

Кут деформації, який підлягає хірургічній корекції, впливає на тяжкість та тривалість оперативного втручання, відповідно й на крововтрату. Крововтрата в I групі ($1044,7\pm 245,7$) мл статистично значущо менша, ніж у пацієнтів II групи – ($1292,1\pm 334,8$) мл. При хірургічній корекції сколіотичної деформації менше 100° крововтрата ($1025,0\pm 235,9$) мл статистично значущо ($p<0,001$) менша, ніж крововтрата при корекції деформації більше за 100° ($1297,5\pm 327,8$) мл.

Найбільшу частоту неврологічних ускладнень відмічали в момент встановлення гвинтів – 19 (25 %) пацієнтів та при виконанні остеотомії – 16 (21 %) пацієнтів, і хоча у пацієнтів з попередньої ГГТ кількість неврологічних ускладнень при виконанні окремих етапів було менше, різниця не сягала статистично значущого рівня ($p>0,05$). В найближчому післяопераційному періоді у пацієнтів відмічали транзиторний неврологічний дефіцит: в I групі

– у 2 (5,3 %), в II групі – у 10 (26,3 %) ($p=0,012$). У 1 хворого II групи неврологічні ускладнення спостерігали і у більш віддалені терміни.

Перед оперативним втручанням у пацієнтів I групи відмічали статистично значущо ($p<0,001$) кращі показники ФЖЄЛ (в середньому на $(19,0\pm 2,1)$ %), та ОФВ1 – на $(20,3\pm 2,4)$ %. Відмітимо, що після хірургічної корекції показники функції дихання змінювалися в групах однаково на 7 – 10 %.

За даними аналізу не було виявлено значущої різниці у розподілі порушень в групах після хірургічної корекції деформації хребта. У пацієнтів повністю зникли важкі ступені вентиляційних порушень, але у більшості пацієнтів обох груп відмічали 2-гу ступінь порушення. Різниці у розподілі вентиляційних порушень по групах не виявлено ($p=0,528$). Таким чином, можна обґрунтовано стверджувати, що двоетапна корекція сколіотичної деформації, веде до помітно кращих результатів.

Хірургічне лікування з використанням VCR остеотомій пов'язане з високим ризиком неврологічних ускладнень на різних етапах, через це проведення інтраопераційного моніторингу є обов'язковим.

Оптимізація комплексу етапної корекції складних деформацій хребта у дітей забезпечує зниження частоти ускладнень, рецидивів та покращує функціональні результати лікування. Застосування ГГТ дає змогу поліпшити результати остаточної корекції деформації хребта, а це значно покращує вентиляційну функцію легень, що, в свою чергу, знижує ризики смертності внаслідок легеневої недостатності. Показанням до проведення ГГТ є ригідна деформація хребта з кутом деформації $>100^\circ$. Застосування першим етапом ГГТ у лікуванні складних деформацій хребта дає змогу збільшити мобільність хребта і поступово адаптувати спинний мозок до подальшої корекції, що зменшує ризики неврологічних ускладнень після хірургічного лікування, скорочує час втручання та об'єм крововтрати, дає змогу отримати кращі результати корекції. Вибір обсягу хірургічного втручання проводиться, враховуючи анатомічні та функціональні критерії.

Наукова новизна одержаних результатів

В роботі вперше розроблено математичну модель «хребет – система гало-гравітаційної тракції» та проведено дослідження методом кінцевих елементів розподілу у ній внутрішніх напружень під час витягіння. Результатами математичного моделювання стала низка уявлень про розподіл напруження в системі «хребет– система ГГТ» при різних варіантах навантаження.

Вперше доведено ефективність використанням гало- гравітаційної тракції першим етапом хірургічної корекції в порівнянні із одномоментною корекцією складної сколіотичної деформації за рахунок зменшення інтраопераційної крововтрати, зниженню ризиків неврологічних розладів та покращенню функції зовнішнього дихання.

Вперше розроблено раціональну тактику етапності та ваги для гало-гравітаційної тракції, що підтверджений за рахунок математичного моделювання.

ВИСНОВКИ:

1. За проведеним аналітичним оглядом літератури було визначено, що у пацієнтів з деформаціями хребта $>100^\circ$ ефективною методикою хірургічного лікування є використання гало- гравітаційної тракції першим етапом, що дає можливість зменшити ризики інтраопераційних ускладнень, зменшити час хірургічного втручання та покращити результати хірургічної корекції.

2. За результатами проведеного математичного моделювання методом скінченних елементів системи “хребет – система гало-гравітаційної тракції» було визначено: при лікуванні ригідних деформацій хребта у дітей з кутом деформації $>100^\circ$ з використання системи гало-гравітаційної тракції доведено ефективність даної методики, однак максимальне рекомендоване навантаження має не перевищувати 50% маси тіла пацієнта; при деформації хребта більше 70° , найбільш напруженими є блок хребців T2-T5; максимальне значення напруги за Мізесом 33 МПа не є критичним для кісткової тканини з

точки зору міцності, але зі збільшенням навантаження удвічі, рівень напруженого стану підвищиться також у два рази і може перевищити межу міцності кісткової тканини.

Аналіз напружено-деформованого стану моделі «хребет – система заднього спондилодезу» при різних кутах сколіотичної деформації показав, що при всіх величинах сколіотичної деформації хребта найбільш напруженими є хребці Th4 та Th5. У задньому опорному комплексі максимальне значення напружень знаходяться у місцях входу гвинтів у кістку. Математичне моделювання заднього спондилодезу показало, що при великих кутах деформації можливе руйнування хребців і для зменшення цього впливу необхідно проводити додаткові заходи.

3. Оптимальним терміном проведення гало-гравітаційної тракції є 6 тижнів з поступовим накладанням сили витягіння від 2-4 кг до 40-50% ваги пацієнта впродовж 8-12 діб. Помітні зміни зазвичай починаються з 4 тижня витягіння, а на 5-6 тиждень відмічали максимальний рівень корекції, який сягав 30%. Найбільш оптимальною є сила витягіння у 50 % від ваги тіла, при цьому зменшення деформації в середньому сягає $(39,4 \pm 13,3)$ %.

4. Доведено, що при проведенні гало-гравітаційної тракції у пацієнтів значущо ($p=0,031$) покращується функція дихання. Після проведення ГГТ у пацієнтів відмічали значущо ($p<0,001$) збільшення показника ФЖЄЛ до 82 % (до ГГТ – 48 %), показник об'єму форсованого видиху (ОФВ1) збільшився до $(76,5 \pm 4,4)$ % ($p<0,001$). Показники пацієнтів I групи (після ГГТ) перед хірургічним лікуванням мали статистично значущо кращі показники функції дихання, ніж пацієнти II групи

5. При етапному лікуванні дітей основної групи відмічалось зменшення деформації до $(44,4 \pm 15,3)^\circ$, що значущо ($p<0,001$) менше, ніж у дітей контрольної групи $(56,9 \pm 14,2)^\circ$. Це безпосередньо впливало на крововтрату при операції, тобто, в основній групі крововтрата становила $((1044,7 \pm 245,7)$ мл), що статистично значущо менше, ніж у пацієнтів основної групи – $((1292,1 \pm 334,8)$ мл). При проведенні операційного втручання за

даними інтраопераційного нейромоніторингу у пацієнтів з попередньою ГГТ відмічали зниження амплітуди М-відповіді у 8 (21,1 %) дітей, в контрольній групі – у 17 (44,7 %), різниця статистично значуща ($p=0,027$).

Ключові слова: гало-гравітаційна тракція, сколіотична деформація, математичне моделювання, остеотомія Сміта-Петерсена-Понте, резекція хребта, хірургічне лікування.

SUMMARY

Rohozynskyi V.O. The use of halo-gravitational traction in the treatment of complex spinal deformities in children. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 22 "Health" in the specialty 222 "Medicine". - Bogomolets National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, 2022.

Contents

Complex scoliotic deformities in children (> 100) according to the modern literature range from 0.12% to 1.7% among other scoliotic spinal deformities. Modern surgical practice of one-step correction of heavy scoliotic spinal deformities includes the use of Ponte osteotomies and Vertebral Column Resection (VCR), which increases the possibility of deformity correction, but also increases the risk of neurological complications, the volume of intraoperative blood loss. The definition of "complex spinal deformity" remains unclear, but in most publications it is referred to as deformation which goes beyond 100.

Halo-gravitational traction (HGT) is a safe and effective method for pre-correcting complex spinal deformities before volume correction at the rate of posterior spinal instrumentation.

Halo-gravitational traction (HGT) is a safe technique because the world literature has described complications such as pin loosening or superficial skin infections around the pins that are insignificant and not life-threatening. The use of

HGT can improve lung ventilation, which in turn reduces the risk of death from pulmonary insufficiency in adulthood.

The purpose of the study was to improve the results of surgical treatment of heavybscoliotic spinal deformities in children by substantiating and developing new, improving existing methods of halogravity traction, to improve the results of pulmonary ventilation due to previous use of HGT in patients with complex spinal deformities; to establish an effective and safe algorithm for the treatment of complex spinal deformities in children with respiratory dysfunctions.

The following tasks were defined, according to the study purpose:

1. To conduct a systematic analysis of the scientific literature regarding modern trends of existing methods and technologies of using halo-gravitational traction in the system of surgical correction of complex scoliotic spinal deformities in children.

2. To develop a mathematical model "spine - system of halo-gravitational traction" and conduct research using the finite element method of the distribution of internal stresses in it during stretching.

3. To improve and introduce into clinical practice new approaches to the use of halo-traction traction in the system of surgical treatment of complex scoliotic spinal deformities in children.

4. To investigate changes in external breathing in patients with complex spinal deformities when using halo-traction traction.

5. To evaluate the results of staged surgical treatment using halo-gravitational traction in patients with complex spinal deformities and a control group of patients.

According to the analysis of the literature sources, it was determined that two-stage treatment of severe scoliotic spinal deformities using halo-gravity extraction gives positive results after surgical correction, but the effectiveness, methodology and long-term prognosis in halo-gravity traction in patients with complex scoliotic deformities this time continue a matter of opinion.

Mathematical modeling was carried out according to the method of elements distribution in the system "halo-gravitational apparatus - spine" at different angles of deformation was performed.

Based on the simulation results, it can be concluded that in the treatment of rigid spinal deformities in children with a deformation angle (> 100) using the halo-gravity traction system was the first to prove the effectiveness of this technique, but the maximum recommended load should not exceed 50%; deformations of a backbone should be more than 70° , the block of vertebrae T2-T5 is the most intense; the maximum value of Mises voltage of 33 MPa is not critical for bone tissue in terms of strength, but with a doubling of the load, the tense state will also increase twice and may exceed the strength of bone tissue.

Analysis of the stress-strain state of the spine model with posterior spondylodesis at different angles of scoliotic deformity showed that for all values of scoliotic spinal deformity, the most intense are the vertebrae Th4 and Th5. At the posterior support complex, the maximum values of stresses are at the points of entry of the screws into the bone. Mathematical modeling of posterior spondylodesis has shown that at large angles of deformation, vertebral destruction are possible and additional measures are needed to reduce this effect. To solve the problems of clinical research, the course and results of treatment of 76 patients from 7 to 17 years with complex scoliotic spinal deformities were analyzed.

This patients were treated in the clinic of the Department of Pediatric Surgery of the Bogomolets National Medical University named (on the basis of surgical departments of the NATIONAL CHILDREN'S SPECIALIZED HOSPITAL "OHMATDYT" Kyiv)) in the period from 2009 to 2019. Patients were divided into two groups: I (experimental group) - 38 children (11.0 ± 2.8) years, who were treated using halo-gravitational traction with the developed tactics of staged surgical treatment; II (control group) - 38 children (11.2 ± 2.8) years, who underwent one-step surgical correction.

Halo-gravitational traction in patients of group I began with a minimum weight of 2 to 4 kg, gradually increasing to 30% of the patient's body weight, the

maximum weight was reached during the first 8 to 12 days after the start of HGT. The duration of traction did not exceed 8 weeks, depending on the mobility of the spine. The dynamics of deformation reduction was observed in spinal segments after 1, 2, 4, 6 and 8 weeks of traction. According to the results of the analysis, the most effective term of halo-gravitational traction is 6 weeks. The average percentage of deformation correction when applying force in 40% of the weight was $(30.3 \pm 13.3)\%$, which is statistically significant ($p = 0.042$) less than when applying force in 50% of the weight - $(39.4 \pm 13.3)\%$.

After halo-gravitational traction in children, the deformation angle decreased significantly ($p < 0.001$) by an average of $(36.5 \pm 14.9)^\circ$, which is $(34.0 \pm 14.1)\%$ of the deformation correction. In children under 13 years of age there was a decrease in the angle of deformation on average to $(67.6 \pm 14.7)^\circ$, in children over 14 years - to $(85.9 \pm 18.2)^\circ$.

Patients with halo-gravity traction were monitored for respiratory function before and after traction. Before the HGT, no patient had normal respiratory function, after HGT, 6 (23.1 % children had normal lung ventilation, 18 (69.2 % - 1st degree disorders, and 2 (7.7%) - 2nd degree of pulmonary ventilation disorders.

Before the surgical treatment in group I, the angle of coronary deformation averaged $(71.5 \pm 16.5)^\circ$ (from 41° to 106°), in group II - $(106.1 \pm 4.5)^\circ$ (from 100° to 117°).

In patients of group I, the angle of scoliotic deformation obtained after HGT $(71.5 \pm 16.5)^\circ$ was significantly ($p < 0.001$) lower than in group II $(106 \pm 4.5)^\circ$.

Surgical treatment of scoliosis is appropriate when the curvature is more than 50° due to Cobb's method, based on fact that curvature of more than 50° progresses even after complete skeletal growth. There was no difference in the amount of scoliotic deformity before treatment between groups ($p = 0.113$). After treatment, the angle of deformity, as shown above, in children of group I $(44.4 \pm 15.3)^\circ$ was significantly ($p < 0.001$) lower than in children of group II $(56.9 \pm 14.2)^\circ$, although the reduction in spinal deformity was statistically significant ($p < 0.001$) in both groups. The total percentage of correction of deformity as a result of treatment in

children of group I (59.4 ± 13.1)% was significant ($p < 0.001$) higher than in children of group II (46.6 ± 12.3)%.

The application of our proposed method of treatment of scoliotic deformity using halo-gravitational traction has significantly improved the results of correction. The use of our method of treatment not only significantly ($p < 0.001$) reduces spinal deformity, but also reduces the amount of surgical correction. Regardless of the treatment protocol, the best results in the correction of scoliotic deformity were in children under 14 years of age.

The angle of deformation, which is subject to surgical correction, affects the severity and duration of surgery, respectively, and blood loss. Blood loss in group I (1044.7 ± 245.7) ml) was statistically significantly less than in patients of group II - (1292.1 ± 334.8) ml). At surgical correction of scoliotic deformation less than 100° blood loss (1025.0 ± 235.9) ml (statistically significant) ($p < 0.001$) less night blood loss at correction of deformation more than 100° (1297.5 ± 327.8) ml.

The highest incidence of neurological complications was observed at the time of screw installation - 19 (25 % patients and 16 during osteotomy) (21%), and although patients with previous HGT had fewer neurological complications at certain stages, the difference was not statistically significant ($p > 0.05$)

In the operative period, patients had a transient neurological deficit: in group I - in 2 (5.3 %), in group II - in 10 (26.3 % ($p = 0.012$)). Only 1 patient of group II has neurological complications were observed in more remote deadlines.

Before the surgery, patients in group I had statistically significant ($p < 0.001$) best forced vital capacity of the lung (on average by (19.0 ± 2.1) %), and the volume of forced exhalation in the first second - by (20.3 ± 2.4) %. We will note that after surgical correction indicators of respiratory function changed in groups equally on 7-10 %.

According to the analysis, there was no significant difference in the distribution of disorders in the groups after surgical correction of spinal deformities. In patients, severe degrees of ventilation disorders completely disappeared, but in most patients of both groups there was a 2nd degree of violation. No difference in the distribution of ventilation disorders by groups ($p = 0.528$). Thus, it can be

reasonably argued that the two-stage correction of scoliotic deformity leads to significantly better, although statistically insignificant results.

VCR surgery is associated with a high risk of neurological complications at various stages, so intraoperative monitoring is useful for correction the situation. Optimization of the complex stage correction of complex spinal deformities in children reduces the frequency of complications, recurrences and improves the functional outcomes of treatment. The use of HGT allows to improve the results of the final correction of spinal deformity, which significantly improves lung ventilation function, which, in turn, reduces the risk of death due to pulmonary insufficiency in adulthood. The indication for HGT is rigid deformation of the spine with a deformation angle ($> 100^\circ$). The use of the first stage of HGT in the treatment of complex spinal deformities can increase spinal mobility and gradually adapt the spinal cord to further correction, which reduces the risk of neurological complications after surgery, reduces intervention time and blood loss, allows better correction results. The choice of the scope of surgery is based on anatomical and functional criteria.

Scientific relevance

In work **for the first time** , a mathematical model of the "spine - halo-gravitational traction system" was developed and a finite element study of the distribution of internal stresses in it during stretching was carried out. The results of mathematical modeling were a number of ideas about the distribution of stress in the "spine - GHT system" system under different load options.

CONCLUSIONS

1. According to an analytical review of the literature, it was determined that in patients with spinal deformities $>100^\circ$, the use of halogravitational traction as the first stage is an effective method of surgical treatment, which makes it possible to reduce the risks of intraoperative complications, reduce the time of surgical intervention, and improve the results of surgical correction.

2. According to the results of mathematical modeling using the method of finite elements of the system "spine - halo-gravitational traction system", it was

determined that in the treatment of rigid spine deformations in children with a deformation angle ($>100^\circ$) using the halo-gravitational traction system, the effectiveness of this technique was proven, however, the maximum recommended load should not exceed 50% of the patient's body weight; when the spine is deformed by more than 70° , the T 2 - T 5 vertebral block is the most stressed; m is the maximum stress value according to Mises 33 MPa is not critical for bone tissue in terms of strength, but with a doubling of the load, the stress level will also double and may exceed the strength limit of the bone tissue.

The analysis of the stress-strain state of the "spine - posterior spondylodesis system" model at different angles of scoliotic deformation showed that at all values of scoliotic deformation of the spine, the Th 4 and Th 5 vertebrae are the most stressed. In the posterior support complex, the maximum stress value is located at the places where the screws enter to the bone. Mathematical modeling of posterior spondylodesis showed that with large angles of deformation, the destruction of the vertebrae is possible, and additional measures must be taken to reduce this effect.

3. The optimal period of halo-gravitational traction is 6 weeks with a gradual application of traction force from 2-4 kg to 40-50% of the patient's weight over 8-12 days. Noticeable changes usually begin from the 4th week of extraction, and by the 5th-6th week, the maximum level of correction, which reached 30%, was noted. The most optimal is the pulling force of 50% of body weight, while the reduction of deformation reaches $(39.4 \pm 13.3)\%$ on average.

4. It has been proven that when performing halo-gravitational traction, breathing function improves significantly ($p = 0.031$) in patients. After HGT, the patients had a significant ($p < 0.001$) increase in FJEL index to 82% (before HGT – 48%), the forced expiratory volume (FEV1) index increased to $(76.5 \pm 4.4)\%$ ($p < 0.001$). The indicators of patients of group I (after GHT) before surgical treatment had statistically significantly better indicators of respiratory function than patients of group II

5. During the step-by-step treatment of the children of the main group, a reduction of the deformation to $(44.4 \pm 15.3)^\circ$ was noted, which is significantly

($p < 0.001$) less than that of the children of the control group (56.9 ± 14.2)°. This directly affected blood loss during surgery, i.e., in the main group, blood loss was (1044.7 ± 245.7) ml), which is statistically significantly less than in the patients of the main group - (1292.1 ± 334.8) ml). During surgical intervention with intraoperative neuromonitoring data in patients with previous GHT, a decrease in the amplitude of the M-response was noted in 8 (21.1%) children, in the control group - in 17 (44.7%), the difference was statistically significant ($p = 0.027$).

Key words: *halo-gravitational traction, scoliotic deformation, mathematical modeling, Smith-Petersen-Ponte osteotomy, spine resection.*

Список публікацій здобувача

1. Рогозинський В.О. Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта в дітей: огляд клінічних випадків / Левицький А.Ф., **Рогозинський В.О.**, Доляницький М.М. // Хірургія дитячого віку. – 2020. - №4 (69). - С.67-71. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

2. **Rohozynski V.** Treatment of Severe Spinal Deformations in Children with Idiopathic Scoliosis Using Halo-Gravity Traction / V. Rohozynski, A. Levytskyi, M. Dolianytskyi, I. Benzar // Wiadomości Lekarskie // 2020. – Vol. 73. - №10. – P.p. 2144-2149. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку) (У періодичному науковому, що індексується у наукометричній базі Scopus).*

3. **Рогозинський В.О.** Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні гало-гравітаційної тракції/ Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Карпінська О.Д. // Травма. – 2022. - №1 (23). – С. 36-42. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, виконано математичне дослідження та розрахунки. Здобувач виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

4. **Рогозинський В.О.** Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями/ Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., Дуда Л.В. // Хірургія дитячого віку. – 2021. - №3 (72). - С.10-14. *(Дисертантом проведено пошук та*

аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).

5. Рогозинський В.О. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., Яресько О.В., Карпінський М.Ю. // Травма. – 2021. - №6 (22). - С. 19-25. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, виконано математичне дослідження та розрахунки. Здобувач виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

6. Рогозинський В.О. Аналіз математичного моделювання біомеханічної моделі гало- гравітаційної тракції при деформаціях хребта в дітей / Рогозинський В.О., Левицький А.Ф., Доляницький М.М., Яресько О.В.// Хірургія дитячого віку. – 2021. - №4 (73). - С. 18-24. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

7. Рогозинський В.О. Аналіз ефективності використання системи гало- гравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Бензар І.М., Доляницький М.М., Карпінська О.Д. // Хірургія дитячого віку. – 2022. - №1 (74). - С.34-39. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював*

результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).

8. Рогозинський В.О. Вестибулярна система та використання галогравітаційної тракції при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта у дітей / Рогозинський В.О., Тарасенко М.В. // Український науково-медичний молодіжний журнал. – Київ, 2021. – №1. С. 19-20.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

9. Рогозинський В.О. Дослідження суб'єктивної оцінки результатів хірургічної корекції складних ($>100^\circ$) деформацій хребта у дітей з використанням галогравітаційної тракції за допомогою опитувальника SRS - 30 (Scoliosis Research Society) / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М. // Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. – 2021. - №1 (14). - С. 70-71.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

10. Рогозинський В.О. Використання галогравітаційної тракції при лікуванні складних ідіопатичних деформацій хребта / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., // Збірник тез XVIII з'їзду ортопедів-травматологів України. – 2019. - С. 114-114.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та

статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

Апробація результатів дослідження

Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. XVIII з'їзді ортопедів-травматологів України (м. Івано-Франківськ, 2019 р.)
2. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2019р.)
3. 54 з'їзд всесвітнього товариства дослідників сколіозу (м. Харків, 2019р.)
4. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2020р.)
5. Міжнародний науковий форум з питань хірургії хребта (м. Львів, 2021р.)
6. Міжнародний симпозиум «Multidisciplinary in the Treatment of Metastatic Tumours in Spine» (м. Харків, 2021р.)
7. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2021р.)
8. Міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей «Практична дитяча хірургія» (м. Київ, 2021р.)
9. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2022р.)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	24
ВСТУП	25
РОЗДІЛ 1. Розповсюдженість, фактори прогресування, методи лікування складних деформацій хребта в дитячому віці. Роль гало- гравітаційної тракції у лікуванні складних сколіотичних деформацій (інформаційно-аналітичне дослідження).	31
1.1. Розповсюдженість та фактори прогресування складних деформацій хребта в дитячому віці: сучасний стан проблеми.	31
1.2. Принципи та методи лікування складних деформацій хребта в дитячому віці: сучасний стан проблеми.	37
1.3. Використання гало-гравітаційної тракції при хірургічному лікуванні складних деформацій хребта у дітей: сучасний стан проблеми.	47
РОЗДІЛ 2. Матеріали та методи	61
2.1 Розподі пацієнтів на групи	61
2.2. Рентгенографічне дослідження	63
2.3. Дослідження функції дихання	67
2.4. Дослідження неврологічного стану	68
2.5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	69
2.6. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ	72
РОЗДІЛ 3. Математичне моделювання гало-гравітаційної тракції при деформаціях хребта у дітей	73
3.1. Система гало-гравітаційної тракції – деформація хребта 70°	74
3.2. Система гало-гравітаційної тракції – деформація хребта 100°	75
3.3. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей	79
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ГАЛО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТРАКЦІЇ	88
4.1. Технологія та результати застосування гало-гравітаційної тракції	88
4.2. Дослідження функції дихання у пацієнтів, яким виконували гало-гравітаційну тракцію	94
РОЗДІЛ 5. Технологія та тактика хірургічної корекції сколіотичної деформації	97
РОЗДІЛ 6. Оцінка результатів лікування дітей із складною сколіотичною деформацією	120
6.1 Оцінка ступеня корекції сколіотичної деформації у дітей з ГТТ та без неї	120

6.2. Аналіз крововтрати при хірургічній корекції сколіотичної деформації	125
6.3. Аналіз зміни параметрів дихання після хірургічної корекції сколіотичної деформації	128
ВИСНОВКИ	132
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	134
ДОДАТКИ	158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГГТ	гало-гравітаційна тракція
ЕНМГ	Електронеуроміографія
ІТ, %	Індекс Тіффно
МСЕ	метод скінченних елементів
НДСЛ «ОХМАТДИТ»	Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ» МОЗ України
ОФВ1, л/с	Об'єм форсованого видиху за 1 с
ФЖЕЛ, %	Форсована життєва ємність легень
LL	Lumbal lordosis
PI	Pelvic index
PSO	Pedicle subtraction osteotomy
PT	Pelvic tilt
SPO	Posterior column osteotomy (або остеотомія Сміта-Петерсена-Понте)
SI	Sacral inclination
ТК	Toracic kiphosis
VCR	vertebral column resection

ВСТУП

Складні сколіотичні деформації у дітей ($>100^\circ$) за даними сучасної літератури складають від 0,12 % до 1,7 % серед інших сколіотичних деформацій хребта.

Сучасна хірургічна практика одномоментної корекції складних сколіотичних деформацій хребта включає використання остеотомій Ponte та Vertebral Column Resection (VCR), що збільшує можливість корекції деформації, але й збільшує ризик неврологічних ускладнень, об'єм інтраопераційної крововтрати.

Визначення «складної деформації хребта» залишається нечітким, але в більшості публікацій її визначають як деформацію, що перевищує 100° [14].

Гало-гравітаційна тракція (ГГТ) є безпечною та ефективною методикою для попередньої корекції складних деформацій хребта до проведення корекції в обсязі задньої інструментації хребта [1, 16, 19, 20, 21].

Гало-гравітаційна тракція (ГГТ) використовується для лікування деформацій хребта більше ніж 50 років. ГГТ була запроваджена в лікарні Rancho Los Amigos у 1960-х роках [1]. У 1980-х роках Stagnara використовував «Rancho Halo» як інструмент, що дозволяє зменшити деформацію хребта за допомогою гравітаційної тракції, яка допомагає покращити результати корекції деформації хребта, знизити ризик неврологічних ускладнень та об'єм інтраопераційної крововтрати. Останні 10 років ми використовували ГГТ для лікування пацієнтів зі складними деформаціями хребта.

Наше дослідження охоплює показання, протипоказання, особливості методики ГГТ та наші рекомендації щодо методу динамічної ГГТ.

ГГТ повинна застосовуватись при високому ризику можливих ускладнень під час одномоментної корекції складної деформації хребта, включаючи зниження якості кісткової тканини (остеопенія, остеопороз), ризик неврологічного дефіциту.

Порушення дихання через фізіологічні наслідки деформації хребта та грудної клітини також є частою медичною коморбідністю.

Визначення “складної деформації хребта” залишається досить не чіткими, але більшість публікацій зазначають, що в середньому деформація перевищує 100 градусів [17, 18, 19, 20].

Методику ГТТ використовують при складних деформаціях хребта в Texas Scottish Rite Hospital з 1987 року. ГТТ як попередній етап перед виконанням задньої інструментації хребта дає змогу здійснювати контрольовану поступову корекцію деформації у пацієнта, чим забезпечує зниження ризику гострих неврологічних порушень.

Вибір оптимальної лікувальної тактики, визначення часу початку лікування, профілактика ускладнень, особливо у дітей раннього віку, залишаються відкритим питанням та визначають актуальність обраної теми дослідження.

Метою дослідження є покращення результатів хірургічного лікування складних сколіотичних деформацій хребта у дітей шляхом вдосконалення існуючих алгоритмів та методик гало- гравітаційної тракції. Поліпшити показники вентиляційної функції легень за рахунок попереднього застосування ГТТ у пацієнтів зі складними деформаціями хребта; встановити ефективний і безпечний алгоритм лікування складних деформацій хребта в дітей з респіраторними дисфункціями. Зниження ризиків неврологічних ускладнень, зниження інтраопераційної крововтрати.

Завдання дослідження:

1. Провести системний аналіз наукової літератури щодо сучасних тенденцій існуючих технологій використання гало-гравітаційної тракції в системі хірургічної корекції складних сколіотичних деформацій хребта у дітей.

2. Розробити математичну модель «хребет – система гало- гравітаційної тракції» та провести дослідження методом скінченних елементів розподілу у ній внутрішніх напружень під час витягіння.

3. Вдосконалити та впровадити в клінічну практику нові підходи до використання гало-тракційної тракції в системі хірургічного лікування складних сколіотичних деформацій хребта у дітей.

4. Дослідити функцію зовнішнього дихання у хворих зі складними деформаціями хребта при використанні гало-гравітаційної тракції.

5. Оцінити результати етапного хірургічного лікування з використанням гало-гравітаційної тракції у пацієнтів зі складними деформаціями хребта та контрольної групи пацієнтів.

Рівень доказовості дослідження: 3В.

Дизайн дослідження: відкрите, порівняльне, одноцентрове, проспективне, не рандомізоване клінічне дослідження.

Об'єктом дослідження є структурно-функціональні порушення у дітей зі складними сколіотичними деформаціями хребта.

Предметом дослідження є хірургічне лікування пацієнтів із складними сколіотичними деформаціями хребта.

Методи дослідження: клінічні, лабораторні, інструментальні, метод математичного моделювання, рентгенологічні, статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів

В роботі вперше розроблено математичну модель «хребет – система гало-гравітаційної тракції» та проведено дослідження методом кінцевих елементів розподілу у ній внутрішніх напружень під час витягіння. Результатами математичного моделювання стала низка уявлень про розподіл напруження в системі «хребет– система ГТТ» при різних варіантах навантаження.

Вперше доведено ефективність використанням гало- гравітаційної тракції першим етапом хірургічної корекції в порівнянні із одномоментною корекцією складної сколіотичної деформації за рахунок зменшення інтраопераційної крововтрати, зниженню ризиків неврологічних розладів та покращенню функції зовнішнього дихання.

Вперше розроблено алгоритм етапності та ваги для гало- гравітаційної тракції, що підтверджений за рахунок математичного моделювання.

Особистий внесок здобувача.

Дисертаційна робота є особистою працею автора. Ідея, мета, задачі та основні напрями роботи розроблялися спільно з науковим керівником завідувачем кафедри дитячої хірургії Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, президентом Асоціації дитячих ортопедів-травматологів України, Заслуженим лікарем України, доктором медичних наук, професором **Левицьким Анатолієм Феодосійовичем**.

Автор виконав пошук літературних джерел, вибрав тему дослідження, довів пріоритетність, доцільність і необхідність даної наукової праці, визначив мету, завдання, об'єм та методи дослідження, більшістю з яких досконало оволодів. Дисертантом проведено обстеження пацієнтів та підготовлено їх до операції.

Дисертантом розроблений дизайн дослідження, критерії включення, не включення, набір та розподіл пацієнтів на групи спостереження.

Автор асистував на операціях пацієнтів зі складними сколіотичними деформаціями хребта, які увійшли в наукове дослідження. Він проводив післяопераційне та реабілітаційне лікування пацієнтів. Здобувач особисто виконав аналіз отриманої інформації, написав всі розділи дисертації та підготував наукові статті до друку.

Публікації

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 7 статей та 3 тез, з яких 1 стаття в періодичному науковому виданні іншої держави, яке відноситься до наукометричної бази Scopus, 6 статей в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії "Б" з наукового напрямку у фахових виданнях рекомендованих Міністерством освіти і науки (МОН) України.

Апробація результатів дослідження

Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. XVIII з'їзді ортопедів-травматологів України (м. Івано-Франківськ, 2019 р.)
2. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2019р.)
3. 54 з'їзд всесвітнього товариства дослідників сколіозу (м. Харків, 2019р.)
4. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2020р.)
5. Міжнародний науковий форум з питань хірургії хребта (м. Львів, 2021р.)
6. Міжнародний симпозіум «Multidisciplinary in the Treatment of Metastatic Tumours in Spine» (м. Харків, 2021р.)
7. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2021р.)
8. Міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей «Практична дитяча хірургія» (м. Київ, 2021р.)
9. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2022р.)

Практичне значення отриманих результатів. За даними проведених досліджень вдосконалено та впроваджено в клінічну практику нові підходи до використання гало-тракційної тракції в системі хірургічного лікування складних сколіотичних деформацій хребта у дітей, досліджено функцію зовнішнього дихання у хворих зі складними деформаціями хребта при

використанні гало-гравітаційної тракції, проведена оцінка інтраопераційних неврологічних ускладнень та крововтрати у пацієнтів з гало-гравітаційною тракцією та без такої. Розроблені моделі можуть бути використані в подальших наукових дослідженнях з вивчення захворювань хребта у дітей. Результати дослідження впроваджено в науковий процес кафедри дитячої хірургії Національного медичного університету імені О.О. Богомольця та клінічну практику Національної дитячої спеціалізованої лікарні «Охматдит».

Структура та обсяг дисертації. Основний текст дисертації викладено на 161 сторінках машинописного тексту та складається зі вступу, огляду літератури, 6 розділів власних досліджень, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота ілюстрована 55 рисунками та 26 таблицями. Список літератури включає 190 джерел (у тому числі 16 кирилицею, 174 латиницею), що складає 45 сторінок.

РОЗДІЛ 1

**РОЗПОВСЮДЖЕНІСТЬ, ФАКТОРИ ПРОГРЕСУВАННЯ,
МЕТОДИ ЛІКУВАННЯ СКЛАДНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ХРЕБТА В
ДИТЯЧОМУ ВІСІ. РОЛЬ ГАЛО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТРАКЦІЇ.
(Інформаційно-аналітичне дослідження)**

**1.1. Розповсюдженість та фактори прогресування складних деформацій
хребта в дитячому віці: сучасний стан проблеми.**

Деформації хребта є однією з поширених ортопедичних патологій дитячого віку. Сьогодні, за даними медичної статистики у 75% дітей 7-12 років виявляється сколіоз. У дітей 10-17 років деформації хребта діагностуються в 2-3% випадків у популяції, проте перебіг захворювання у кожної дитини є індивідуальним: від швидкого темпу прогресування до стабільної ситуації без прогресування впродовж кількох років [3]. Сколіоз III–IV ступеня з вираженими косметичними і функціональними порушеннями становить 1,5-2% всіх випадків [16]. При більш ретельному аналізі доступних досліджень встановлено, що деформації хребта функціонального характеру поширені серед дошкільнят у 25–30% випадків, кількість випадків цієї патології значно зростає у вікових групах 7–9 років (41%) та 13–15 років (63%), тобто в періоди інтенсивного росту. Деформації хребта структурного характеру часто виявляються у старших школярів у 18–20% випадків. За даними 28 досліджень встановлено, що сколіоз більше 10° за Коббом зустрічається з частотою 0,93-4,6% у дівчаток і 0,25-1,1% у хлопчиків, тобто поширеність різниться в 4,9 і 4,4 разів відповідно. Складні деформації більше 20° спостерігаються в 0,25-1% випадків, тобто, існують суттєві гендерні відмінності [14, 170]. В огляді Xu W. та співав., за даними скринінгу та використання двох методів – комп'ютерно-оптичної (муарової топографії - МТ) та проби Адамса (ПА) - для сколіозів більше 10° наведені такі дані по різних країнах: Англія - 2% (МТ) та 0,25% (ПА); США - 1,2% (ПА); Канада - 1,8% (ПА); Греція - 1,75% (ПА); Норвегія - 0,55% (ПА); Сінгапур - 0,75%; Японія - 0,41% (МТ) [181]. При цьому кількісне

співвідношення дівчаток і хлопчиків (Д/Х) варіює від 2,1 (Канада) до 18,1 (Японія). Слід зазначити, що дані сильно відрізняються навіть для одного і того ж методу. Так для ПА діапазон становить 0,55-2,85%, для МТ відповідно 0,41-2%. За даними Suh S.W, що отримані при скринінг-обстеженні 38 тис. школярів віком 10- 12 років методом МТ, поширеність сколіозу склала 0,19% (Д/Х - 5,5), що вдвічі менше, ніж в Японії. Число сколіотичних деформацій $\geq 10^\circ$ склало для дівчаток - 4,65%, хлопчиків - 1,97% і без урахування статі - 3,26%, Д/Х - 2,36.

Складні деформації хребта частіше зустрічаються у дівчат (незалежно від віку). Серед дітей, які перебувають на лікуванні в медичних закладах санаторного типу, переважають хворі з I ст. сколіотичної деформації. У переважній більшості випадків відмічаються сколіози з однією первинною дугою викривлення (С-подібні), особливо С-правосторонні (незалежно від рівня верхівки дуги) [1]. У всіх вікових групах спостерігається переважання фронтальних порушень у дівчаток і сагітальних у хлопчиків [16].

В цілому, діагноз сколіозу встановлюється за наявності деформації хребта у фронтальній площині, що перевищує 10° при вимірюванні за методом Cobb.

У науковій літературі тривають дискусії щодо причин виникнення складних деформацій хребта, що остаточно не вивчені, але серед основних причин, на підставі чисельних експериментальних досліджень і клінічних спостережень, більшість дослідників виділяють дві основні групи – вроджені та набуті причини [142].

Аеві виділяє типи деформації, ґрунтуючись на причинах їх виникнення, однак дана класифікація не допомагає у виборі варіанту лікування пацієнта, так як не враховує кількісні характеристики деформації [14].

Ploutis et al. [126] ввели нову систему класифікації, засновану на аналізі літератури та особистому досвіді. Вона базується на рентгенологічних параметрах з клінічними модифікаторами: тип I - деформації без або з мінімальною ротацією; тип II - в деформаціях з міжсегментарною ротацією;

тип III - фронтальний (>4 см) та/або сагітальний (>2 см) дисбаланс. Клінічні модифікатори включають в себе наступне: а) біль в спині при відсутності болю в нижніх кінцівках; б) біль в ділянці іннервації сідничного нерву з болем в спині або без нього; в) біль в ділянці іннервації стегнового нерва з болем в спині або без нього.

Shwab et al. [149] запропонували серію класифікацій, недоліком яких стала відсутність модифікатора тазових параметрів. Lafage et al. [93,94] в продовження робіт французьких авторів показали фундаментальну роль тазу в якості головного регулятора взаємин між хребтом і нижніми кінцівками для формування сагітального балансу. Було доведено, що такі тазово-хребетні параметри, як SVA, PT і відношення між PI і поперековим лордозом (LL), виражене в PI-LL, корелюють з інтенсивністю болю та функціональними порушеннями [186].

Для розвитку деформації необхідна наявність хоча б трьох чинників:

1) первинний патологічний фактор, що порушує нормальний ріст хребта. Цей фактор може бути і набути (диспластичні зміни в спинному мозку, хребцях, дисках);

2) фактор, що створює загальний патологічний фон організму (наприклад, обмінні та гормональні порушення);

3) статико-динамічні порушення – фактор, який набуває свого значення в період формування структурних змін хребців.

До прогресуючого характеру перебігу складних деформацій хребта може призводити лише поєднання всіх трьох чинників.

Складні деформації хребта прогресують найбільше в період між початком статевого дозрівання і завершенням формування скелета, якщо до цього періоду кут деформації хребта по Cobb у більшості дітей не перевищує 30°, перебіг деформації вважається стабільним. Період прискореного прогресування рідко перевищує 3 роки.

Ряд дослідників стверджують, що прогресування складних деформацій хребта пов'язано зі статтю дитини, віком появи первинного викривлення, а також кістковим віком пацієнта.

Тобто, підтверджено, що формування деформації відбувається в період активного росту, і частіше – у дівчаток. Chmielewska M. et al. [31] досліджували зв'язок між геном рецептору естрогену і розвитком складних деформацій хребта. Однак подібного зв'язку виявлено не було. Також безрезультатним виявилось дослідження гена рецептора мелатоніну [126] як етіологічного фактора розвитку хвороби.

Дослідниками отримані різні дані на основі геномного сканування, що може пояснюватися мутацією різних генів в різних популяціях. Makki N. et al. [107] провели геномне сканування ДНК хворих зі складними деформаціями хребта: в одній родині американської популяції виявили асоціацію з 6-ї і 8-ї хромосомами, в іншій родині виявлений зв'язок з 10-ю хромосомою. Подібний аналіз був проведений в семи сім'ях китайської популяції [93], в цьому випадку дослідники виявили причетність до патології 19-ї хромосоми. Достовірного зв'язку складних деформацій хребта з X-хромосомою [93] не було виявлено.

Таким чином, механізм успадкування складних деформацій хребта залишається невідомим.

Так звана м'язова теорія складних деформацій хребта з'явилася одна з перших. Численні дослідження параспінальних м'язів включали вивчення м'язових волокон [86], індивідуальної м'язової морфології [128], гістохімії, електроміографічної активності [106], аномалій сарколеми в ділянці сухожилком'язевого переходу [111], концентрації в м'язах кальцію, міді й цинку [69], а також тромбоцитарних аномалій.

За Iqbal M. O. пусковим механізмом розвитку деформації є епіфізеоліз епіфізарних пластинок тіл хребців. Провівши чисельні електрофізіологічні і біохімічні дослідження, вони дійшли до висновку про наявність у хворих на сколіоз різноманітних змін в обміні сполучної тканини. Ці зміни, на їхню думку, носять вроджений і навіть спадковий характер [72].

Аномалії сполучної тканини і є тим фоном, на якому розвиваються складні деформації хребта. Наступним етапом розвитку патологічного процесу є епіфізеоліз епіфізарних пластинок хребців і латеральне зміщення міжхребцевого диску разом з пульпозним ядром. Асиметричне розташування пульпозного ядра призводить до формування первинної деформації хребта. Подальший розвиток деформації – результат взаємодії сил компенсації і сил, що сприяють прогресуванню деформації. При цьому формується клиноподібна деформація тіл хребців.

За Vidal- Lesso. [172] з'явилися два положення, що розглядаються в якості аксіом. По-перше, у здорових дітей не буває ані абсолютно прямих, ані абсолютно симетричних хребтів. По-друге, ідіопатичного кіфосколіозу не може бути і не існує.

Можна відзначити ще одне дослідження, автори якого спробували розробити алгоритм оцінки прогресуючого характеру перебігу складних деформацій хребта. Pehrsson [122] вивчивши рентгенограми ретельно відібраної групи (221 осіб) хворих зі складними деформаціями хребта грудної та грудопоперекової локалізації, виділили наступні параметри, від яких, на їхню думку, залежить прогноз і характер прогресування: величина торсії вершинного хребця (визначена за методом Perdriolle), кут основної дуги деформації за Cobb, специфічна ротація (сума кутів ротації, яка вимірюється для двох хребців, розташованих каудальніше верхнього кінцевого хребця основної дуги).

Pehrsson вважав, що прогнозувати перебіг деформації хребта можна у будь-якому віці. З його точки зору, для дітей від 6 років до завершення пубертатного періоду критичним є показник ротації вершинного хребця в 15° . Якщо ротація апікального хребця перевищує 15° , то до моменту завершення формування скелета кут деформації основної дуги становитиме більше 90° . При ротації хребця в $10-15^\circ$ сколіотична дуга досягне величини $70-90^\circ$, а при величині ротації вершинного хребця в межах $5-10^\circ$ кут викривлення основної дуги складе $40-70^\circ$ [122].

У визначенні поняття «складні деформації хребта» використовують кількісну оцінку ступеня деформації, в основу якої покладена величина кута Cobb. До важких або грубих, зазвичай, відносять деформації з величиною основної дуги від 70° до 100° [63]. Важкі форми розвиваються у 15,0-20,0% хворих на сколіоз. При фізикальному обстеженні у 53,0% хворих зі складними деформаціями хребта відзначено відставання у фізичному розвитку: слабкий розвиток мускулатури, зменшення росту й маси тіла, низька толерантність до фізичного навантаження, значно знижений рівень фізичної працездатності [185]. Частота ураження внутрішніх органів при складних деформаціях хребта досягає 40-50% [63]. У зв'язку з цим вивчення порушень в кардіореспіраторній системі набуває особливого значення.

Weinstein [177-179], впродовж 40 років вивчав природній перебіг складних деформацій хребта у великій групі досліджуваних та прийшовши до висновку, що основним прогностичним фактором прогресуючого характеру викривлення хребта є величина деформації і ротації апікального хребця до моменту завершення формування скелета. Критична величина викривлення кута Cobb становить 50° , для грудного та грудопоперекового - 30° . Прогностично значущою для всіх типів деформацій є ротація вершинного хребця більше 30° .

Останнім часом в літературі з'явилися публікації про часте поєднання складних деформацій хребта з патологією хребтового каналу та спинного мозку [132]. Можливий вплив на характер прогресування деформації хребта у пацієнтів зі складними деформаціями спричиняють інші чинники. Наприклад, аномалія Кіарі I, за різними даними зарубіжних авторів, від 35% до 60% [143].

В результаті клінічних та експериментальних досліджень встановлено, що деформації грудної клітини при складних деформаціях хребта спричиняє погіршення функціональної здатності міжреберних м'язів на стороні у гнотості, деформація ребер призводить до ослаблення сили паравертебральних м'язів, а також до зменшення обсягу грудної клітини. Одночасно порушується функція діафрагми і обмежується рухливість ребер.

Наслідком цього є нерівномірність вентиляції легень, розвиток ділянок емфіземи та ателектазу, що погіршує функціональну здатність легеневої тканини, сприяє утворенню фіброзу і підвищенню судинного опору. Зниження легеневої еластичності, анатомічне зміщення серця, перегин великих судин з дислокацією трахеї і бронхів можуть стати причиною підвищення тиску в системі малого кола кровообігу, що, в свою чергу, призводить до розвитку правошлуночкової недостатності [133].

Проведені авторами клінічні, рентгенологічні, морфологічні та біомеханічні дослідження дозволили зробити висновок, що деформація хребта у фронтальній площині є вторинною - це ефект лордозування та ротації.

Таким чином, незважаючи на усі зусилля дослідників, єдина загальноприйнята і, головне, обґрунтована концепція етіології і патогенезу складних деформацій хребта на сьогоднішній день відсутня. Burwell [27] так визначив причини труднощів у вирішенні цієї проблеми:

- 1) відсутність єдиного теоретичного підходу;
- 2) ми маємо справу не тільки з однією причиною, але з результатом взаємодії безлічі факторів, що суперечить звичайному типу клінічного мислення, коли лікар намагається обґрунтувати один діагноз;
- 3) постійна необхідність експертизи фахівців інших спеціальностей;

В результаті, нагальною потребою є взаємодія хірургів, біологів і інженерів для досягнення критичної маси знань, достатньої для істотного просування вперед.

1.2. Принципи та методи лікування складних деформацій хребта в дитячому віці: сучасний стан проблеми.

Першим кроком лікування пацієнтів з деформаціями хребта є консервативна терапія. Зазвичай, це лікувальна гімнастика та лікувальна фізкультура. У разі загострення і вираженого больового синдрому призначають нестероїдні протизапальні препарати і ненаркотичні анальгетики, а також використовують різні варіанти корсетів для

розвантаження хребта. Можливе також застосування глюкокортикоїдів. Зміцнення м'язів черевного пресу і спини в поєднанні з плаванням також вважається дієвим способом лікування [35].

Зазвичай, показання до хірургічного лікування виникають у разі больового синдрому нейрогенного або механічного характеру і відсутності ефекту від консервативної терапії. Патоморфологічними субстратами больового синдрому можуть бути дисбаланс у фронтальній та/або сагітальній площинах, спондилостез [176].

Сучасний етап в хірургічному лікуванні складних деформацій хребта починається з Р. Harrington , який почав роботу зі створення ендокоректора в 1947 році. У 1962 році була опублікована робота, в якій автор відобразив свій 15-річний досвід, запропонувавши оригінальний інструментарій для корекції сколіозу [135]. Він встановив критерії визначення величини і протяжності первинної дуги, сформулював основні принципи хірургічної корекції.

У 1973 році Eduardo R. Luque почав роботу зі створення нової системи для корекції деформацій хребта і надійної фіксації досягнутого ефекту. Основними перевагами методу були отримання адекватної корекції у фронтальній площині, збереження сагітального профілю і відсутність необхідності в післяопераційній зовнішній іммобілізації. До недоліків відносили можливість пошкодження спинного мозку при великій кількості дротяних петель як безпосередньо в момент проведення, так і в пізньому післяопераційному періоді при порушенні цілісності даної фіксації і подальшій її міграції, пошкодження м'якотканинних структур внаслідок неправильного розташування, розвиток остеобластичних процесів навколо імплантату.

Наприкінці вісімдесятих і на початку дев'яностих років минулого століття з'явилася модифікація Vialle, розроблена Dove і названа рамою Hartschill [171]. Конструкція представляла собою замкнений прямокутник з нержавіючої сталі 4,8 мм в діаметрі. Вона фіксувалася до хребта подвійними субламідарно проведеними дротяними петлями і представляла собою два

стрижня Lague, з'єднані зверху і знизу двома жорсткими поперечними стяжками. За даними N. Valentine і J. Dove, середня корекція в ході операції склала 50-56%, а її втрата впродовж двох років - 7% [171].

Австралійський ортопед A. Dwyer зі співавторами представили метод вентральної корекції і стабілізації хребта за допомогою оригінального інструментарію [40]. Основою методу була мобілізація хребта шляхом видалення міжхребцевих дисків на рівні деформованого сегмента і корекції викривлення за допомогою гнучкого троса, пропущеного через головки шурупів, закріплених в тілах хребців. До безперечних переваг методу слід віднести значну корекцію, безліч точок фіксації, хорошу деротацію і мінімальну кількість неврологічних ускладнень. Недоліками цієї хірургічної технології є порівняно обмежена зона застосування, тенденція до посилення кіфозу, значна кількість несправжніх суглобів і великі труднощі, що виникають при глибоких нагноєннях і порушеннях цілісності складного ендокоректора, що вимагають його видалення або заміни.

H.F. Halm зі співавторами [61,62] внесли доповнення в методику, підвищивши її коригуючі можливості. Зокрема, в конструкцію Halm - Zielke була додана вертикальна пластина – кришка і гладкий стрижень, що дозволяють проводити деротацію хребців на вершині основної дуги викривлення. Серед сучасних систем корекції хребта, так званого інструментарію третього покоління, що встановлюються на тіла хребців, найбільш широкого поширення набули конструкції HOPF, Colorado, Kaneda [55].

На початку 1980-х рр. Graziano G.P. [55] розробив концепцію тривимірних міжсегментарних та просторових співвідношень хребта та опублікував основні її положення. Розгляд хребта в аспекті трьохплощинної сегментарної будови призвів до розширення поглядів на основні принципи застосування коригуючих методик до елементів хребців і, як практична реалізація положень теорії, реалізувалася розробкою стратегії сегментарної

трьохплощинної корекції деформації хребта і інструментарію для її технічного здійснення.

В 1982 році Y. Cotrel і J. Dubousset запропонували дорсальну систему для корекції і фіксації хребта. Розробка системи велася з початку 1980-х років, в 1983 році виконана перша операція, в 1984 році - операція J. Dubousset з використанням CDI за класичною методикою (з вигином стержня і деротаційним маневром). До 1988 року накопичилися дані, достатні для формулювання перших висновків, і Y. Cotrel, J. Dubousset, M. Guillaumat опублікували свою роботу [88]. У ній автори представили нову універсальну сегментарну систему інструментарію, що дозволяє шляхом сегментарної селективної дистракції та компресії в поєднанні з деротаційним маневром здійснювати трьохплощинну корекцію деформації, що забезпечує жорстку фіксацію, яка усуває необхідність використання зовнішньої іммобілізації в післяопераційному періоді. У фронтальній площині в процесі операції досягалася корекція деформації з одночасним відновленням форми хребта в сагітальній площині, інструментарій сприяв формуванню грудного кіфозу зі збереженням поперекового лордозу і запобігав розвитку «flatback» синдрому [88]. Значні переваги CDI в порівнянні з інструментарієм Harrington - Luque полягають в корекції у фронтальній і сагітальній площинах, що показано на клінічному матеріалі. У 1996 р були опубліковані перші результати клінічного застосування інструментарію, розробленого японським ортопедом Kijoshi Kaneda [80]. Розробляючи свою систему, K. Kaneda запропонував усунути такі недоліки інструментарію Zielke: недостатню механічну міцність імплантатів, коригуючий ефект в сагітальній площині і недостатню стабільність системи «імплантат-хребець», що приводить до зміщення гвинтів і втрати корекції в трьох площинах.

Зокрема, Chung Aj.S.[33] вперше презентував метод подвійних «ростучих» стрижнів (Dual Growing Rods) для корекції деформації хребта без виконання артродеза. Метод подвійних «ростучих» стрижнів полягає в розміщенні інструментарію на кінцевих хребцях сколіотичної дуги, стрижні

при цьому проводять субфасціально або підшкірно. Концепція методики полягає в забезпеченні коригуючого зусилля, збереженні досягнутого результату корекції, можливості продовження росту хребта. Стрижні з'єднуються за допомогою коннектора, який регулюється шляхом ослаблення регулювального гвинта. Корекція здійснюється шляхом дистракції між полюсами конструкції. Етапні операції з подовженням «ростучих» стрижнів проводяться через певний інтервал часу: рекомендованим вважається період 6 міс. [24].

Sankar et al. [146] досліджували взаємозв'язок частоти і ефективності етапних корекцій. Автори обстежили 38 пацієнтів, при середньому терміні спостереження 3,3 (2-7) років. Етапні корекції проводилися в середньому через 6-8 міс. В результаті первинного втручання сколіотична дуга зменшилась з 74° до 36° , з кожною наступною дистракцією відбувалося зменшення її величини, при цьому довжина Th1 - S1 сегментів хребта збільшувалася. Це могло бути пов'язано з формуванням спонтанних кісткових блоків на сегментах, які не включені в фіксацію, і впливало на результат фінальної корекції. Пізніше був розроблений метод подовження «ростучих» стрижнів без хірургічного доступу з використанням магнітної дистракції [148], порівняно з нещодавно схваленим для використання в США.

Автори з США [67] провели аналіз сукупних витрат при використанні обох методів у 1000 пацієнтів впродовж 6 років. При використанні традиційного методу слід дотримуватися повторних оперативних втручань під загальним наркозом. Дистракція стрижнів на магнітах здійснюється в кабінеті лікаря неінвазивним способом. Автори дійшли висновку, що при використанні магнітів досягнуто значно меншу кількість випадків глибокої хірургічної інфекції, повторних ревізійних втручань.

Akbarnia et al. [17] представили результати мультицентрового дослідження, в яке включили 23 пацієнти з терміном спостереження щонайменше 2 роки. За даними авторів, середня величина основної сколіотичної дуги після лікування методом дистракції зменшилася з 82° до

38°. Окрім того, загальне подовження хребта досягло 9,6 см (1,24 см в рік), а простір, доступний для легень, збільшився з 0,87 до 1,0. Цей показник відображає потенціал для розвитку легенів і обчислюється шляхом співвідношення висоти обох гемітораксів, помножених на 100, виражених у відсотках [17]. Автори повідомили про 13 ускладнень, які розвинулися у 11 пацієнтів, з яких в 4 випадках необхідним було проведення незапланованих втручань, і дійшли висновку, що метод подвійних «ростучих» стрижнів є безпечним і ефективним. Частота ускладнень є співвідносною з використанням однострижнєвої техніки.

Метод Шилла (Shilla Procedure). При використанні методу Шилла, на відміну від подвійних «ростучих» стрижнів, відсутня необхідність етапних корекцій. При цьому, вершину сколіотичної дуги інструментують та фіксують гвинтами, коригують і блокують. Нетрадиційні ковзаючі поліаксіальні транспедикулярні гвинти імплантують на кінцевих хребцях сколіотичної дуги. Це дозволяє незаблокованим відділам хребта зростати уздовж стрижнів, ковзаючи по них [62]. McCarthy et al. [111] провели експериментальне вивчення методики на моделях тварин. Як очікувалося, через 6 місяців після імплантації інструментарію ріст хребта в краніальному і каудальному напрямках збільшився в середньому на 4,8 см. Виявлено велику кількість ускладнень у вигляді стирання ковзаючих гвинтів і переломів стрижнів.

В рамках II Міжнародного конгресу товариства з вивчення сколіозу McCarthy et al. [110] представили результати лікування 10 пацієнтів з деформаціями хребта різної етіології з використанням методики Шилла і середнім терміном спостереження 2 роки. Динаміка основної сколіотичної дуги представлена наступним чином: до операції – 70°, відразу після операції – 27°, наприкінці спостереження – 34°. Легеневий простір збільшився, в середньому на 13%, а ріст хребта на 12%. Автори підкреслюють той факт, що при використанні традиційної методики двох «ростучих» стрижнів необхідні етапні корекції кожні 6 місяців. Використання методу Шилла дозволило у 10 пацієнтів уникнути 49 етапних оперативних втручань впродовж курсу

лікування. Пізніше McCarthy і McCullough [110] представили результати лікування 40 пацієнтів з використанням методу Шилла з 5-річним терміном спостереження. Оцінка результатів проводилася ретроспективно, враховувалися показання, етіологія, кількість втручань, клінічні дані, ускладнення. Початок оперативного лікування в середньому був у віці 6 років (від 23 міс. до 11 років). Середня вихідна величина сколіотичної дуги – 67° , після операції досягнута корекція 64%. Наприкінці терміну спостереження корекція становила 40%. Об'єм грудних клітки збільшився, в середньому, на 30%, подовження грудного (Th1-Th12) відділу хребта – на 8%, грудного і поперекового (Th1 - S1) – на 10%. Всього виконано 62 втручання; з використанням традиційної distraкції – 346 втручань. Ускладнення відмічались у 22 хворих, яким було необхідне проведення повторних втручань; 7 пацієнтів мали більше двох ускладнень. Ускладнення розділили на наступні групи: пов'язані з імплантатами – 51, погане загоєння рани – 4, інфекційні – 7. Автори дійшли висновку, що частота ускладнень є прийнятною і методика може застосовуватися при більшості нозологічних форм деформацій хребта. При цьому пацієнтам дозволена звичайна фізична активність. В рамках дослідження проведено аналіз міцності різних конструкцій. При ранніх формах сколіозу ефективними є методи «ростучих» стрижнів з транспедикулярною фіксацією [59], VEPTR [40], Шилла. Методики «ростучих» стрижнів і VEPTR недоцільні при керованій корекції кіфозу [37].

Нещодавно представлено перше порівняльне мультицентрове дослідження результатів лікування хворих зі складними деформаціями хребта (72 пацієнта) з використанням методів Шилла (І група) і подвійних «ростучих» стрижнів (ІІ група) за період з 1995 по 2009 рр. [19]. Група пацієнтів ретельно відібрана з єдиної бази даних 22 центрів, що включає результати лікування 1000 хворих з термінами спостереження 4,6 років. У І групі до кінця терміну спостереження величина корекції на фоні активного росту досягла 19° , а загальна корекція – 24° . У ІІ групі спостерігалось покращення на 3° , а загальна корекція була більшою, ніж в І групі, і досягала 37° . Довжина хребта (Th1-S1),

виміряна на фронтальних рентгенограмах, збільшилася таким чином: в I групі на 6,4 см, в II – на 8,8 см. Частота ускладнень в обох групах виявилася практично однаковою – 1,9 і 1,3 відповідно. У II групі у двох пацієнтів інтраопераційно зареєстровано відсутність соматосенсорних викликаних потенціалів. Ревізійні втручання не проводилося. В післяопераційному періоді неврологічних порушень не виявлено. У одного хворого після заміни зламаних стрижнів і дистракції до вихідної величини діагностований нижній правобічний геміпарез з порушенням ходи. Виконано вкорочення стрижнів, неврологічні порушення зникли менш ніж за 2 місяці. У I групі неврологічних ускладнень не виявлено. У II групі частота ревізійних втручань при ускладненнях склала 7,2, етапних – 6,2 на пацієнта.

Фіксація хребта скобами (Vertebral Stapling). Цей метод розроблений за принципом закону Heuter - Volkmann [169]. Smith et al. [157] застосували техніку у трьох пацієнтів, але спроби виявилися безуспішними через міграцію імплантатів. Автори змогли створити і вперше імплантувати скоби в експерименті. Скоби розміщувалися над міжхребцевими дисками в прилеглих пластинках росту суміжних хребців. Методика не використовувалася до недавнього часу. Поява нових імплантатів з пам'яттю форми, вдосконалена хірургічна техніка та металоконструкції сприяло її відродженню. Скоби з нікеліду титану імплантуються в охолодженому стані і потім зберігають перпендикулярне положення по відношенню до кістки. Після того як вони нагріваються до температури тіла, відбувається корекція дуги деформації за рахунок поступового стиснення, що знижує ризик міграції імплантату.

У 2003 р Betz et al. [22] представили результати лікування 21 дитини із складними деформаціями хребта. Використовувався торакоскопічний доступ до тіл хребців. Повідомлялося про три незначних ускладнення. Потім автори розглянули підгрупу з 10 пацієнтів з терміном спостереження 22,6 місяці на предмет стабільності основної дуги. Критерії відбору - прогресування основної дуги на 6° і більше або до 50° . З урахуванням цих критеріїв 6 з 10 пацієнтів мали стабільний перебіг, у чотирьох деформація прогресувала.

Одному пацієнтові проведено дорсальний спонділодез з корекцією металоконструкцією. Через 2 роки Betz et al. [23] повідомили про результати лікування 39 пацієнтів. Критеріями прогресування вважалося збільшення дуги на 10° і більше. Успішно проліковані 87% пацієнтів старше 8 років з деформаціями не більше 50° . Період спостереження складав мінімум 1 рік. У жодного пацієнта з деформацією 30° або менше прогресування не діагностоване. В групі виявлено одне важке і п'ять незначних ускладнень.

Через деякий час McIntosh et al. [112] повідомили про результати лікування 28 пацієнтів з групи з терміном спостереження 3,2 років. Критеріями прогресування також вважалося збільшення дуги на 10° і більше. У всіх пацієнтів тест Risser дорівнює 0-1, величина сколіотичної дуги – від 20 до 45° . Лікування деформацій грудного відділу хребта величиною 35° і менше виявилось успішним в 77,7% випадків, деформації 20° і менше – в 85,7% випадків. Мобільні дуги кореговані на 50% і більше, успішно проліковані в 71,4% випадків. Неврологічні і механічні ускладнення відсутні. Спостерігалось два ускладнення, пов'язаних з формуванням діафрагмальної киля та протидуги викривлення. У двох випадках розвинувся ателектаз легенів. Автори зробили висновок, що при лікуванні деформацій величиною 35° і менше є високий ризик післяопераційного прогресування: при поперековій локалізації у 87% випадків, при грудній – у 79%. Лікування деформацій грудної локалізації з величиною дуги 35° і більше є неефективним.

Інструментарій Kaneda з'явився природним розвитком ідей Dwyer і Zielke. Торсія хребців, компонентом якої є патологічна ротація, являє собою основу механогенеза складної деформації хребта, тому безпосередній вплив на тіла хребців, котрі піддаються торсійним змінам найбільшою мірою, абсолютно обґрунтовано. Інструментарій Kaneda - перша вентральна система, побудована на принципі формування жорстких опорних структур. Два стрижня, розташовані на бічній поверхні тіл хребців, кріпляться до тіл хребців за допомогою пластинок, що представляють собою аналоги ДТТ з системи CDI. Таким чином, стрижні з пластинами формують жорстку чотирикутну

рамкову структуру. Високий ступінь жорсткості фіксації забезпечує незначну кількість ускладнень, що супроводжуються порушенням цілісності системи імплантат-хребет – переломів і зміщення імплантату, а також формування несправжніх суглобів блоку з втратою корекції.

Ще одним варіантом деротуючого вентрального інструментарію є HAFS (Hopf Anterior Fixation System), розроблений німецьким ортопедом Christian Hopf [67]. Набір включає складнопрофільні блоки, шурупи, стрижні, гайки та блокіратори. Надзвичайно важливою особливістю HAFS є та обставина, що він максимально адаптований до інструментарію Cotrel - Dubousset. Це значно спростило роботу хірургів, які використовують CDI для дорсальних втручань. Автор методу підкреслив, що імплантати є низькопрофільними - вертикальний розмір блоків при затягнутих гайках варіює від 7 до 11 мм. Інша важлива обставина – високий ступінь стабільності: за даними біомеханічних досліджень, система HAFS-хребет витримує до 5 мільйонів навантажень, що дозволяє в післяопераційному періоді повністю відмовитися від зовнішньої іммобілізації [52].

Застосування CDI з використанням деротаційного маневру забезпечує значну корекцію в сагітальній площині, дозволяє сформувати і зберегти існуючий фізіологічний грудний кіфоз і поперековий лордоз без розвитку сегментарного гіперлордозу нижче зони фіксації і розвитку ретролістезу останнього фіксованого хребця.. Для відновлення сагітального балансу на сьогоднішній день запропоновано кілька найбільш часто використовуваних методик в різних модифікаціях. Дані методики, спрямовані на відновлення поперекового лордозу.

Остеотомія за Smith-Petersen виконується при легкому і помірному сагітальному дисбалансі, коли необхідна корекція не перевищує 10° (на рівні остеотомії). Для успішного застосування даної методики необхідні відсутність переднього блоку на рівні остеотомії, адекватна висота міжхребцевого диска для забезпечення мобільності (корекція знаходиться на рівні диска) [108].

Остеотомія з клиноподібної резекції тіла хребця виконується при вираженому сагітальному дисбалансі, коли необхідність корекції перевищує 30°. Корекція при цьому проводиться на рівні тіла хребця, але не на рівні диска [79].

Таким чином, за літературними даними, у віддаленому періоді при використанні CDI втрата корекції має місце, однак значно менше, ніж при використанні попередніх методик. При цьому величина втрати корекції досить варіабельна, не завжди чітко вказуються причини діагностованих змін. Однак, ці аспекти, на наш погляд, значимі та вимагають уточнення. Розробка, освоєння, впровадження та вдосконалення металоконструкцій, а також методик хірургічного лікування відображає процеси інтеграції медицини та високотехнологічних галузей. Останнім часом з'явилося багато модифікацій металоконструкції Cotrel - Dubousset, одночасно змінюються і хірургічні технології оперативної корекції деформації, засновані на інших принципах, відмінних від класичної методики виправлення деформацій. І в даний час хірурги мають в арсеналі цілий ряд систем: Wisconsin segmental spinal system, Texas Scottish Rite Hospital (TSRH) system, Isola spine implant system, Moduloc posterior spinal system. Ці металоконструкції принципово схожі, але мають деякі конструктивні особливості, що визначають точне позиціонування елементів, зручності у використанні.

Хірургічне втручання може позитивно вплинути на якість життя пацієнтів зі складними деформаціями хребта, коли консервативні методи лікування виявляються неефективними. Оптимальна хірургічна тактика залежить від ретельної індивідуальної оцінки деформації хребта.

1.3. Використання гало-гравітаційної тракції при хірургічному лікуванні складних деформацій хребта у дітей: сучасний стан проблеми.

Неефективність консервативного лікування при складних деформаціях хребта у дітей стала передумовою інтенсивного розвитку різних методик та пристроїв для лікування та подальшої стабілізації [136]. В той же час, тактичні

підходи до лікування хворих зі складними деформаціями хребта можна визначити як наступні: відновлення біомеханіки та осі хребта, косметичний ефект, низький ризик ускладнень, надійність стабілізації, мінімальна втрата корекції.

Всі пристрої для лікування складних деформацій хребта умовно можна розділити на статичні (телескопічний різьбовий дистрактор Allan, дистрактор Harrington, методика Luque, система Котреля-Дюбоссе, системи внутрішньої транспедикулярної фіксації) і динамічні (конструкція Роднянського-Гупалова, двохпластинчастий ендокоректор, апарати для гало-тракції, апарати зовнішньої фіксації). З використанням спінальних інструментів третього покоління, таких як CDH, ISOLA та TSRH, корекція при складних деформаціях хребта отримала новий розвиток [23, 161].

Однак, лікування виражених сколіотичних деформацій у дітей залишається великим викликом для хірурга-вертебролога. Передопераційна гало-гравітаційна тракція може бути одним із варіантів забезпечення кращої корекції складних сколіотичних деформацій та мінімізації неврологічних ускладнень, пов'язаних із силовим інтраопераційним навантаженням. Деякі автори вивчали використання гало-гравітаційної тракції як одного з напрямків задньої реконструктивної хірургії при важкому сколіозі. При гало-гравітаційній тракції існує можливість поступового зменшення деформації та відновлення балансу тулуба за рахунок видовження хребта.

Ефективність методів витягіння при складних деформаціях хребта обумовлена їх можливістю вплинути на патогенез – тракції знімають пусковий механізм виникнення вертеброгенного та дискогенного болю (зменшують подразнення рецепторів м'яких тканин хребта, розривають «порочне коло» циркуляції больових імпульсів, зменшують венозний та лікворний застій, набряк зв'язок і корінців, знижують внутрішньодисковий тиск, зменшують ступінь випинання дисків за межі хребців та їх тиск на переднє внутрішнє венозне сплетення, задню поздовжню зв'язку, на нервово-судинні пучки в хребтовому каналі), відновлюють правильне анатомічне співвідношення

уражених хребцевих рухових сегментів (усувають підвивихи дуговідростчатих суглобів) [68]. Нерідко методики тракційного лікування передбачають лінійне витягіння за віссю тіла. Але, по-перше, прогноз швидкості і якості регресу симптомів визначається станом анатомо-топографічних і біомеханічних взаємовідносин між структурами всіх рухових сегментів, що мають максимальне статичне або динамічне навантаження, а не тільки тих, на яких виявлено декомпенсацію. По-друге, якщо пов'язувати ефективність тракції лише з механічною декомпресією нервово-судинних структур (тобто зі збільшення висоти міжхребцевої щілини на 1-2 мм лінійної тракції), то це може призводити до парадоксальної рефлекторної напруги м'язів спини і, як наслідок, до посилення радикулярного синдрому [173].

Стандартна техніка гало-гравітаційної тракції [189] є інтуїтивно зрозумілою: голова пацієнта міцно стискається гало-кільцем, і хірург проводить ручну корекцію після остеотомії з пацієнтом у сидячому положенні. За словами Simmons [153], ефективність методу може досягати 95%. За допомогою модифікованої методики [183] корекція частково проводиться інтраопераційно та завершується післяопераційно пацієнтом. Це дозволяє контролювати корекцію осьових обертань та реакцію на подразнення нервових корінців. В кількох дослідженнях представлені результати даної методики [31]. Зокрема, Bouchard [25] повідомив про два випадки інтраопераційної та поступової післяопераційної корекції модифікованою гало-гравітаційною тракцією. Під час хірургічного втручання один пацієнт переніс брадикардично-гіпотонічний епізод через вагусну активацію, що вимагало зменшення корекції. У іншого виявлено минущу С8-радикулопатію.

Поступова корекція на основі гало-гравітаційної тракції була використана Graziano [55] у п'яти пацієнтів із ригідним шийним кіфозом, пов'язаним з ревматоїдним артритом, впродовж 2–4 тижнів, з подальшим інструментальним зрощенням ззаду.

Yong Qiu et al. застосували гало-стегнову тракцію при важкому ідіопатичному та вродженому сколіозі у дітей. В дане ретроспективне

дослідження було включено 60 пацієнтів із вираженими складними деформаціями хребта. Період спостереження – 1998-2005 рр. Критеріями включення в дослідження були: вроджений або ідіопатичний сколіоз; лікування методом гало-стегнової тракції; відсутність попереднього хірургічного лікування. Вертикальні передньо-задні та бічні рентгенограми хребта проводились в передній проекції у передопераційному періоді, через 10 днів та 12 місяців після операції. Середня тривалість гало-стегнової тракції була співвідносною для пацієнтів з ідіопатичним ($22 \pm 6,3$ днів) та вродженим сколіозом ($25 \pm 9,4$ днів). Середня тягова вага становила 16 кг (в середньому 38%) загальної маси тіла пацієнтів. Четверо пацієнтів страждали на параліч плечового сплетення (1 хворий з вродженим сколіозом та 3 пацієнти з ідіопатичним сколіозом), повне відновлення нервової функції було досягнуто через два місяці спостереження після реабілітаційного періоду. Вірогідних відмінностей між двома групами за віковим та статевим розподілом не було. В цьому дослідженні для групи з ідіопатичним сколіозом середня величина доопераційної основної кривої становила $91,6^\circ$ (70° – 146°) і зменшувалась до $71,7^\circ$ (45° – 120°) при боковому вигині (середній ступінь корекції – 24,3%). Основна крива в середньому становила $58,1^\circ$ (діапазон 37° – 90°) в кінці періоду лікування, а середній ступінь корекції становив 39,3% ($28,6\%$ – $50,6\%$), з подальшим покращенням до $40,1^\circ$ (20° – 65°) після задньої корекційної операції. Середній кут Сobbа на період останнього спостереження становив $42,9^\circ$ (24° - 66°). Середня втрата корекції становила $2,9\% \pm 2,3\%$. Покращення глобального сагітального вирівнювання спостерігалось в обох групах: при ідіопатичному та вродженому сколіозі. Для пацієнтів з ідіопатичним сколіозом середній передопераційний грудний кіфоз становив $50,6^\circ$ (26° - 100°), який покращився до $30,6^\circ$ (22° - 50°) після операції на задньому відділі і стабілізувався на рівні $31,6^\circ$ (21° - 52°) при останньому спостереженні. Для випадків вродженого сколіозу початковий середній грудний кіфоз становив $70,2^\circ$ (в діапазоні 28° – 155°) і знижувався до 39° (11° – 82°) після операції. Величина торакального кіфозу хворих з вродженим сколіозом була

більшою, ніж у випадках ідіопатичного сколіозу ($t=-2,21$, $p=0,041$). Після хірургічного втручання різниця в швидкості корекції кіфозу між пацієнтами з ідіопатичним та вродженим сколіозом також була статистично значущою ($t=-2,59$, $p<0,016$) [128].

Таким чином, з розвитком методів корекції хребта та вдосконаленням апаратури складний та виражений сколіоз, який раніше було важко виправити, на сьогоднішній день став керованим захворюванням.

Halm et al. [61] вказують на успішні результати лікування тракційною методикою у пацієнтів з важким та складним сколіозом (кут Cobba більше 70° та індекс гнучкості на згинальних плівках менше 40%). В роботі Newton P.O. et al. наводяться результати лікування гало-гравітаційною тракцією в передопераційному періоді, метою якої було вирівнювання хребта, збільшення гнучкості та збільшення можливостей подальшої корекції. [116]. Tokunaga et al. [163] повідомили, що етапне лікування з гало-гравітаційною тракцією в передопераційному періоді є ефективним хірургічним методом для пацієнтів з важким сколіозом, на тлі вираженої хребтової деформації та ризику неврологічних ускладнень внаслідок силової корекції. Mehlman et al. [113] також наводять дані, що викладений протокол гало-стегнової тракції пропонує безпечний та контрольований підхід до зменшення важких деформацій хребта.

Аналізуючи історичну довідку, тракцію, як метод корекції деформації хребта, можна датувати 3500 р. до н. е. [71]. Perry та Nickel вперше представили гало-пристрій в 1959 році, в цей час гіпс використовувався для каудальної підтримки [120]. Тоді було винайдено кілька методів кол-тракції: галогравітація, гало-тазова та гало-стегнова [50, 73, 127]. Що стосується гало-тракції, Kane et al. [79] повідомили про серію досліджень 30 пацієнтів зі сколіотичною хворобою в 1967 році. Середня вихідна крива досягала 112° та знижувалась до 58° після останньої корекції. У чотирьох пацієнтів спостерігалось подразнення на місці штифтів. Парестезія розвинулась у 3 хворих, у 1 був параліч нерва-аддуктора; всі симптоми відновлювались із зменшенням тягових сил.

Librianto et al. [100] повідомили, що ефективність передопераційної гало-гравітаційної тракції при складному сколіозі становить 57%, а також 53% при застосуванні методу у 37 пацієнтів з паралітичним сколіозом. Rocos V. et al. [135] повідомили про використання галофemorальної тракції для лікування дітей з кутом деформації при вродженому сколіозі до 145°. Корекція деформації та функціональне покращення були досягнуті. Toll V.J. et al. [164] повідомляли про використання гало-гравітаційної тракції для лікування важкого сколіозу у 14-річного пацієнта з ДЦП. Пацієнт пройшов одну стадію переднього та заднього хірургічного синтезу хребта, при цьому, задню процедуру проводили під галофemorальною тракцією. Пацієнт добре реагував на хірургічне втручання та мав стабільну корекцію косого тазу.

Mehlman et al. [113] оцінив ефективність вирівнювання хребта при застосуванні гало-гравітаційної тракції при лікуванні важкої деформації у 2004 році. Двадцять чотири пацієнти отримували лікування шляхом гало-гравітаційної тракції в період між переднім та заднім хірургічним синтезом. Етіологія деформації включала ідіопатичний сколіоз, вроджений сколіоз, кіфоз Шейермана, нервово-м'язовий сколіоз та недосконалість остеогенезу. Корекція, отримана після тракції, становила, в середньому, 59% (14 – 100%). Подібні результати були отримані в повідомленнях Librianto D et al. [100], Taniguchi Y. et al. [161] та Chen J. та співавт. [29].

Leatherman [98] вперше представив двоступеневу процедуру лікування вродженого сколіозу, з передопераційною гало-гравітаційною тракцією. У його дослідженні середня корекція кривої, отримана після другого етапу, становила 45%, а корекція кіфозу – 44%. Згідно отриманих результатів було продемонстровано, що після хірургічного втручання корекція становила в середньому 45%, а величина грудного кіфозу зменшилася до 39° (11° – 82°) із середнім показником корекції 43%. Тобто, автори зробили висновок, що гало-гравітаційна тракція в передопераційному періоді є надзвичайно ефективною для лікування пацієнтів з важкою та складною сколіотичною деформацією. Виражена сколіотична крива, зазвичай, пов'язана зі значною деформацією в

сагітальній площині. У цьому ж дослідженні двадцять три пацієнти з ідіопатичним сколіозом та двадцять п'ять хворих із вродженим сколіозом мали передопераційний грудний кіфоз ($T5-T12 > 40^\circ$). Порівняно з пацієнтами з ідіопатичним сколіозом середній передопераційний грудний кіфоз при вродженому сколіозі був значно вищим (70° проти 50°). Автори зробили висновок, що гало-гравітаційна тракція забезпечує адекватну корекцію в сагітальній площині при складних деформаціях.

Ускладнення, пов'язані з даним методом, включають розпушення штифтів, поверхневі та глибокі інфекції штифтового тракту, в тому числі абсцес мозку як наслідок застосування гало-шпильок [76.]. Гало-гравітаційна тракція також супроводжується певними неврологічними ускладненнями [76.]. Voachie-Adjei O. et al. [24] повідомляють про 42 пацієнтів із важким складним сколіозом, пролікованих галогравітаційною тракцією. Параліч трицепса (2,38%) та параліч плечового сплетення (2,38%) спостерігався у ряді пацієнтів під час гало-тракції. Проте, в усіх пацієнтів впродовж двох місяців спостерігалось повне відновлення функції відповідних нервів. Вважається, що найбільш ймовірною причиною травми нервових стовбурів є надмірне розтягнення плечового сплетення. Параліч плечового сплетення, пов'язаний з гало-гравітаційною тракцією при важкому та складному сколіозі, згідно доступних даних, вважається тимчасовим зворотнім пошкодженням нервової функції.

В роботі Janus G.J.M. та співав. кут Cobb при кіфозі зменшився з 56° (діапазон $28^\circ-90^\circ$) до $42,5^\circ$ внаслідок гало-тракції до операції та становив 44° під час остаточного спостереження. Середня корекція кіфозу, при порівнянні кута Cobb до гало-тракції з такою при остаточному спостереженні, становила 12° (21%) ($p=0,001$) [75]. Автори також повідомляють про незначну втрату корекції після операції. За період лікування не спостерігалось суттєвих вікових відмінностей в результатах корекції сколіозу або кіфозу. Ускладнення лікування поділяли на такі, що виникали під час тракційного періоду, та такі, що виникали пізніше. Спочатку для фіксації під час гало-гравітаційної тракції

використовували лише шість штифтів. При зміщенні одного гвинта гало використовували вісім чи десять штифтів, надалі подальших випадків міграції не траплялося. Глибока раньова інфекція з'явилася на одному із головних штифтів без жодних наслідків. У одного пацієнта розвинувся ністагм та гіперрефлексія ніг, які зникли після зменшення тягової ваги [75].

В роботі Janus G. J. M. et al. у трьох випадках через кілька років після операції (1 рік; 3,3 та 4 роки відповідно) було відмічено часткову втрату корекції. У іншого пацієнта один стрижень зламався через 2 роки, а другий – через 3 роки, що призвело до втрати корекції [75].

На думку Karlin LI et al., витягіння імплантату є основним ускладненням при ідіопатичному сколіозі через низьку якість кісток [84]. Іншими авторами [81] описані переломи ніжок під час корекції спинномозкової кривини. Тому, в роботі Ling T. et al. був проведений спондилодез *in situ* з інструментарієм після корекції за допомогою гало-гравітаційної тракції. Суворопісляопераційна політика іммобілізації хребта в куртці на 7,5 – 18 місяців, на думку авторів, дозволить у майбутньому мінімізувати відмову приладів. Незважаючи на ці запобіжні заходи, через кілька років після оперативного втручання цими ж авторами зазначено відмову трьох гачків. З іншого боку, дана проблема, що спостерігалась через 2 і 3 роки в результаті псевдоартрозу, вказує на те, що потрібної сили можна досягти за допомогою сегментарного приладу. Ретроспективно іммобілізація хребта у одного дуже активного пацієнта була недостатньою, і розвинувся псевдоартроз [101].

Проте, якщо не проводити гало-гравітаційну тракцію у передопераційному періоді, автори повідомляють про травму спинного мозку та паралічі як найсерйозніші ускладненнями хірургічних операцій на хребті [139]. Вважається, що пацієнти із важкою та складною сколіотичною деформацією мають більший ризик цих ускладнень.

Натомість, Qi L. et al. в своїх дослідженнях показали, що гало-гравітаційна тяга є безпечним, добре переносимим та ефективним методом лікування цієї патології. У поєднанні з переднім вивільненням хребта та

задньою фіксацією, цей метод значно зменшує частоту серйозних ускладнень, таких як пошкодження спинного мозку, під час корекції важкої деформації хребта. Окрім того, результати корекції, отримані після витяжіння, були значно вищими [127].

Деякі автори застосовували гало-гравітаційну тракцію до операції або між передньою та задньою фіксаціями [66, 90, 116, 130]. Qiu et al. [128] показали 57,5% ефективність корекції основної кривої за допомогою гало-стегнової тракції після передньої хірургічної корекції перед тим, як братись за задню фіксацію. Однак, у чотирьох пацієнтів спостерігалось ушкодження плечового сплетення. Аналогічним чином, корекція 71% (середня крива вихідного стану становила 95° , кінцева середня крива становила 44°) була досягнута Mehlman et al. [113] за допомогою гало-стегнової тракції між передньою та задньою процедурами. Tokunaga et al. [163] показали середню корекцію 46% латеральної кривини, де гало-гравітаційна тракція застосовувалась міжопераційно. Перед плануванням процедури слід пам'ятати про різні ускладнення, пов'язані з гало-тракцією, такі як розхитування штифтів, інфекція штифтового тракту та, рідко, абсцес мозку та інші неврологічні побічні явища, пов'язані з тракцією [81].

Наведено безліч методів для досягнення адекватної корекції та успішних хірургічних результатів при лікуванні ідіопатичного сколіозу з кутом Cobba $>70^\circ$. Voachie-Adjei O. et al. [24] повідомили про задовільні результати з використанням гало-гравітаційної тракції та подальшої фіксації переднього та заднього відділів хребта у пацієнтів із кривими $>90^\circ$ та гнучкістю $<20\%$. В іншому дослідженні передопераційну гало-тракцію застосовували для лікування складних деформацій хребта з кривими $>90^\circ$ та гнучкістю $<30\%$ [24]. Також деякі автори пропонують гало-тракцію та фіксацію заднього відділу хребта для кривих $>80^\circ$ та гнучкості $<25\%$ [121]. Важливою знахідкою дослідження Sun K. et al. було те, що інтраопераційна гало-гравітаційна тракція дозволила первинному задньому приладу забезпечити належну стабілізацію кривих між 70° і 90° . Для кривих $>90^\circ$ корекцію застосовували із

задніми остеотоміями Сміта-Петерсона відповідно до гнучкості кривої [160]. Davies NR et al. [35] також використовували гало-гравітаційну тракцію для корекції кривих $>100^\circ$; автори повідомили, що середня величина передопераційної кривої зменшилася з 122° до 60° після операції (корекція 51%).

Дискутабельним питанням гало-гравітаційної тракції є швидкість корекції. В ряді досліджень повідомляється про різні результати корекції з використанням різних методів управління кривими $>70^\circ$. Зокрема, Neal KM et al. [115] використовували періопераційну галогравітаційну тракцію і домоглися корекції 35% у 19 пацієнтів з кутами Cobba від 63° до 100° . Kanagaraju V. та співавт. [77] використовували періопераційну гало-гравітаційну тракцію і отримали ефективність корекції 46% у 33 пацієнтів з кутами Cobba від 22° до 158° . У пацієнтів з кутами Cobba від 70° до 100° Gomez J.A. et al. [53] виконували передньо-задній синтез у 22 та задній синтез у 62 пацієнтів, повідомивши про ефективність корекції відповідно 58,5% та 44,3%. Wang Y. et al. [175] повідомили про ефективність корекції 54%, а Qi L. et al. [127] про 64% ефективність корекції із заднім синтезом у 15 (кути Cobba від 70° до 90°) і 50 (кути Cobba від 70° до 88°) пацієнтів, відповідно. У роботі Di Silvestre M. основний коефіцієнт корекції кривої становив 85,7%. Найважливішим фактором досягнення цієї ефективності була корекція кривої переважно пасивними засобами. Таким чином, високі показники корекції можуть бути досягнуті без хірургічних процедур, таких як передній синтез, задня остеотомія або резекція хребта [36].

Дискутабельним залишається поєднане застосування гало-гравітаційної тракції та хірургічного лікування. Mehmet Nuri Erdem et al. повідомляють, що у важких хворих на ідіопатичний сколіоз з кутами Cobba від 70° до 90° використання інтраопераційної гало-гравітаційної тракції разом із задньою хірургічною корекцією є ефективним та надійним методом. Поступове збільшення сили корекції зменшує ризик будь-якого неврологічного дефіциту; полегшує хірургічну тактику, особливо при введенні гвинта на верхівці

кривої; і забезпечує високу ефективність лікування. Інші переваги методу включають уникнення потенційних ускладнень, пов'язаних з хірургічним втручанням, остеотомією або резекцією хребта, та досягнення фронтальної та сагітальної корекцій, подібної до такої при комбінованих операціях [43].

Розглядаючи ускладнення при поєднаному застосуванні гало-тракції та хірургічного лікування, варто відмітити ряд досліджень. Зокрема, у серії робіт Neiko Koller et al. з 18 пацієнтами зі складною сколіотичною деформацією, які отримували лікування за допомогою поступової корекції на основі гало-тракції, основні ускладнення виникли у 68%, включаючи три значні неврологічні події (17%). Ревізійна операція була показана у 28% [89]. Ускладнення, пов'язані з гало-гравітаційною тракцією, були низькими (n=3) [87].

За повідомленням Hwang CJ. [71] серед 188 пацієнтів 23% мали ускладнення, серед яких 82% були транзиторними та мали форму С8-радикулопатії. Постійні неврологічні ускладнення становили 4%.

Питання щодо визначення чітких показань до гало-тракції при складній сколіотичній деформації також потребує верифікації. Zhang H. Q. et al. дійшли висновку, що слід рекомендувати гало-гравітаційну тракцію та подальший інструментальний синтез для зменшення ризику ускладнень підвивиху та зворотньої деформації. Рекомендації авторів відповідають досвіду, отриманому в результаті тривалого спостереження, коли двоє з трьох пацієнтів перенесли неврологічний дефіцит під час гало-тракції грудного відділу. Аналіз даних літератури показав, що складні деформації хребта можна розділити на такі, що потребують проведення гало-гравітаційної тракції та не потребують хірургічного втручання; ті, де показано хірургічне лікування та не показана передопераційна тракція, а також категорію, де необхідним є проведення гало-тракції з подальшим хірургічним втручанням. Даною стратифікацією підкреслюється, що потрібно проводити оцінку можливих ускладнень та розглядати недоліки методів в кожному конкретному випадку. Особливою проблемою є відсутність контролю під час корекції та післяопераційної

мобілізації, втрата корекції та інвалідність при тривалій іммобілізації гало-тракцією [185]. В деяких випадках неконтрольоване застосування методу призводить до ураження спинного мозку та неврологічного дефіциту [21].

Окрім того, Wang Z.P. [176] вперше провів велике дослідження, присвячене лікуванню сколіозу при недосконалому остеогенезі. Цікавим є той факт, що лікування проводив 51 хірург-ортопед у 14 країнах. Зі 121 пацієнта, який лікувався від сколіозу, 60 перенесли хірургічне втручання на хребті; у 55 застосовувався задній синтез. Середня тривалість спостереження становила 3 роки. Частота ускладнень була високою у пацієнтів, які перенесли лише задній синтез; у 16 із 39 пацієнтів було одне або кілька ускладнень. Частота ускладнень була пов'язана із важкістю сколіотичної деформації.

В той же час, автори зазначають, що стабілізація має вищий пріоритет, ніж корекція. Гало-гравітаційна тракція дає можливість частково виправити важкий сколіоз до операції. Оскільки сколіотична деформація також характеризується слабкістю зв'язок [154], ми припускаємо, що ефективність пояснюється передопераційною трансформацією сколіотичного хребта за допомогою гало-гравітаційної тракції. Збільшення післяопераційного кута Cobba при тривалому спостереженні в середньому на 7° , можна порівняти з 8% післяопераційним збільшенням у дослідженні Shimizu T. et al. [151]. Середній кут кіфозу Cobba після операції погіршився на 3° [151].

Сегментарна спінальна апаратура пропонується для найкращого розподілу силового навантаження в деформованому відділі хребта. Zarei M. віддає перевагу стрижням Луке та підламінарним проводам, але на даний момент про результати цієї методики не повідомляється в достатньому обсязі [184]. Hanscom et al. та співавт. рекомендують використовувати сегментарну контрольну-вимірну техніку та прагнути до меншої корекції [138]. На жаль, в разі ізольованого застосування цієї методики повідомлялося про трьох пацієнтів з погіршенням кривизни при тривалому спостереженні. Основна мета – розподіл сил уздовж хребетного стовпа. La Barbera L. описали використання метилметакрилатного цементу у чотирьох пацієнтів, для

фіксації [92]. Tøndevold N. et al. представили пацієнта, у якого розвинувся псевдартроз, стабілізований за допомогою стрижнів Харрінгтона та ММА [165].

Незважаючи на тривалий період гало-гравітаційної тракції, більшість дослідників не відзначають жодних важких ускладнень чи серйозного дискомфорту пацієнтів. Потенційні переваги корекції та стабілізації хребта доведені багатьма авторами. Проте, через слабкість зв'язок та м'язів, значна частина пацієнтів має в подальшому рецидиви, які можна попередити за рахунок спондилодезу. Також, слід пам'ятати, що значне покращення функціональної здатності рідко спостерігається у важких хворих [41]. У цих пацієнтів, скоріше, спостерігається стабілізація функціонального стану [115].

За даними деяких досліджень грудні викривлення від 50° до 75° з часом прогресували на 30° за 40-річний період спостереження [181], за даними Edgar M на $0,5^\circ$ на рік [41], викривлення більше 60° за даними Weinstein SL прогресували до 85° за 50-річний період спостереження [177]. Значні кіфосколіотичні деформації викликають зниження функції легень, а при викривленні від 60° до 100° загальна ємність легень знижується до 68%.

Життєва ємність легень нижче 45% від необхідної та кут Cobba більше 110° були факторами ризику розвитку дихальної недостатності та ранньої смерті [122].

За проведеним аналітичним оглядом літератури було визначено, що у пацієнтів з деформаціями хребта $>100^\circ$ ефективною методикою хірургічного лікування є використання гало- гравітаційної тракції першим етапом, що дає можливість зменшити ризику інтраопераційних ускладнень, зменшити час хірургічного втручання та покращити результати хірургічної корекції.

Таким чином, ефективність, методологія та віддалений прогноз при застосуванні гало-гравітаційної тракції у пацієнтів зі складними сколіотичними деформаціями до цього часу залишається спірним питанням. Більшість дослідників дійшли висновку, що передопераційна тракція необхідна лише при складних та ригідних деформаціях хребта.

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи галогравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.
2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Яресько ОВ, Карпінський МЮ. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей. Травма. 2021; 6 (22): С.19-25.
3. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Карпінська ОД. Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні галогравітаційної тракції. Травма. 2022; 1 (23): 36-42.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Розподіл пацієнтів на групи.

Дизайн дослідження - відкрите, порівняльне, одноцентрове, проспективне, не рандомізоване клінічне дослідження 76 пацієнтів від 7 до 17 років зі складними сколіотичними деформаціями хребта, які проходили лікування в клініці кафедри дитячої хірургії Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (на базі хірургічних відділень НДСЛ «ОХМАТДИТ» м. Київ) в період з 2009 по 2019 рр.

Пацієнти були поділені на дві групи: I (дослідна група) – 38 дітей, яких лікували з використанням гало-гравітаційної тракції з використанням розробленої тактики етапного хірургічного лікування; II (контрольна група) – 38 дітей, яким виконували одномоментну хірургічну корекцію.

Вік дітей в I групі становив $(11,0 \pm 2,8)$ роки, у II групі $(11,2 \pm 2,8)$ роки, вік дітей в групах статистично однаковий ($t=-0,409$; $p=0,684$).

В групах було 28 (36,8%) хлопчиків та 48 (63,2 %) дівчат. Розподіл пацієнтів в групах по статі наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Розподіл пацієнтів в групах по статі

Групи		Стать	
		Хлопчики	Дівчата
I (дослідна) (n=38)	Абс	18	20
	% в групі	47.4	52.6
	загальний %	23,7	26,3%
II (контрольна) (n=38)	Абс	10	28
	% в групі	26.3	73.7
	загальний %	13,2	36,8
Всього	Абс (%)	28 (36,8%)	48 (63,2%)
Стат. значущість між групами (χ^2 , p)		$\chi^2=3,619$, $p=0,057$	

У I групі кількість хлопчиків (18 (47,4 %)) та дівчат (20 (52,6 %)) була майже однаковою, у II групі переважала кількість дівчат (28 (73,7 %)) (рис. 2.1), але різниця по статі між групами не досягла статистично значущого рівня ($p=0,057$).

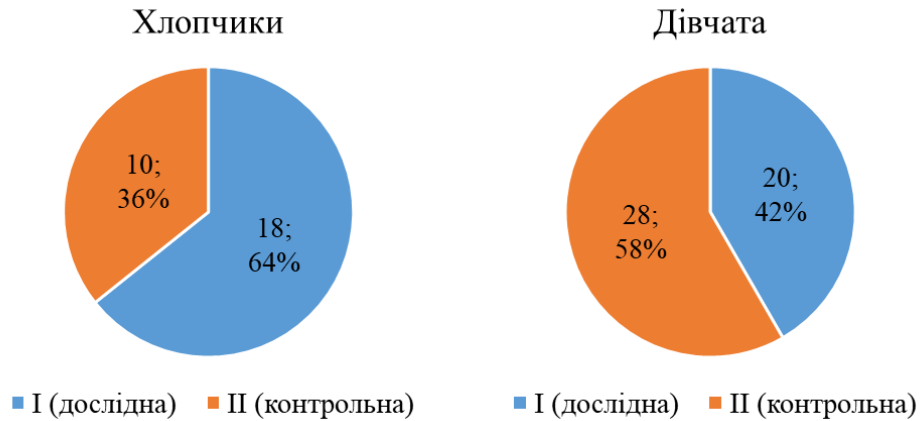


Рис. 2.1 Розподіл по статі в групах пацієнтів.

В таблиці 2.2 наведено рівень первинної сколіотичної деформації в групах.

Таблиця 2.2

Розподіл хворих за величиною первинної сколіотичної деформації

Група	Величина первинної сколіотичної деформації (град.)			
	по групі	хлопці	дівчата	t, p
I	108,0 ±6,0 100÷1 21	109,2± 7,7 100,0÷1 21,0	107,0± 3,7 101,0÷ 113,0	t=1, 109 p=0, 279
II	106,1 ±4,5 100÷1 17	107,7± 3,8 103,0÷1 14,0	105,5± 4,6 100,0÷ 117,0	t=1, 364 p=0, 181
Стат.значу щість різниці між груп ами	t=1,6 04 p=0,1 13	t=1,10 9 p=0,279	t=1,364 p=0,181	

За даними статистичного аналізу показано, що за первинним рівнем сколіотичної деформації групи дітей були однаковими ($p=0,113$), також не виявлено статистичної різниці у величині деформації у хлопців і дівчат як у межах груп (I – $p=0,279$; II – $p=0,181$) так і між групами (хлопців – $p=0,279$; дівчата – $p=0,181$).

У I групі супутня патологія виявлена у 7 пацієнтів (18,4%): у 4 (10,5 %) – інфундибулярна деформація грудної клітки; 2 (5,3 %) мали вроджену клишоногість; 1 (2,6 %) пацієнт мав шийну деформацію грудної клітини.

У другій групі супутня патологія була у 10 пацієнтів (26,3 %): у 2 (5,3 %) фундибулярна деформація грудної клітки; 1 (2,6 %) мав вроджену клишоногість, 4 (10,5 %) деформацію грудної клітки, 3 (7,9%) мали вроджений вивих стегна.

У 67 (92 %) пацієнтів обох груп лікування проводили при завершеному рості хребта, про що свідчить середній показник тесту Ріссера, CRITOE тест, рентгенологічні дослідження осифікації ліктьового відростка, тесті Танера.

2.2. Рентгенографічне дослідження

Рентгенограми вимірювали у фронтальній та сагітальній процинах на наявність сколіозу, кіфозу, лордозу. Сегментарну криву вимірювали як кут між верхньою та нижньою кінцевими пластинами напівхребців на задньо-передній рентгенограмі у положенні стоячи. Основна крива вимірювалася як кут Cobba двох найбільш нахилених хребців. Компенсаторні краніальні та каудальні криві також вимірювалися як кути Cobba. Коронарний баланс визначали як відстань від вертикальної лінії C7 до центральної крижової лінії на фронтальній рентгенограмі в положенні стоячи, сагітальний баланс визначали як відстань від вертикальної лінії C7 до задньо-верхнього кута тіла S1 на рентгенограмі стоячи на бічній рентгенограмі. Поперековий лордоз був представлений кутом між верхніми кінцевими пластинками L1 та S1 (рис. 2.2)

При клінічному виявленні порушень балансу хребта пацієнтам проводилася постуральна рентгенографія (із захопленням нижньошийного

відділу хребта та верхньої третини стегнових кісток) у прямій та бічній проекціях стоячи.

Сагітальні вимірювання включали глобальні сагітальні хребетні параметри - грудний кіфоз (ТК – toracal kyphosis) (кут по Cobb вимірювався по нижніх замикальних пластинках Th4 і Th12), поперековий лордоз (LL – lumbar lordosis, кут по Cobb вимірювався по верхніх замикальних пластинкам L1 і S1), тазові параметри – нахил крижів (SS – sacral slope), нахил таза (PT – pelvic tilt) та тазовий індекс (PI – pelvic incidence).

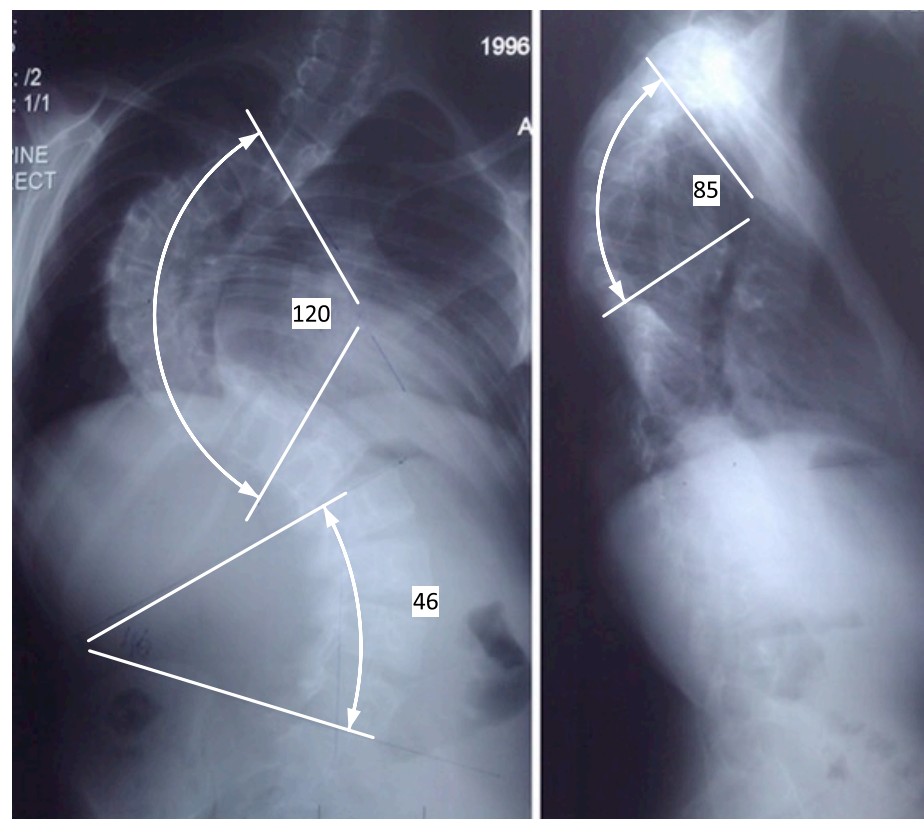


Рис. 2.2. Визначення глобальних фронтальних та сагітальних параметрів

При народженні та у грудному віці хребет людини утворює рівномірну дугу від верхньошийного відділу до крижів. По мірі зростання скелета та зі зміною активності дитини в різних відділах хребта утворюються фізіологічні вигини: поперековий лордоз, грудний кіфоз та шийний лордоз, що призводить до формування сагітального профілю хребта, характерного для здорової

дорослої людини. Кожен із фізіологічних вигинів хребта грає важливу роль у формуванні сагітального балансу загалом.

Поперековий лордоз (LL). Поперековий лордоз починає формуватися, коли дитина вчиться сидати та ходити. Рентгенологічний показник поперекового лордозу вимірюється за методом Cobb між верхніми замикальними пластинками L1 та S1 хребців [151]. Показники LL можуть суттєво відрізнитися залежно від статі, віку, раси та інших демографічних факторів [174]. У нормі величина поперекового лордоза має відносно постійне взаємини з тазовим індексом, описаним нижче, і їхня різниця варіює в межах 10° один від одного [39, 99, 171].

Грудний кіфоз (ТК). Рентгенологічний вимір кута грудного кіфозу проводиться за методом Cobb, як правило, між верхньою замикальною пластинкою Th4 і нижньою замикальною пластинкою Th12. Через велику довжину грудного відділу хребта, кіфоз може грати компенсаторну роль щодо глобального сагітального балансу [148]. У деяких випадках, значне збільшення грудного кіфозу спостерігається в мобільних сегментах цього відділу після виконання коригуючої остеотомії в поперековому відділі [163]. У зв'язку з цим, межі норми показників ТК є досить відносними і мета виміру ТК полягає скоріше у визначенні глобальних параметрів деформації.

Хребетно-тазові параметри. Хребетно-тазовий баланс відображає взаємодію між рухомими сегментами хребта та таза, від якого залежить розташування центру тяжіння тулуба щодо тазостегнових суглобів.

Вперше клінічне значення конфігурації тазу та його взаємини з хребтом відзначалося Duval-Beaupere [39, 99]. Основними параметрами хребетно-тазових взаємин є: тазовий індекс (Pelvic incidence – PI), який є постійною анатомо-морфологічною величиною, нахил таза (Pelvic tilt – PT) та нахил крижів (Sacral slope – SS), які, у свою чергу, залежать від загального балансу хребта та можуть змінюватись в залежності від пози пацієнта та внаслідок хірургічного лікування. Дані параметри мають досить чіткий взаємозв'язок,

який можна представити за допомогою спрощеної математичної формули $PI=PT+SS$ (рис.2.3).

Тазовий індекс (PI). Тазовий індекс визначається кутом між перпендикуляром від центральної точки замикальної пластинки S1 і лінією, що з'єднує цю точку з центром бікоксофеморальної осі (у разі розбіжності контурів головок стегнових кісток, щоб уникнути проекційного спотворення обчислень, як орієнтир використовується центральна точка сегмента, що з'єднує центральні точки головок стегнових кісток) [99]. Для кожної людини цей морфологічний параметр постійний і індивідуальний і визначається просторовою конфігурацією тазу.

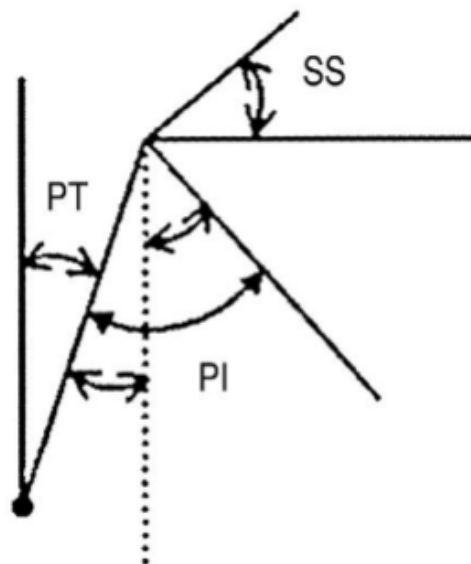


Рис. 2.3. Діаграма, що відображає геометричні взаємини хребетно-тазових параметрів: PT – нахил таза, PI – тазовий індекс, SS – нахил крижів.

Нахил крижів (SS). Оскільки осьовий скелет людини пристосований до активного руху, переміщення в просторі, просторове положення таза щодо хребта відіграє важливу роль в оцінці сагітального балансу. Нахил крижів у сагітальній площині на рентгенограмах представлений кутом між площиною верхньої замикаючої пластинки S1 та горизонтальною лінією (рис. 2.4). Отже, значення SS визначаються просторовим розташуванням таза.

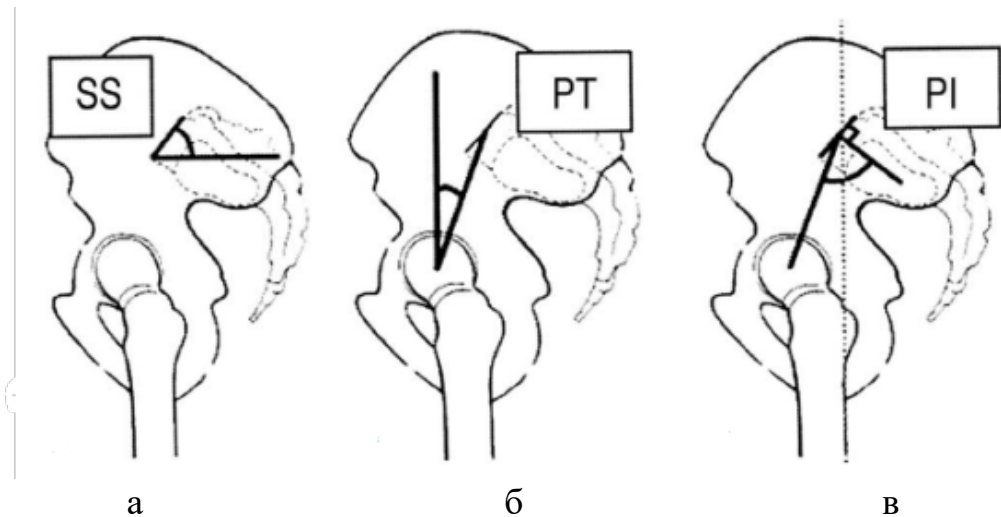


Рис. 2.4. Схематичне відображення тазових орієнтирів та кутів, що утворюються кожним із базових хреботно-тазових параметрів. SS – нахил крижів, PT – нахил тазу, PI – тазовий індекс.

Нахил тазу (PT). Нахил тазу (PT) відображає розташування тазу в просторі і відповідає куту між вертикальною лінією та лінією, що з'єднує центральну точку площини замикаючої пластинки S1 з віссю головок стегнових кісток. Цей параметр визначає ступінь ротації (ретро- або антеверсії) тазу навколо осі головок стегнових кісток, забезпечує положення тазу, що дозволяє підтримувати вертикальне положення. У дослідженні Lafage та співавт. було встановлено чіткий взаємозв'язок між нахилом тазу та клінічними результатами хірургічного лікування [93,94].

2.3. Дослідження функції дихання.

Пацієнтам в процесі лікування проводився контроль функції зовнішнього дихання. Показники реєстрували спірометром Vitalograph ALPHA № 011734.

Через велику варіабельність віку дітей, були обрані відносні показники спірометрії. Параметри, які вимірювали у пацієнтів до лікування, після галогравітаційної тракції (І група) та після хірургічної корекції:

Форсована життєва ємність легень (ФЖЕЛ, %) – об'єм повітря, яке можна видихнути пацієнт при форсованому видиху після максимального вдиху (норма 90% і більше).

Об'єм форсованого видиху за 1 с (ОФВ1, л/с) – об'єм повітря, яке пацієнт видихає за першу секунду при максимально швидкому видиху. Здорові діти за першу секунду видихають не менше 80% ФЖЄЛ.

Індекс Тиффно (ІТ, %) – відношення ОФВ1 до ФЖЄЛ. В нормі індекс дорівнює 85-95%.

Для аналізу обирали показники трьох повторюваних спроб з шести проведених, які відрізнялися не більше ніж на 5% за означеними показниками. Визначено тип вентиляційної недостатності та її тяжкість згідно з рекомендаціями Європейського респіраторного товариства та Американського торакального товариства [54].

Ступінь вентиляційних порушень визначали за показниками ОФВ1 (табл. 2.3)

Таблиця 2.3

Ступені вентиляційних порушень у дітей

Показник ОФВ1	Ступінь важкості
більше 80 %	відсутні
70-79	1-а
50-69	2-а
35-49	3-я
Менше 35	Вкрай важка

Спірометрію було проведено у 26 пацієнтів І групи та 22 пацієнтів ІІ групи.

2.4. Дослідження неврологічного стану.

Всім пацієнтам до та в процесі лікування проводили оцінку нейрофізіологічного стану.

Електронеуроміографія (ЕНМГ) – метод інструментальної діагностики, що дозволяє оцінити скорочувальну здатність м'язових волокон, стан нервової системи, м'язів та суглобів.

Обробка даних здійснювалася в пакеті аналізу нейрофізіологічних даних NeuroExplorer 7.0.1.0 (InoMed).

Нейромоніторинг здійснювали з м'язів Rectus abdominis, Vastus lateralis, Tibialis anterior та Abductor hallucis з правого та лівого м'яза.

2.5. Математичне моделювання.

При побудові розрахункової моделі за основу були взяті геометричні моделі різних ділянок хребта, розроблених в лабораторії біомеханіки ДУ «ІППС імені М.І. Ситенка НАМН України», в основу будови яких закладена методика створення моделі по геометричним перетинам, отриманим з томографічних знімків. У модель були внесені такі зміни, відповідно до мети дослідження: деформація хребта 70° та 100° ; додано модель черепа; додано модель гало-гравітаційної тракції та її фіксацію до черепа.

На першому етапі моделювання з урахуванням перерахованих вище змін було побудовано два варіанти розрахункової моделі (рис. 2.5):

модель з деформацією хребта 70° та фіксацією у системі гало-гравітаційної тракції 6 гвинтами;

модель з деформацією хребта 100° та фіксацією у системі гало-гравітаційної тракції 6 гвинтами.

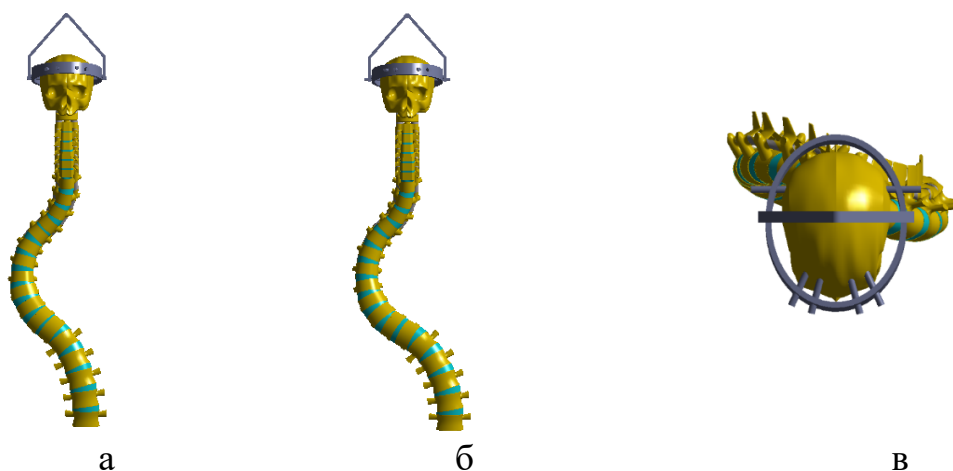


Рис. 2.5. Розрахункові моделі:

а) деформація хребта 70° ;

б) деформація хребта 100° ;

в) фіксація у системі гало-гравітаційної тракції з фіксацією 6 гвинтами.

На наступному етапі, відповідно до мети дослідження в модель були внесені наступні зміни: деформація хребта 40° , 70° і 100° , додано модель стрижневого апарату для заднього спондилодезу хребців Th1-Th12. Зовнішній вигляд моделей наведено на рис. 2.6.

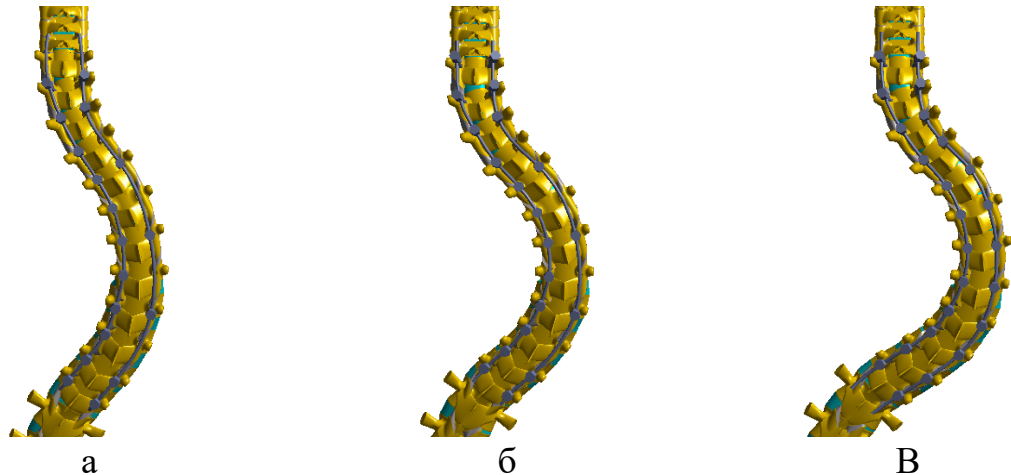


Рис. 2.6. Розрахункові моделі хребта при задньому спондилодезі хребців Th1-Th12:
а) деформація хребта 40° ; б) деформація хребта 70° ;
в) деформація хребта 100° .

Матеріал вважався однорідним та ізотропним. При виборі властивостей кісткових структур ми ґрунтувалися на даних, що найчастіше зустрічаються у літературі [88, 172]. Характеристики E – модуль пружності (модуль Юнга), ν коефіцієнт Пуассона зведені в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4

Механічні характеристики використовуваних матеріалів.

Матеріал	Модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
Кортикальна кістка	12000	0,3
Губчаста кістка	100	0,2
Хрящ	5,58	0,45
Міжхребцевий диск	450	0,3
Сталь	210000	0,3

Схема навантаження для гало-гравітаційної тракції з фіксацією представлена на рис. 2.7. Основним навантаженням є сила, спрямована вгору

і прикладена до німбу гало-гравітаційної тракції з фіксацією конструкції. Величина сили приймалася рівною половині ваги тіла і дорівнювала $P = 300 \text{ Н}$ [175]. Нижню площину тіла хребця L5 зафіксовано.

Побудова геометричної моделі проводилося у програмі SolidWorks. Для вирішення поставленого завдання було використано метод скінченних елементів [187].



Рис.2.7. Схема навантаження моделі:
а) гало-гравітаційна тракція; б) без тракції

В якості оцінки напруженого стану обрані напруги Мізесу, як найбільш інформативний вид загального напруженого стану.

2.6. Статистичні методи.

Отримані дані були оброблені статистично. Визначали середнє (M), стандартне відхилення (SD), мінімальне (min) та максимальне (max) значення параметрів. Порівняння для повторних вимірювань (періоди спостереження) проводили за допомогою парного Т-тесту, порівняння між групами пацієнтів здійснювали за допомогою Т-тесту для незалежних вибірок з визначенням критичного значення критерію (t), статистичного значення (p). Аналіз номінальних даних проводили за допомогою критерію χ^2 Пірсона. Критичний рівень значущості $p < 0.05$ [45]. Розрахунки проводили в пакеті IBM SPSS Statistic 20.0

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Яресько ОВ, Карпінський МЮ. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей. Травма. 2021; 6 (22): С.19-25.

2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Дуда ЛВ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями. Хірургія дитячого віку. 2021; 3 (72): 10-14.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТРАКЦІЇ ПРИ ДЕФОРМАЦІЯХ ХРЕБТА У ДІТЕЙ

Системи гало-гравітаційної тракції широко застосовуються у провідних клініках світу, як етапний метод корекції складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта у дітей. На сьогоднішній день не існує єдиного підходу використання даної методики і кожен лікар приймає рішення, щодо схеми лікування емпірично, спираючись на свій клінічний досвід.

Моделювання корекції деформацій хребта на математичних моделях дозволяє без хірургічного втручання провести аналіз ефекту різних методів лікування у декількох варіантах.

Найбільш широке поширення з кінця минулого століття набуло моделювання біомеханічних систем методом скінченних елементів (МСЕ), який у поєднанні з експериментальними методами дає змогу отримати достовірні результати.

Одна з перших простих моделей з використанням МСЕ для моделювання зусиль з метою корекції складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта була приведена в роботі за 1988 рік [50].

Подальший розвиток моделювання деформацій хребта дозволив побудувати геометрично та фізично складніші МСЕ моделі. Так у роботі [96] проводився аналіз складної тривимірної моделі хребта у передопераційному положенні на боку, що моделює зміни хребта внаслідок переходу із положення стоячи.

Переважно скінченно-елементний аналіз проводився для різних моделей хірургічного втручання при лікуванні сколіозу [4, 10, 94, 95, 102, 144].

При дослідженні тракційних способів лікування застосовувалися переважно експериментальні методи досліджень. Більша кількість робіт з них присвячена визначенню кількості гвинтів, які застосовуються у системі гало-гравітаційної тракції [84], або їх оптимальному розташуванню [150].

У роботі [46] автори на плоскій МСЕ моделі розглядають напружений стан кісток черепа в області входу гвинтів в кістку.

Слід зазначити роботу [88], де автор пропонує швидкий спосіб оцінки вибору зусиль для тракційних механізмів на основі індивідуальних параметрів пацієнта. Методи, що використовуються у цій статті, засновані на математичному моделюванні сил, що задіяні у роботизованих пристроях для корекції хребта, з використанням диференціальних рівнянь моделювання стрижня.

3.1. Система гало-гравітаційної тракції – деформація хребта 70°.

Аналіз моделі показав, що найбільш напруженими областями є блок хребців T2-T5, хребець L1 та області входу гвинтів в кістки черепа (рис.3.1). Так, у блок хребців T2-T5 найбільш напруженим є хребець T2, де рівень напруженого стану в тілі хребця досягає величини 21,4 МПа. У тілі хребця T5 максимальне значення напруги по Мізесу дорівнює 21,3 МПа, а тілі хребця T4 – 18,6 МПа. У блоці хребців L1-L5 більш напруженим є хребець L1 де рівень напруженого стану досягає величини 4,7 МПа (рис. 3.1). Більш напруженим є області тіл хребців зліва, як грудного відділу, так і поперекового.

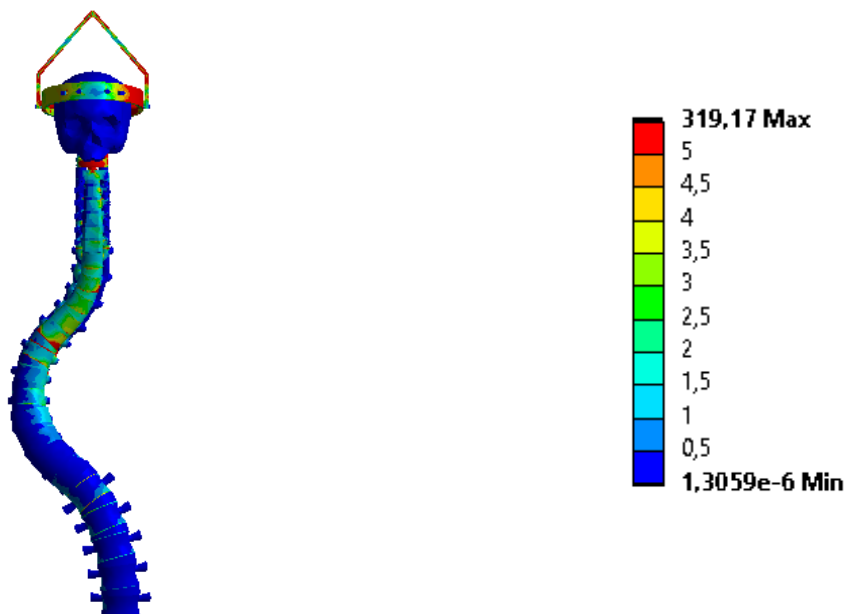


Рис. 3.1. Напруження за Мізесом у розрахунковій моделі – передній вигляд.

У місцях входу гвинтів у кістки черепа рівень напруженого стану змінюється не більше 2,2 – 5,4 МПа (рис.3.2.), більш напруженими є задні області.

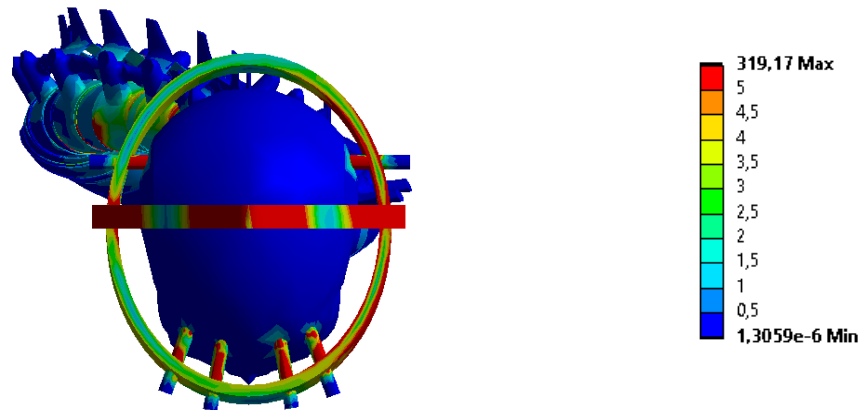


Рис. 3.2. Напруження за Мізесом у розрахунковій моделі – вигляд зверху.

Найбільш напруженими ділянками розрахункової моделі є області вигину хребта у фронтальній площині. У грудному відділі хребта найбільш напруженими є хребці T2 і T5. У поперековому відділі хребта найбільш напруженими є хребець L1. В області входу гвинтів кріплення в кістку рівень напруженого стану не високий, задні ділянки більш напружені.

3.2. Система гало-гравітаційної тракції – деформація хребта 100°.

Аналіз моделі НДС показав, що як і для моделі з деформацією 70°, так і для розрахункової моделі найбільш напруженими ділянками є блок хребців T2-T5, L1 та ділянки входу гвинтів в кістки черепа (рис. 3.3). Так в блоці хребців T2-T5 найбільш напруженим є хребець T4, де рівень напруги в тілі хребця досягає значення 33 МПа (18,6 МПа для моделі з деформацією 70°). В тілі хребця T5 максимальне значення напруги за Мізесом становить 28,8 МПа (21,3 МПа для моделі з деформацією 70°), а в тілі хребця T2 - 27,1 МПа (21,4 МПа для моделі з деформацією 70°). У блоці хребців L1-L5 хребець L1 більш напружений, де рівень напруги досягає значення 6,1 МПа (4,7 МПа для моделі з деформацією 70°).

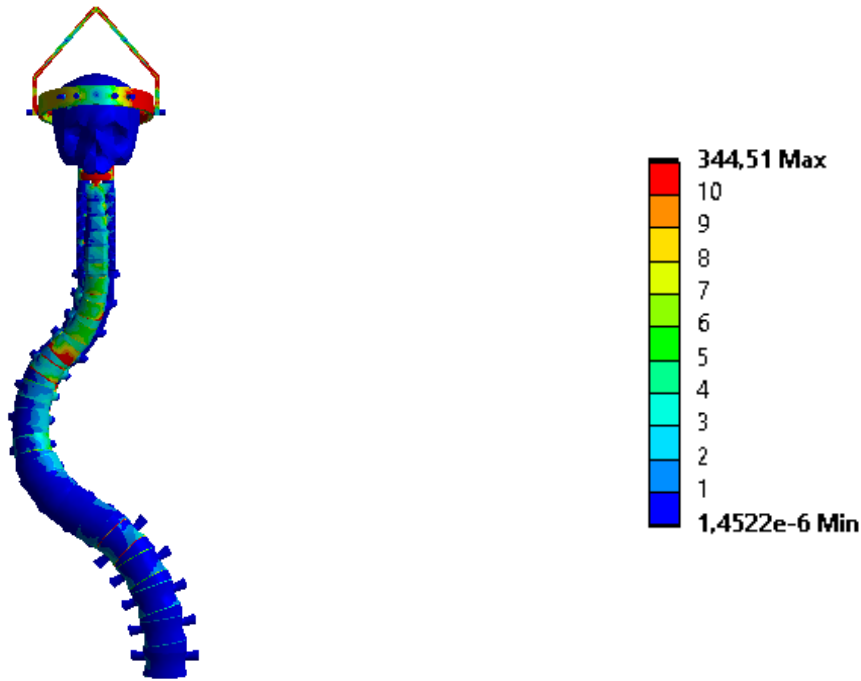


Рис. 3.3. Напруження за Мізесом у розрахунковій моделі – передній вигляд

На вході стрижнів в кістки черепа рівень напруги варіюється в межах 2,4 - 6,5 МПа (рис.3.4), задня ділянка більш напружена.

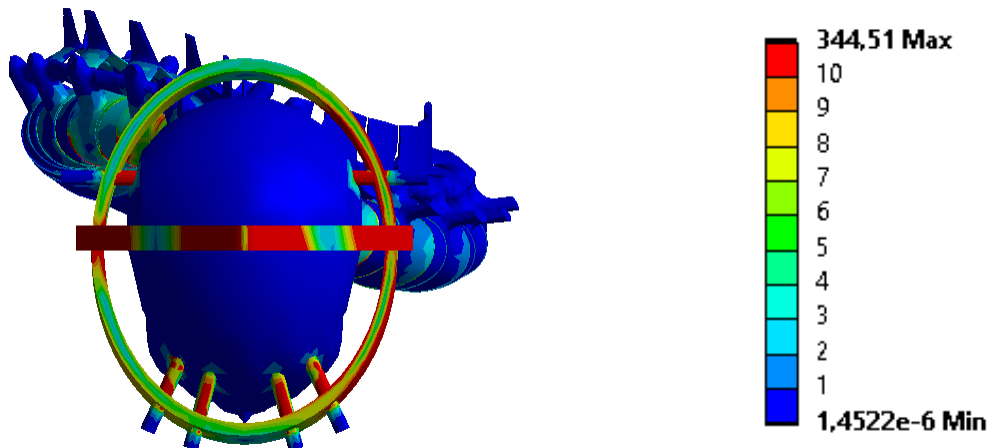


Рис. 3.4. Напруження за Мізесом у розрахунковій моделі – вид зверху.

Розрахунок показав, що найбільш напруженими ділянками в розрахунковій моделі є області викривлення хребта во фронтальній площині. У грудному відділі хребта найбільш напруженими є хребці Т2 і Т4, в поперековій області - хребець L1. В області введення гвинтів в кістку рівень напруги не високий, задня ділянка більш напружена.

На рис.3.5 та 3.6 представлено порівняння напруженого стану в тілах хребців грудного та поперекового відділів за різного ступеня деформації.

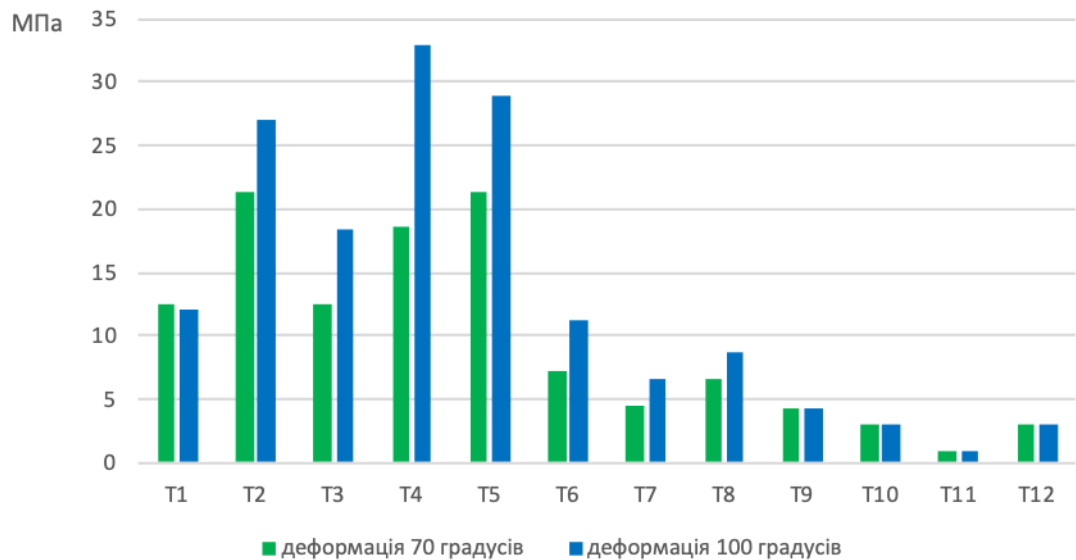


Рис. 3.5. Величини напруги за Мізесом у грудному відділі хребта при деформації 70° та 100°.

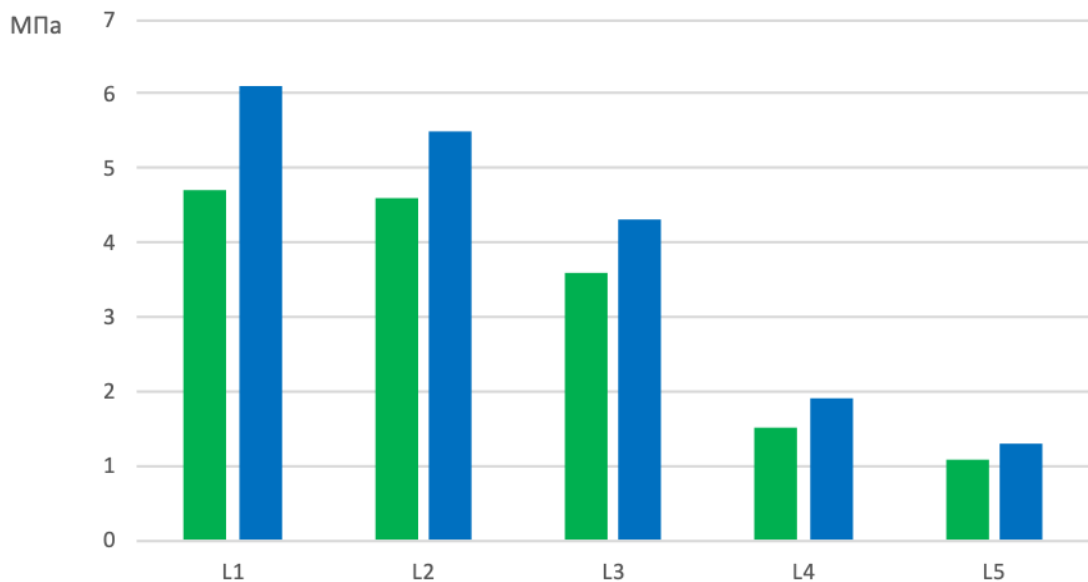


Рис. 3.6. Величини напруги за Мізесом у поперековому відділі хребта при деформації 70° та 100°.

При використанні системи гало-гравітаційної тракції з фіксацією найбільш навантаженою частиною хребта є область хребців T2-T5. Слід зазначити, що зі збільшенням ступеня деформації навантаженими стають

хребці T4 і T5. Система гало-гравітаційної тракції з фіксацією та навантаженням рівним половині ваги тіла не призводить до критичних значень напруги кісткової тканини з точки зору міцності.

Методом скінченних елементів доведена ефективність використання ГГТ з метою збільшення мобільності хребта, що в свою чергу зменшує ризики неврологічних ускладнень після хірургічного лікування, скорочує час втручання та об'єм крововтрати, дає змогу отримати кращі результати корекції.

За результатами моделювання можна зробити наступні висновки:

1. При лікуванні ригідних деформацій хребта у дітей з кутом деформації ($>100^\circ$) з використання системи гало-гравітаційної тракції першим етапом математично доведено ефективність даної методики, однак максимальне рекомендоване навантаження має не перевищувати 50% маси тіла пацієнта.

2. Моделювання корекції деформацій хребта на математичних моделях дозволяє без хірургічного втручання провести аналіз ефекту різних методів лікування у кількох варіантах.

3. Як при деформації хребта 70° , так і при деформації 100° найбільш напруженими є блок хребців T2-T5.

4. У тілі хребця T2 рівень напруженого стану при деформації 70° та 100° відрізняється незначно.

5. У тілі хребця T4 рівень напруженого стану при деформації 100° приблизно вдвічі вищий у порівнянні з моделлю хребта з деформацією 70° .

6. У тілі хребця T5 рівень напруженого стану при деформації 100° зріс на 35% в порівнянні з моделлю хребта з деформацією 70° .

Максимальне значення напруги за Мізесом 33 МПа не є критичним для кісткової тканини з точки зору міцності (межа міцності для кортикальної кістки – 70 МПа). Проте зі збільшенням навантаження удвічі, тобто, при гало-гравітаційній тракції навантаженні, що дорівнює вазі тіла, рівень напруженого

стану підвищиться також удвічі і може перевищити межу міцності кісткової тканини.

3.3. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей

Першим етапом роботи вивчали напружено-деформований стан (НДС) моделі при наявності величини сколіотичної деформації 40° . Картина розподілу напружень в моделі наведена на рис. 3.7.

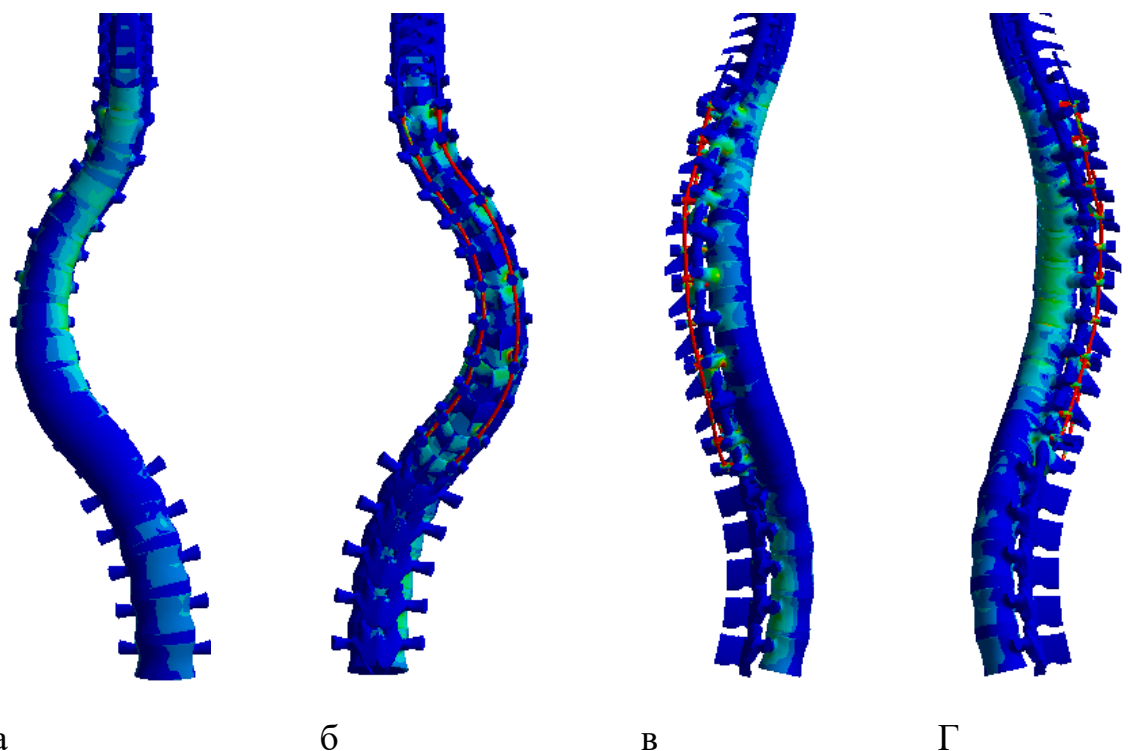


Рис. 3.7. Картина розподілу напружень в моделі при наявності величини сколіотичної деформації 40° :

- а) фронтальний вигляд;
- б) вигляд ззаду;
- в) вигляд праворуч;
- г) вигляд ліворуч.

Аналіз НДС моделі показав, що найнапруженішими областями є блоки хребців у місцях найбільшого викривлення хребетного стовпа. Так для верхніх хребців Th1-Th4 рівень напруженого стану вище в хребцях Th1, Th2 і досягає величини 9,6 МПа. У середній частині грудного відділу хребта Th5-Th8 підвищений рівень напружень спостерігається у хребці Th5 – 9,5 МПа, а в

нижній частині у хребцях Th9-Th10, де значення напружень сягають величини 4,8 МПа. У блоці хребців L1-L5 рівень напруженого стану нижчий і не перевищує 2,5 МПа

Проведений розрахунок дозволяє зробити висновки:

1. Найбільш напруженими ділянками моделі є області вигину хребта у фронтальній площині.
2. Для верхніх хребців Th1-Th4 спостерігається більш рівномірний розподіл напруги по тілу хребця.
3. Для блоку хребців Th5-Th10 більш напруженим є ліва (увігнута) сторона тіл хребців.
4. У грудному відділі хребта найбільш напруженими є хребці Th2 і Th5.
5. Основне навантаження несе фіксуєча конструкція, у якій рівень напруженого стану значно вищий, ніж у кісткових структурах хребців.
6. У задньому опорному комплексі хребців грудного відділу області концентрації напруг розташовані у місцях входу фіксуючих гвинтів у кістку.
7. Рівень напруженого стану, як у кісткових структурах, так і у фіксуєчій конструкції не перевищує межі міцності матеріалів.

На другому етапі роботи вивчали напружено-деформований стан моделі хребта із заднім спондилодезом при величині сколіотичної деформації 70°. Картину розподілу напружень в моделі можна спостерігати на рис. 3.8.

Аналіз НДС моделі показав, що найбільш напруженими областями є блоки хребців у місцях найбільшого викривлення хребетного стовпа, як і моделі з 40° деформацією. Так для верхніх хребців Th1-Th4 рівень напруженого стану вищий у хребцях Th1, Th2 і досягає величини 15,4 МПа (9,6 МПа для моделі з 40° деформацією).

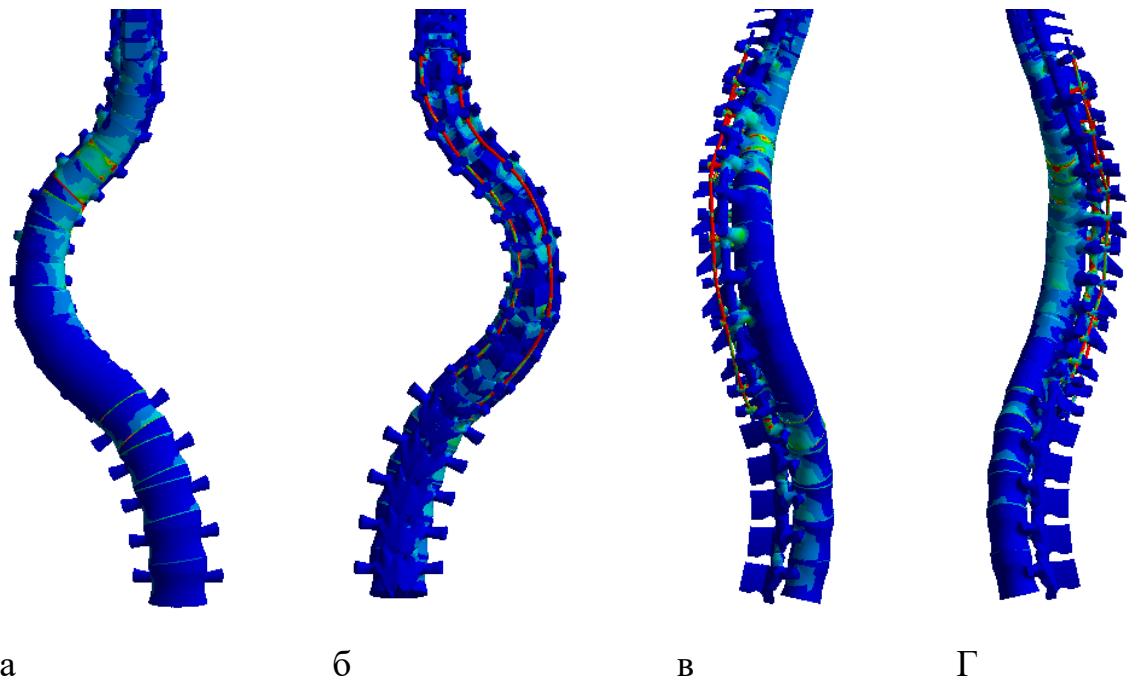


Рис. 3.8. Картина розподілу напружень в моделі при наявності величини сколіотичної деформації 70° :

- а) фронтальний вигляд;
- б) вигляд ззаду;
- в) вигляд праворуч;
- г) вигляд ліворуч.

У середній частині грудного відділу хребта Th5-Th8 найвищий рівень напружень спостерігається у хребці Th5 – 21,3 МПа (9,5 МПа для моделі із 40° деформацією). У нижній частині в хребцях Th9-Th10 значення напружень практично не змінилися і досягають величини 4,3 МПа (4,8 МПа для моделі з 40° деформацією). Значну частину навантаження перебирає апарат зовнішньої фіксації. Так, у фіксуючих гвинтах в хребці Th7 спостерігається найвищий рівень напружень – 320,0 МПа (250,0 МПа для моделі з 40° деформацією). У задньому опорному комплексі на місці входу гвинтів у кістку для хребців Th5-Th9 рівень напружень досягає величини 85,0 МПа (34,0 МПа для моделі з 40° деформацією). У блоці хребців L1-L5 більш напружений рівень напруженого стану нижчий і не перевищує 4,7 МПа (2,5 МПа для моделі з 40° деформацією).

Проведений розрахунок дозволяє стверджувати, що збільшення величини сколіотичної деформації хребта викликає збільшення рівня напружень во всіх елементах моделі за винятком хребців Th9-Th10.

Останнім етапом роботи вивчали напружено-деформований стан моделі хребта із заднім спондилодезом при величині сколіотичної деформації 100° . На рис. 3.9 наведена картина розподілу напружень в зазначеній моделі.

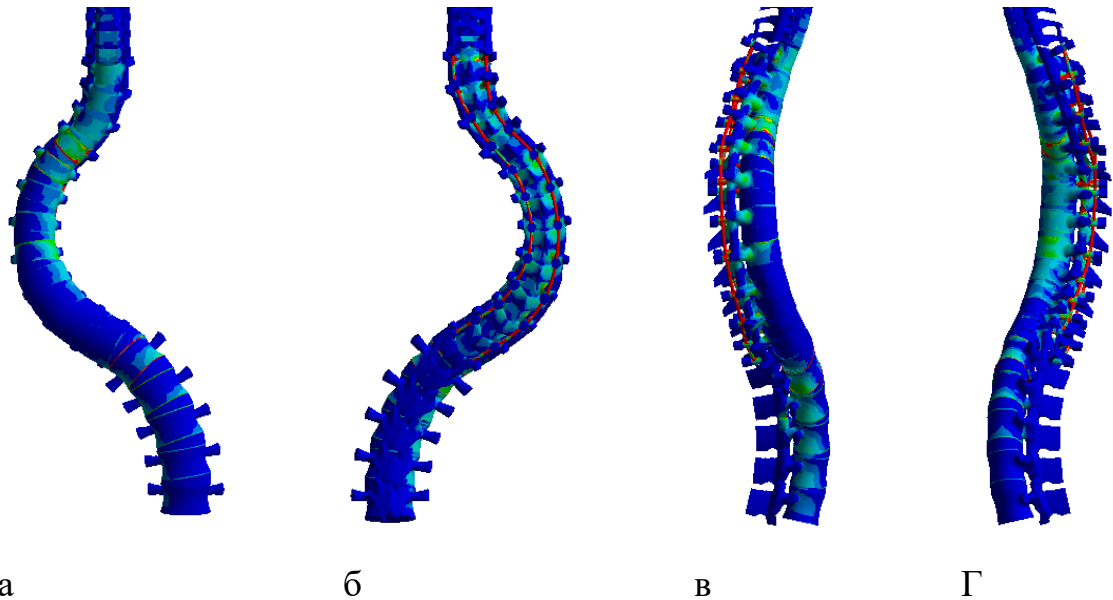


Рис. 3.9. Картина розподілу напружень в моделі при наявності величини сколіотичної деформації 100° :

- а) фронтальний вигляд;
- б) вигляд ззаду;
- в) вигляд праворуч;
- г) вигляд ліворуч.

Аналіз НДС моделі показав, що найнапруженішими областями є блоки хребців у місцях найбільшого викривлення хребетного стовпа, як і попередніх моделей. Так для вершинних хребців Th1-Th4 рівень напруженого стану вищий у хребцях Th1, Th2 і досягає величини 17,1 МПа (15,4 МПа для моделі з 70° деформацією). У середній частині грудного відділу хребта Th5-Th8 підвищений рівень напружень спостерігається у хребці Th5 – 31,8 МПа (21,3 МПа для моделі з 70° деформацією). У нижній частині в хребцях Th9-Th10 значення напружень практично не змінилися і досягають величини 4,2 МПа (4,3 МПа для моделі з 70° деформацією). Значну частину навантаження бере на себе апарат зовнішньої фіксації, так на фіксуючих гвинтах в хребці Th7

рівень напруженого стану становить 380,0 МПа (320,0 МПа для моделі з 70° деформацією). У задньому опорному комплексі на місці входу гвинтів у кістку для хребців Th5-Th9 рівень напруженого стану досягає величини 116,0 МПа (85,0 МПа для моделі з 70° деформацією). У блоці хребців L1-L5 більш напружений рівень напруженого стану нижчий і не перевищує 6,3 МПа (4,7 МПа для моделі з 70° деформацією).

Проведений розрахунок дозволяє стверджувати, що збільшення величини сколіотичної деформації хребта викликає збільшення рівня напружень во всіх елементах моделі. Виняток, як і раніше складають хребці Th9-Th10.

У задньому опорному комплексі хребців грудного відділу області концентрації напружень розташовані у місцях входу фіксуючих гвинтів у кістку. Рівень напруженого стану для розрахункової моделі 116,0 МПа перевищує межу міцності кортикального шару кісткової тканини хребта [91], що може призвести до мікроушкоджень кісткової тканини та розхитування гвинтів. Рівень напруженого стану в інших елементах моделі визначається у межах міцності матеріалів.

Дані про максимальні величини напружень в кісткових елементах моделей при різних величинах сколіотичної деформації наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Величини напружень в елементах моделей хребта із заднім спондилодезом при різних величинах сколіотичної деформації.

Хребці	Напруження, МПа		
	деформація 40°	деформація 70°	деформація 100°
Th1	9,1	12,5	12,1
Th2	9,6	15,4	17,1
Th3	6,9	9,6	9,8
Th4	8,1	18,6	40,1
Th5	9,5	21,3	31,8
Th6	6,6	7,3	11,3
Th7	5,1	5,6	6,6
Th8	6,4	7,6	8,7
Th9	4,6	4,3	4,2
Th10	4,8	3,1	3,1
Th11	1,0	1,0	1,0
Th12	2,3	3,1	4,4
L1	2,5	4,7	6,3
L2	2,5	4,6	5,5
L3	2,0	3,6	4,3
L4	1,9	1,9	1,9
L5	1,3	1,3	1,5

Наочне уявлення про величини напружень в грудному відділі хребта із заднім спондилодезом при різних величинах сколіотичної деформації можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 3.10.

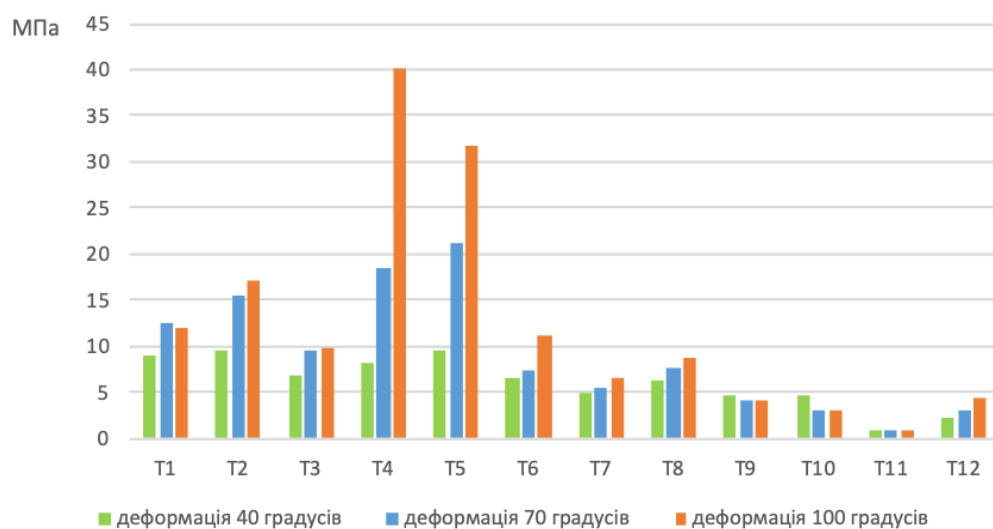


Рис.3.10. Діаграма величин напружень в грудному відділі хребта із заднім спондилодезом при різних величинах сколіотичної деформації.

Для порівняння величин напружень в хребцях поперекового відділу хребта із заднім спондилодезом при різних величинах сколіотичної деформації побудована діаграма, яка наведена на рис. 3.11

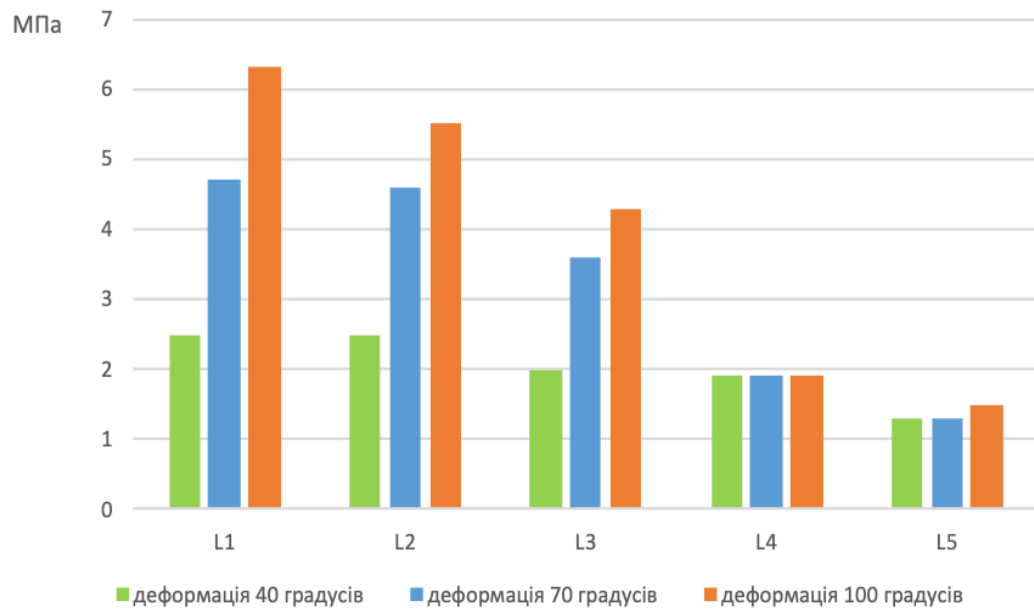


Рис.3.11 Діаграма величин напружень в поперековому відділі хребта із заднім спондилодезом при різних величинах сколіотичної деформації.

На підставі отриманих даних моделювання можна зробити висновки:

1. У нашому дослідженні при всіх величинах сколіотичної деформації хребта найбільш напруженими є хребці Th4 та Th5.
2. Зменшення ступеня деформації значно впливає на напружено-деформований стан хребетного стовпа.
3. У тілі хребця Th4 рівень напружень при деформації 100° більш ніж удвічі вищий у порівнянні з моделлю хребта з деформацією 70° та більш ніж у 4 рази порівняно з моделлю хребта з деформацією 40°.
4. У тілі хребця Th5 рівень напруженого стану при деформації 70° менше в 1,5 рази, ніж у моделі хребта з деформацією 100°, а при деформації 40° менше в 3 рази.
5. У ході дослідження доведено, що рівень напруженого стану у тілах хребців (Th1-Th5 – верхній рівень полісигментарної інструментації) вищий,

ніж у нижчерозташованих (Th6-Th12 – середній та нижній рівні інструментації)

6. У задньому опорному комплексі, у місцях входу гвинтів у кістку (найбільш напружених хребців) максимальне значення напружень при деформації 40° дорівнює 34,0 МПа, що не є критичним для кісткової тканини з точки зору міцності (межа міцності для кортикальної кістки за різними джерелами від 70,0 до 120,0 МПа).

7. У задньому опорному комплексі, в місцях входу гвинтів у кістку (найбільш напружених хребців) максимальне значення напружень при деформації 70° дорівнює 85,0 МПа, що може перевищувати межу міцності для кортикальної кістки і призвести до мікроруйнування кісткової тканини в області контакту гвинт-кістка.

8. У задньому опорному комплексі, в місцях входу гвинтів у кістку (найбільш напружених хребців) максимальне значення напружень при деформації 100° дорівнює 116,0 МПа, що перевищує межу міцності для кортикальної кістки і може призвести до мікроруйнування в області контакту гвинт-кістка.

Математичне моделювання заднього спондилодезу показало, що при великих кутах деформації можливе виникнення мікропереломів в місцях максимальної концентрації напруження і, як наслідок, послаблення імплантації металевих елементів коригуючої конструкції (гвинтів) і для зменшення цього впливу необхідно проводити додаткові заходи. Одним із таких заходів є використання ГГТ, яка дозволяє збільшити мобільність хребта та зменшити кут деформації, що в свою чергу зменшує ризики неврологічних ускладнень після хірургічного лікування, скорочує час втручання та об'єм крововтрати, дає змогу отримати кращі результати корекції.

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи галогравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.
2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Яресько ОВ, Карпінський МЮ. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей. Травма. 2021; 6 (22): С.19-25.
3. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Дуда ЛВ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями. Хірургія дитячого віку. 2021; 3 (72): 10-14.
4. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Карпінська ОД. Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні галогравітаційної тракції. Травма. 2022; 1 (23): 36-42.
5. Рогозинський ВО, Левицький АФ, Доляницький ММ, Яресько ОВ. Аналіз математичного моделювання біомеханічної моделі галогравітаційної тракції при деформаціях хребта в дітей. Хірургія дитячого віку. 2021; 4 (73): 18-24

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ ГАЛО-ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТРАКЦІЇ

4.1. Технологія та результати застосування гало-гравітаційної тракції.

Гало-гравітаційна тракція має ряд переваг у порівнянні з іншими методами тракційної підготовки. Даний метод тракційної підготовки не обмежує мобільність пацієнта та дозволяє вільне переміщення. Метод досить безпечний і має найменшу кількість ускладнень на відміну від гало-фemorального і гало-тазового витяжіння. Крім мобілізації хребта, метод гало-гравітаційної тракції дозволяє поступово адаптуватися органам грудної клітини до нових умов [134].

Процедура монтажу гало-кільця проводили в умовах операційної під загальною анестезією. Операційне поле двічі обробляли розчином бетадину. Відстань між німбом та шкірою голови повинно бути від 1 до 2 см. Передні штифти розміщували на 1 см вище бічної частини брів, задні штифти - на 1 см вище і позаду до вухної раковини. Осередкове видалення волосся не виконували. Але це може полегшити розміщення штифту та допомагає уникнути некрозу шкіри голови та інфекції від намотування волосся навколо штифта. Як правило, встановлювали від шести до восьми гвинтів через гало-німб в залежності від розміру пацієнта і загальної щільності кісток черепа, для мінімізації ризику можливої нестабільності. Гвинти імплантували через одну кортикальну пластинку. Щодня виконувались перев'язки областей входу гострих стрижнів у кортикальний шар черепа розчинами антисептиків для запобігання розвитку запальних реакцій шкіри голови навколо гострих стрижнів.

Наступної доби після накладання гало-кільця пацієнти сідали в крісло, обладнане системою для витяжіння. Гало-кільце через демпферну пружину та трос з'єднувалося з системою регулювання натягу. Силу витяжіння регулювали за допомогою динамометра.

Тракцію зазвичай починали з мінімальної ваги від 2 до 4 кг, поступово доводячи до 30 % від маси тіла пацієнта, надалі при адаптації до тракційного впливу силу витяжіння доводили до 40-50%, збільшуючи вагу на 1 -2 кг на добу. Максимальна вага досягалась протягом перших 8 - 12 діб після початку використання ГГТ. Тривалість витяжіння в перший день становила 1-2 години і поступово досягала 12 годин на добу. Тривалість витяжіння не перевищувала 8 тижнів залежно від мобільності хребта.

Неврологічні обстеження проводилися щоденно.

Під час тракційної підготовки пацієнти активно займалися дихальною гімнастикою, що сприяло зміцненню дихальних м'язів, зменшенню кількості допоміжних м'язів, що беруть участь у дихальних рухах, координації м'язів при вдиху і видиху, забезпечуючи найкращу вентиляцію легень.

Найчастішим явищем при проведенні ГГТ був біль у ділянці шийного відділу хребта без радикулопатії, що вказує на межу допустимої ваги.

Динаміку зменшення деформації при використанні гало-гравітаційної тракції відмічали по сегментах хребта. Враховували зміни фронтальних та сагітальних викривлень хребта. Контрольні вимірювання проводили після 1, 2, 4, 6 та 8 тижнів витяжіння. Результати обстеження пацієнтів на різних термінах проведення ГГТ наведено в табл. 4.1.

У більшості пацієнтів ГГТ тривала 8 тижнів (27 (71,0 %)), 11 дітей (28,9 %) було витягнення припинено по різних причинах у період після 6 тижня витяжіння, переважно це були діти молодшого віку (до 10 років).

Таблиця 4.1

Динаміка корекції сегментів хребта в процесі проведення ГТТ

Сегменти хребта	Кут деформації (град) M±SD / min÷max						
	Первинна деформація (n=38)	Термін спостереження					Після ГТТ (n=38)
		1 тиж. (n=38)	2 тиж. (n=38)	4 тиж. (n=38)	6 тиж. (n=38)	8 тиж. (n=27)	
T	109,1±4,2 103÷116	105,9±4,2 99÷112	98,3±5,8 88÷112	84,9±11,9 54÷110	76,4±15,4 43÷108	72,6±17,2 44÷105	72,2±16,2 43÷105
TL	55,4±7,2 44÷76	54,2±7,1 43÷76	50,1±7,3 41÷75	43,3±9,6 27÷75	38,8±11,1 21÷74	37,6±12,5 18÷73	36,6±11,2 18÷73
TK	54,2±5,1 46÷67	52,9±4,9 45÷65	48,9±5,0 41÷62	42,0±7,2 25÷55	37,6±8,7 20÷52	35,1±8,9 21÷50	35,4±8,9 20÷52
GLL	39,6±2,1 35÷43	38,7±2,2 34÷43	35,7±2,8 31÷42	30,6±4,8 19÷41	27,2±6,1 15÷40	25,6±6,7 14÷39	25,4±6,3 14÷39
SS	68,3±5,3 39÷73	66,5±5,2 38÷71	61,7±5,9 32÷70	53,3±8,8 19÷69	47,8±10,5 15÷68	45,4±10,9 28÷67	45,1±11,0 15÷67
PI	74,6±9,9 48÷102	72,7±9,7 47÷100	67,5±10,1 40÷96	58,4±12,4 24÷93	52,5±14,1 19÷90	50,0±15,3 22÷87	49,4±14,3 19÷87
PT	6,3±8,2 -12÷30	6,5±7,8 -11÷30	5,7±7,3 -11÷28	4,5±6,7 -10÷27	3,7±6,2 -10÷26	3,0±6,4 -9÷25	3,1±5,9 -10÷25

На першому тижні, як правило, пацієнти адаптувалися до нового положення, у цьому періоді поступово збільшували силу витяжіння, тобто тільки на кінець тижня сила витяжіння сягала оптимального рівня. Тому на цей період зменшення деформації було мінімальним у межах 2 – 3 %. (табл. 4.2), але навіть при такій мінімальній корекції різниця у порівнянні з початковою деформацією була статистично значущою ($p < 0.001$), і, відповідно зберіглася упродовж всього періоду ГТТ.

За даними аналізу (табл. 4.2) помітні зміни спостерігали починаючи з 4 тижня витяжіння, а на 5-6 тижень відмічали максимальний рівень корекції,

який сягав 30%. Треба відмітити, що після 6 тижня зменшення деформації уповільнилося, її зменшення сягало від 4 до 15 %.

Таблиця 4.2

Динаміка корекції сегментів хребта в процесі проведення ГГТ

Сегменти хребта	Зміна кута деформації (%)				
	M±SD				
	Спостереження після				Після ГГТ (n=38)
1 тиж. (n=38)	2 тиж (n=38)	4 тиж (n=38)	6 тиж (n=38)		
T	2,9±0,9	9,8±4,0	22,2±10,2	30,0±13,2	33,8±14,1
TL	2,2±1,0	9,6±4,2	22,2±10,5	30,6±13,6	34,5±14,5
TK	2,4±1,1	9,7±4,0	22,6±10,4	30,9±13,3	35,0±14,1
GLL	2,3±1,0	10,0±4,3	22,9±10,4	31,7±13,4	36,1±14,4
SS	2,5±1,0	9,7±4,3	22,3±10,5	30,4±13,4	34,3±14,5
PI	2,6±1,0	9,7±4,1	22,2±10,4	30,5±13,5	34,5±14,5
PT	2,4±5,6	12,6±5,2	26,1±11,2	37,3±14,4	43,6±17,2

Таким чином, можна говорити, що найбільш ефективним є термін галогравітаційної тракції впродовж 6 тижнів.

Проведений аналіз сили, яку прикладали при виконанні ГГТ (табл. 4.3) показав, що найбільш ефективною є сила в 50% ваги тіла.

Таблиця 4.3

Вплив сили витягіння на зміну загальної деформації хребта

Сила витягіння, (% від ваги)	Зміна деформації, % M±SD	Ст. Значущість різниці t, p
40	30,3±13,3	t=2,098
50	39,4±13,3	p=0,043

Середній відсоток корекції деформації при накладанні сили у 40% ваги становив (30,3±13,3) %, що статистично значущо (p=0,042) менше, ніж при накладанні сили у 50% ваги – (39,4±13,3) %. Але треба відмітити, що для пацієнтів молодше 10 років, сила витягіння 40% ваги також давала задовільні результати. Таким чином, можна говорити, що силу витягіння треба обирати виходячи зі стану пацієнта.

Розглянемо динаміку зміни загальної деформації хребта у дітей різного полу (табл. 4.4)

Таблиця 4.4
Динаміка зміни кута сколіотичної деформації у пацієнтів I групи після ГГТ

Параметри	Кут деформації,град ($M \pm SD$) / min÷max		Стат.значу щість різниці між періодами (t, p)	Динаміка зміни	
	до ГГТ	після ГГТ		$\overline{M \pm SD}$ min÷max	% ($M \pm SD$) min÷max
Середні по групі	108,0±6,0 100÷121	71,5±16,5 41÷106	t=15,043 p<0,001	36,5±15,0 7,0÷67	34,0±14,1 6,7÷60,2
Хлопчики	109,2±7,7 100÷121	73,2±19,5 41÷106	t=9,061 p<0,001	35,9±16,8 12÷67	33,2±16,1 10,2÷60,2
Дівчата	107,0±3,7 101÷113	69,9±13,5 49÷98	t=12,273; p<0,001	37,1±13,5 7÷61	34,6±12,5 6,7÷54,2
Стат.значущість у різниці (t, p)	t=1,109 p=0,279	t=0,615 p=0,542		t=-0,224 p=0,824	t=-0,304 p=0,763

За даними статистичного аналізу було визначено, що після галогравітаційної тракції у дітей статистично значущо ($p < 0,001$) зменшився кут деформації в середньому на $(36,5 \pm 14,9)^\circ$, що становить $(34,0 \pm 14,1)\%$ корекції деформації. Зміна деформації у хлопців та дівчат відбувалася однаково, тобто відсутність різниці до лікування ($p = 0,279$) зберіглася після ГГТ ($p = 0,542$). Динаміка корекції у хлопців $((35,9 \pm 16,8)^\circ)$ та дівчат $((37,1 \pm 13,5)^\circ)$ також була однаковою ($p = 0,824$). Динаміка зміни кута деформації наведена на діаграмі (рис. 4.1).

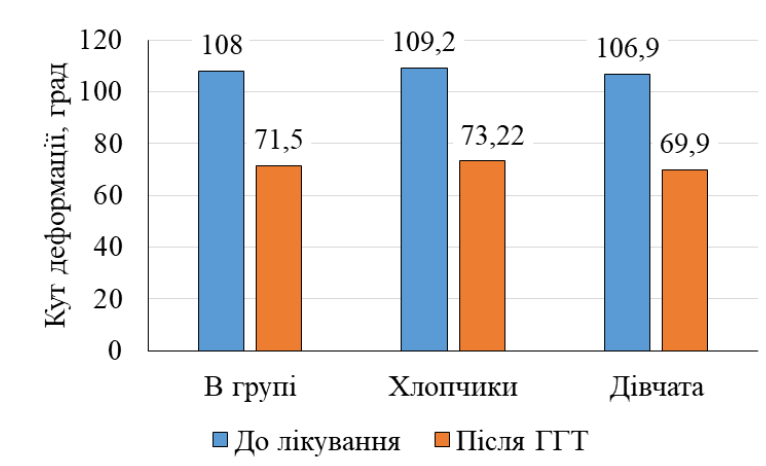


Рис. 4.1. Діаграма зміни кута сколіотичної деформації у пацієнтів I групи.

Аналіз динаміки зміни загальної деформації хребта у дітей різного віку наведено в табл. 4.5. Для вирішення завдання було застосовано дисперсійний тест ANOVA з апостеріорним тестом Дункана.

Таблиця 4.5.

Розподіл величини сколіотичної деформації у дітей за віковими групами

Вік, років	Кут сколіотичної деформації, град (M±SD)				
	Різниця між підгрупами для $\alpha = 0.05$				
	До лікування			Після ГТТ	
	1	2	3	1	2
Від 7 до 10 років	104,3±3,7			67,6±13,7	
Від 11 до 13 років		108,9±4,7		67,7±14,7	
Від 14 до 17 років			113,4±7,2		85,9±18,2
Стат.значущість у межах підгруп	1,000	1,000	1,000	0,992	1,000

За даними статистичного аналізу було визначено, що з помилкою 5 % можна стверджувати що з віком у дітей збільшується кут сколіотичної деформації. Після ГТТ величина кута сколіотичної деформації у дітей також розподіляється по різному, у дітей до 13 років спостерігали зменшення кута деформації в середньому до $(67,6 \pm 14,7)^\circ$, а у дітей старше 14 років – до $(85,9 \pm 18,2)^\circ$, аналіз динаміки зміни кута деформації показує (табл. 4.6), що у дітей молодше 14 років зменшення кута деформації значуще більше, в середньому на $(38,9 \pm 13,2)^\circ$, тоді як у дітей старше 14 років – в середньому не сягає $30^\circ - (27,5 \pm 18,6)^\circ$, причому ця різниця статистично значуща ($\alpha=0,05$).

Таблиця 4.6

Динаміка зміни кута сколіотичної деформації після ГТТ у дітей різних вікових груп (за даними ANOVA, апостеріорний тест Дункана)

Вік, років	Кут сколіотичної деформації, град (M±SD)	
	Різниця між підгрупами для $\alpha = 0.05$	
	1	2
Від 14 до 17 років	27,5±18,6	

Від 7 до 10 років		36,7±12,9
Від 11 до 13 років		41,2±13,5
Стат.значущість у межах підгруп	1,000	0,455

За отриманими даними можна говорити, що у дітей молодше 14 років застосування ГТТ більш ефективно, ніж у більш старших.

4.2. Дослідження функції дихання у пацієнтів, яким виконували гало-гравітаційну тракцію

Пацієнтам, які проходили гало-гравітаційну тракцію проводили контроль функції дихання до та після закінчення витяжіння. Дане обстеження було проведено 26 пацієнтам.

Зміна показників функціональності легень показано в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Зміна показників функції вентиляції легень

Період спостереження		Показники функції дихання		
		ФЖЄЛ, %	ОФВ1, %	ІТ
До ГТТ	M±SD	62,7±10,3	53,4±9,4	73,6±13,2
	min÷max	48,0÷82,0	44,0÷76,0	45,9÷90,5
Після проведення ГТТ	M±SD	82,8±6,1	76,5±4,4	
	min÷max	73,0÷95,0	68,0÷86,0	
Стат.значущість різниці між періодами (t, p)		$\overline{M \pm DS}$ t, p	-20,1±6,2 t=-16,402; p<0,001	-23,1±9,1 t=-12,876; p<0,001

За даними проведеного статистичного аналізу до проведення ГТТ у пацієнтів відмічали величину показника ФЖЄЛ в середньому (62,7±10,3) %, при цьому розкид цього показника був від 48 % до 82,0 %, після проведення ГТТ цей показник статистично значущо (p<0,001) збільшився до (82,8±6,1) %, збільшення відбулося в середньому на (20,1±6,2) %.

Показник об'єму форсованого видиху (ОФВ1) до лікування становив в середньому (53,4±9,4) %, а після проведення гало-гравітаційної тракції

значущо ($p < 0,001$) збільшився до $(76,5 \pm 4,4)$ %. Збільшення показника відбулося на $(23,1 \pm 9,1)$ %.

З усіх показників спірометрії, ОФВ1 є одним з важливіших, він відносно незалежний від зусилля, яке прикладається під час маневру видиху, та відображає властивості легень та дихальних шляхів. ОФВ1 є найбільш інформативним показником.

Враховуючи те, що ОФВ1 як до ГТТ, так і після неї має дуже великий розкид, було вирішено проаналізувати зміни цього показника за ступенями важкості вентиляційних порушень (табл. 4.8)

Хворих оцінили за ступенем порушення функції дихання. Результат аналізу наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Зміна ступеня вентиляційних порушень у пацієнтів до та після ГТТ

Період спостереження	Ступінь вентиляційних порушень (по ОФВ1)			
	Норма	1-а	2-а	3-я
До ГТТ (абс, %)	-	1 (3,8%)	14 (53,8%)	11 (42,3%)
Після ГТТ (абс, %)	6 (23,1%)	18 (69,2%)	2 (7,7 %)	-
Стат.значущість зміни Мак-Немара (p)	0,031			

За даними проведеного аналізу показано, що до ГТТ у жодного пацієнта не було нормальної функції дихання, тільки у 1 (3,8 %) 1-шу ступінь порушення вентиляції, у інших порушення дихання оцінювали 2-гу - 14 (53,8 %) та 3-тю - 11 (42,3 %).

Після проведення ГТТ у 6 (23,1 %) дітей відмічали нормальну вентиляцію легень, у 18 (69,2 %) – 1-ю ступінь порушень, й у 2 (7,7%) – 2-гу ступінь порушень вентиляції легень. Різниця зміни функції дихання після ГТТ за даними тесту Мак-Немара статистично значуща ($p = 0,031$).

Таким чином, можна обґрунтовано стверджувати, що гало-гравітаційна тракція значущо покращує функцію дихання.

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи гало-гравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.

2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Карпінська ОД. Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні гало-гравітаційної тракції. Травма. 2022; 1 (23): 36-42.

3. Рогозинський ВО, Левицький АФ, Доляницький ММ, Ярьсько ОВ. Аналіз математичного моделювання біомеханічної моделі гало- гравітаційної тракції при деформаціях хребта в дітей. Хірургія дитячого віку. 2021; 4 (73): 18-24

РОЗДІЛ 5

ТАКТИКА ХІРУРГІЧНОЇ КОРЕКЦІЇ СКОЛІОТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Хірургічне лікування сколіозу доцільне при викривленні більше 40° за методом Cobba, і це пов'язано з тим, що викривлення більше 40° прогресують навіть після завершення росту скелету.

Прогресування сколіотичної деформації ускладнює хірургічне лікування: збільшення протяжності хірургічного втручання та збільшення корегувальної інструментації хребта, збільшення крововтрати та хірургічних ускладнень.

Можливість корекції важкої сколіотичної деформації хребта залежить від остеотомії. Кожна остеотомія пов'язана з визначеною величиною корекції на одному рівні. Вибір тактики хірургічного лікування сколіотичної деформації хребта залежить від величини кута деформації та залучення у процес відділів хребта. Як правило складні кіфосколіотичні деформації хребта потребують комбінованого підходу в лікуванні, тобто корегування сагітальних та коронарних деформацій.

Для хірургічної корекції сагітальних викривлень хребта, а також тривимірних деформаціях в залежності від ступеня деформації та ригідності хребта використовують остеотомію задньої колони (SPO - Posterior column osteotomy, або остеотомія Сміта-Петерсена-Понте) або резекцію хребта (VCR – vertebral column resection) [57, 89, 106, 113, 149]. На верхньому та нижньому рівнях SPO виконують педикулярну субтракційну остеотомію (PSO - Pedicle subtraction osteotomy).

SPO використовується у випадках, коли потрібна відносно невелика корекція до кута приблизно $10-20^\circ$ для кожного рівня та коли вершина деформації розташовувалась у грудному відділі хребта.

Процедура PSO зазвичай використовується у випадках, коли корекція повинна виконуватись під кутом приблизно 30° , що виконується в основному на рівні попереку. Ідеальними кандидатами для PSO є пацієнти зі значним

сагітальним дисбалансом $>10-12$ см, пацієнти з гострим кутовим кіфозом та пацієнти, які мають циркулярне злиття між кількома сегментами.

Задня резекція хребта (VCR) є найбільш ефективним методом задньої остеотомії, яка забезпечує вдалу корекцію складних деформацій. VCR зазвичай використовують для деформації, яка не може бути скоригована за допомогою менших остеотомій. PSO входить до процедури виконання VCR.

Розглянемо виконання техніки SPO, який для хірургічного лікування пацієнтів зі складними кіфосколіотичними деформаціями використовують часто в комбінації з VCR.

Пацієнти, яким виконували передопераційне гало-гравітаційне витяжіння розташовувалися с гало-системою зі зменшеною тракційною вагою. Відмітимо, що оптимальне положення важливо під час тривалих операційних втручань для запобігання зон надмірного тиску у пахових западинах та збереження стабільності тулуба. Враховуючи вкорочення спинного мозку та можливий неврологічний ризик, пов'язаний із процедурою, необхідний мультимодальний нейромоніторинг.

Цілі SPO в загальному завданні корекції складної кіфосколіотичної деформації хребта полягають у покращенні вигину хребта або окремого сегменту. Це досягається корекцією деформації та створенням міцного артрорезу деформованого відділу хребта.

Рівень, обраний для остеотомії, визначається найменшим ступенем окостеніння спереду та вершиною деформації.

У положенні лежачи грудний відділ і здухвинний гребні міцно фіксують силіконовим валиком та губчастими подушечками. При задньому доступі сегменти, що підлягають корекції, оголюються як згори, і знизу. Педикулярні гвинти вводять від верхнього інструментованого хребця до нижнього інструментованого хребця (рис. 5.1 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Початкова резекція виконується на остистому відростку лише на рівні резекції. Частини остистих відростків вище та нижче також мають бути видалені (рис. 5.2 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

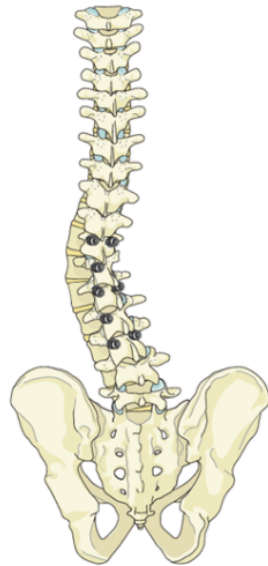


Рис. 5.1. Педикулярні гвинти можуть бути введені на рівнях залежно від переваг хірурга.

У разі дуже жорстких згинів гвинти можуть бути вставлені на кожному рівні.

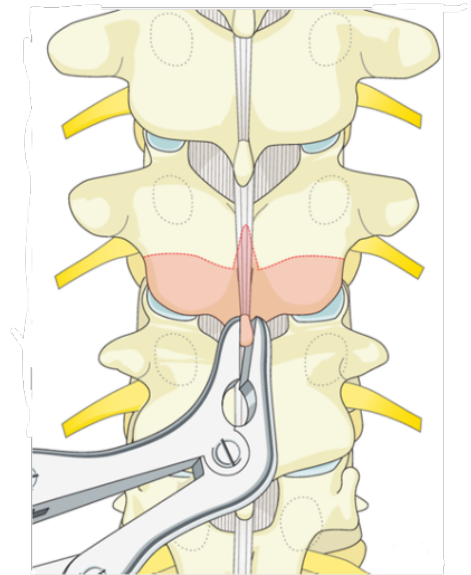


Рис. 5.2. Нижня частина остистого відростка видаляється з подальшим видаленням міжостистої зв'язки з використанням стандартного ронгера.

Реліз м'яких тканин може бути виконаний шляхом видалення міжостистих зв'язок разом з жовтими зв'язками серединної лінії верхніх ділянок деформації. Якщо потрібне додаткове звільнення, формальна остеотомія задньої колони (ЗКО) може бути виконана на тих же рівнях. Заштрихована область ліворуч означає резекцію кістки, виконану під час ЗПКЯ.

В області, що підлягає резекції, пластинка та фасеткові суглоби повністю видаляються за допомогою остеотома або кусачок Керрісона в косому напрямку (рис. 5.3 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

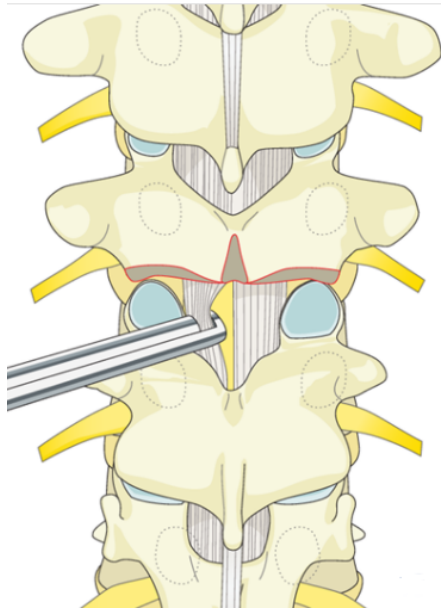


Рис. 5.3. Видалення 3-5 мм нижньої частини нижнього дуговідросткового суглоба виконується на кожному рівні запланованого спондилодезу з використанням остеотома.

Жовта зв'язка видаляється

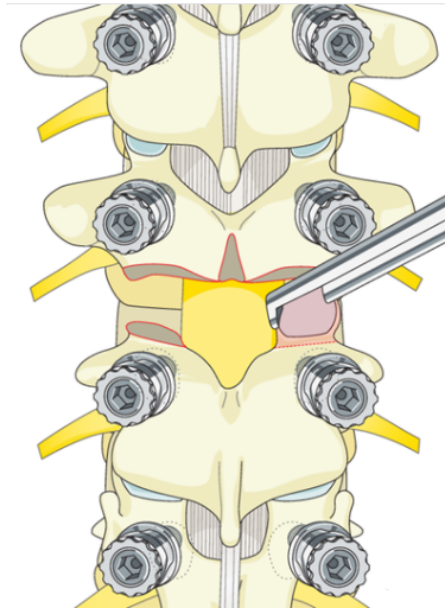


Рис. 5.4. Видаляють краніальні частини верхньої суглобової поверхні, що виходить латерально в нейрофорамен.

Це завершує РСО і зазвичай повторюється на інших рівнях.

Жолоб формується у вигляді літери V від центру з двох сторін до похилих напрямків вгору та в сторони. Зокрема, на бічному кінці структура між верхньою та нижньою ніжками має бути повністю видалена, щоб запобігти защемленню нервових корінців. Слід бути обережним, щоб не розірвати тверду мозкову оболонку, особливо на вигині дуги, де переважно розташовуються нервові тканини. Епідуральну кровотечу зупиняють гемостатичними засобами та ватним тампоном. (рис. 5.4 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>)

Зазвичай ширина жолоба має бути 10-15 мм. Після того, як жолоб завершений, його закривають ззаду шляхом ручної компресії та притискання за допомогою компресійного пристрою. Слід дотримуватись особливої обережності, щоб підрізати край остеотомованої пластини, щоб уникнути компресії нервів під час закриття.

На наступному етапі вставляють стрижні (рис. 5.5 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>)

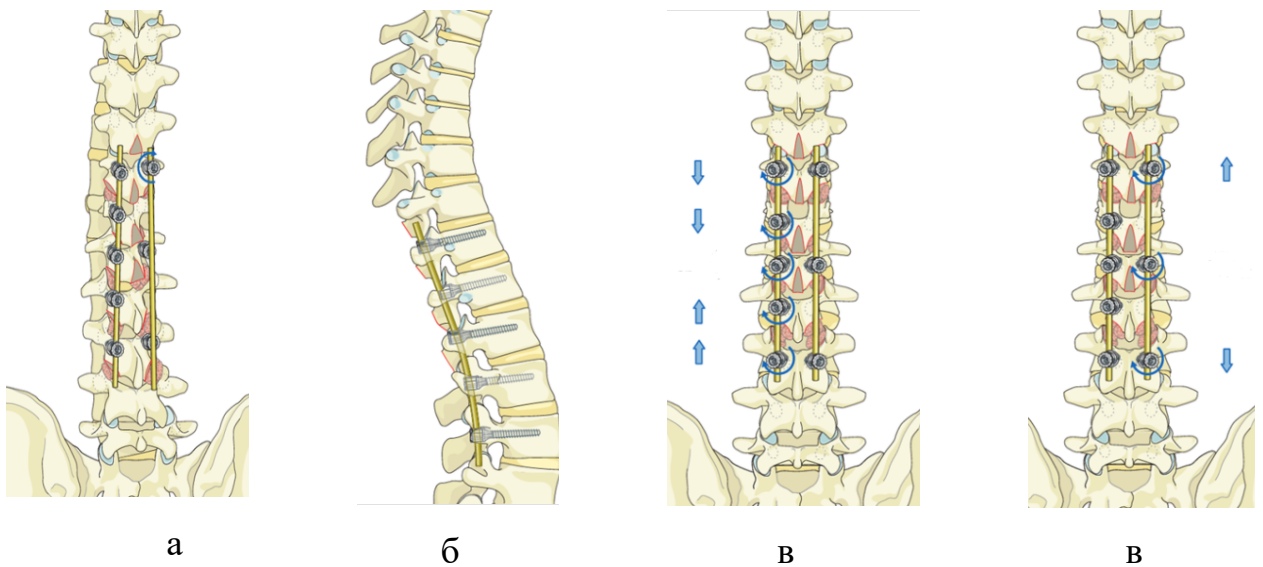


Рис. 5.5. Етапи встановлення стрижнів:

а) стрижень прикріплюють до краніального гвинта з вігнутого боку в його нормальному обертанні в сагітальній площині і фіксують, потім дистальний кінець стрижня опускається вниз за допомогою тримача стрижня і послідовно прикріплюється до гвинтів, що залишилися, починаючи краніально;

б) при прикріпленні стрижня до увігнутості поперекового сегмент буде піднятий дорсально та частково деротований;

в) компресія на опуклій стороні поперекового вигину. Після закріплення апікального гвинта на стрижні виконується компресія у напрямку апекса як краніального, так каудального гвинтів. Фіксують їх у стрижні по дорозі;

г) дистракція на увігнутій стороні поперекового вигину. Після фіксації апікального гвинта обережно відводять від апекса краніальні та каудальні гвинти в міру їх фіксації.

Далі виконують декортикацію пластинки та поперечних відростків остеотомом. Треба бути обережними, щоб завжди спрямовувати остеотом у бік від хребтового каналу. Як альтернатива декортикація може бути виконана

за допомогою механічного бору. Кістковий трансплантат (алотрансплантат, аутоотрансплантат або кісткові замінники) рясно накладається на всю декортиковану область. Далі встановлюються поперечні з'єднувачі по одному на кожний кінець конструкції.

Педикулярну субтракційну остеотомію (PSO) виконують на верхньому та нижньому рівнях хребця на якому виконують SPO при корекції деформації більше 30° або при виконанні VCR (рис. 5.6 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>), тобто ця процедура є обов'язковою при хірургії корекції деформації.

Виконують піднадокістну дисекцію для оголення задніх елементів до поперечних відростків. Поперечні відростки висікають біля основи. Використовуючи кутові кюретки, губчаста кістка в тілі вдавлюється вперед у тіло, щоб створити порожнину у хребцях. Виконують ламінектомію та фасетектомію (рис. 5.7 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

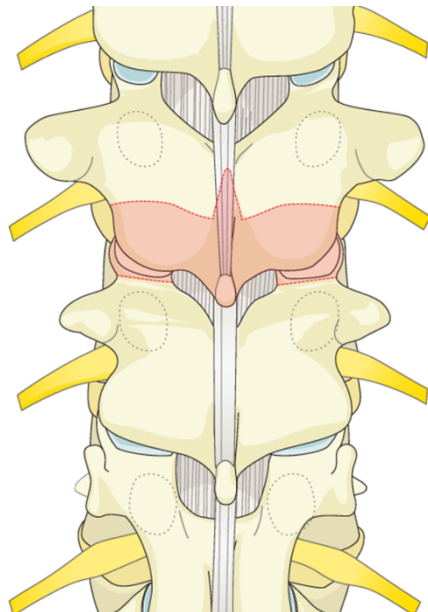


Рис. 5.6. PSO виконують на верхньому та нижньому рівнях хребця

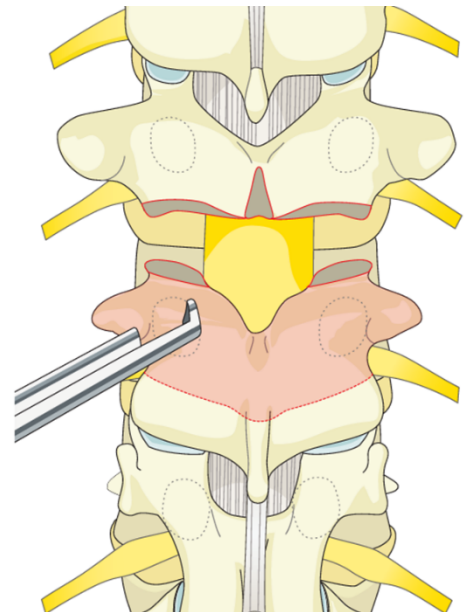


Рис. 5.7. Виконують ламінектомію від області середньої частини хребця краніально до хребця PSO (VCR) дистальніше рівня нижньої частини хребця PSO.

Відокремлюють від губчастої кістки, щоб витончити хребець і забезпечити колапс та заклинювання цього сегмента. Весь кістковий

трансплантат видаляють і зберігають для подальшого використання як матеріал для пластики.

Обидві латеральні частини тіла PSO оголюють підокістно і видаляють клин латерального тіла хребця від поверхневого до глибокого (рис. 5.8 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Важливо уникати пошкодження сегментарної артерії та вени, які лежать латеральніше тіла хребця. Потім обережно відокремлюють задню стінку тіла хребця від вентральної поверхні твердої мозкової оболонки. Задня стінка вдавлюється в тіло хребця, звільняючи всю вентральну поверхню твердої мозкової оболонки. Важливо не піддавати тверду мозкову оболонку надмірному розтягуванню або натягу під час цієї процедури. (рис. 5.9 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

Після цього хребець готовий до колапсу, що забезпечує підвищену сегментарну та регіональну гнучкість для покращення корекції великих сколіотичних викривлень. (рис. 5.10 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

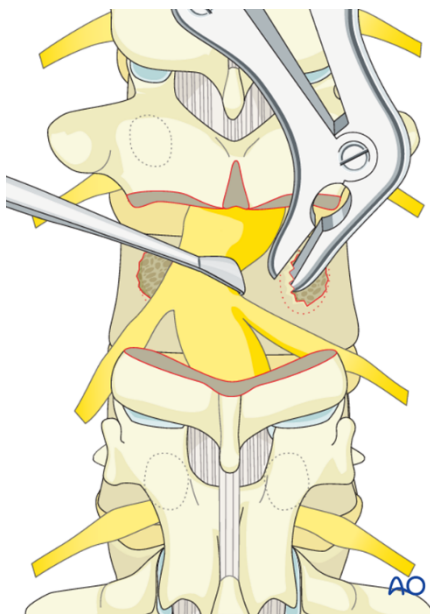


Рис. 5.8. Обидві ніжки видаляють повністю з тіла хребця, ретельно захищаючи нервові корінці, що лежать навпроти медіальної та нижньої сторін ніжки.

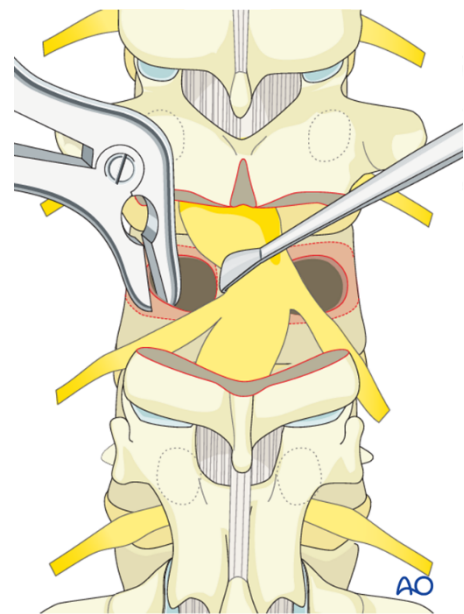


Рис. 5.9. Обидві латеральні частини тіла PSO оголюють піднадкістно і видаляють клин латерального тіла хребця від поверхневого до глибокого.

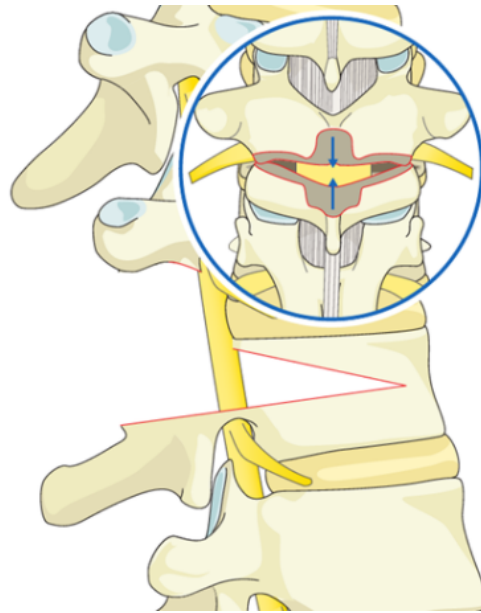


Рис. 5.10. хребець готовий до компресії

Як єдина хірургічна техніка, що дозволяє транслювати хребет, VCR часто застосовують при ригідних багатоплощинних деформаціях [156]. Гострі кутові сагітальні деформації у грудному відділі хребта потребують застосування VCR, як і фронтальні викривлення хребта при яких зв'язок між плечем та тазом не може бути скоригований шляхом укорочення однієї сторони хребта [26, 42].

Показання до VCR включають деформацію з кутом Cobba $>100^\circ$, яка є кутовою і ригідною (гнучкість $<10\%$), і декомпенсацію в фронтальній або сагітальній площині (асиметрія між довжиною увігнутою та опуклою кривих) деформації [45, 54, 159]

Хірургічна техніка, яка застосовується при задній резекції хребта (VCR) складна та потребує злагодженої роботи операційної бригади.

Педікулярна субтракційна остеотомія виконується вище та нижче запланованого рівня (рис. 5.11 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Проводять оголення задньої колони з ретельним піднадокістним розсіченням. Через тривалість операції та значну крововтрату необхідно звести до мінімуму епідуральну та кісткову крововтрату, що забезпечується використанням додаткових антифібрінолитиків (апротинін, трасилол) або транексамової кислоти.

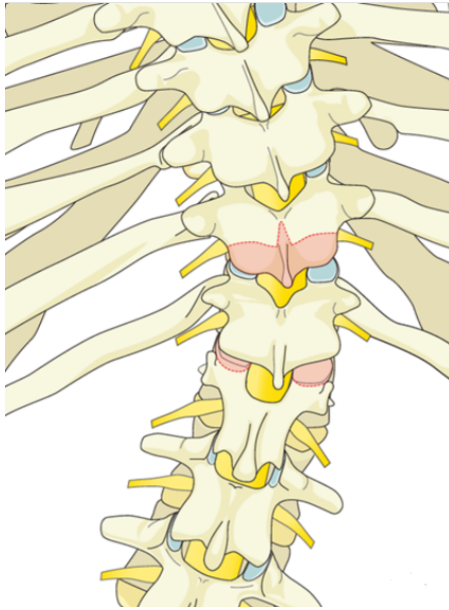


Рис. 5.11. Педікулярна субтракційна остеотомія (PSO) виконується вище та нижче запланованого рівня VCR

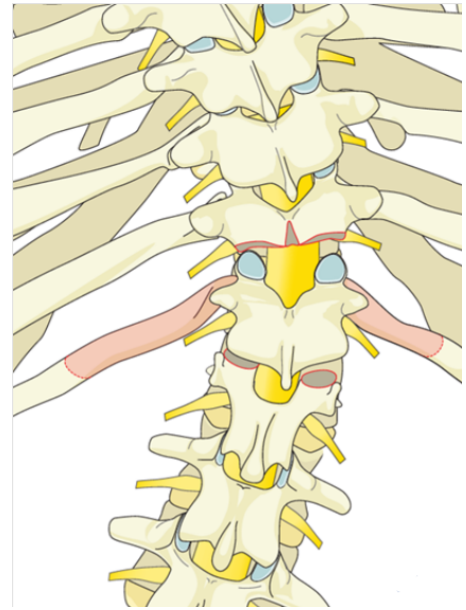


Рис. 5.12. В грудному відділі хребта виконують двобічне кісткотрансверзаєктомії, видаляючи 4-5 см сусідніх ребер на апікальному рівні, які підлягають резекції, із захистом плеври від випадкового проникнення.

В грудному відділі хребта видаляють 5-6 см медіального края ребра, пов'язаного з рівнем який підлягав резекції (рис. 5.12 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Виконують піднадкістну дисектомію медіальної частини ребра, яке розрізають приблизно на 5-6 см латеральніше місця прикріплення хребця, а потім максимально можливу кількість ребер видаляють до голівки спереду та залишають до наступного розміщення поверх ламінектомічного дефекту. Це виконується до ламінектомії для запобігання інтрузії каналу. При первинному втручанні надокістну дисекцію навколо латеральної поверхні ніжок та тіла хребця виконували за допомогою елеваторів Пенфільда. М'які тканини та передню судинну сітку утримують від ушкоджень або за допомогою ретракторів, або за допомогою спеціальних елеваторів тіл хребців на бокові стінки. Сегментарні судини утримуються латерально в манжеті з м'яких тканин та не повинні бути травмовані.

Остеотомії виконувалися на вершині сколіотичної та кіфосколіотичної деформації для забезпечення фіксації апікального транспедикулярного гвинта. Потім здійснюється фіксація транспедикулярними гвинтами на відповідних рівнях, які повинні бути залучені в кінцевий інструментарій та спондилодез.

Використання багатовісних дедукційних гвинтів (MARS) корисно при: апікально вігнутих ділянках важкого сколіозу; проксимальних та/або дистальних ділянках важкого кіфозу та кіфосколіозу; угнутій поперековій ділянці будь-якого типу деформації поперекового відділу хребта. Фіксація ніжки забезпечить стабільність хребта вище та нижче ділянки резекції, що необхідно для запобігання підвивиху хребта, що має достатньо високий ризик при таких операціях. Транспедикулярні гвинти встановлювали за методикою, запропонованою Kim, Lenke и соавт. [83] з використанням анатомічних орієнтирів та спеціального тупого зігнутого важеля перемикання режиму затягування. Гвинти встановлювали з підтвердженням внутрішньокісткових меж (рис. 5.13 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Перед видаленням передньої частини тіла хребця встановлювали тимчасовий стабілізуючий стрижень та фіксували його двома чи трьома транспедикулярними гвинтами вище та нижче зони резекції. При важких кутових кіфотичних та кіфосколіотичних деформаціях рекомендують двобічні стрижні для запобігання підвивиху хребця.

Далі виконували широку ламінектомію в центрі на апікальному рівні (рівнях) які підпадали під резекцію (рис. 5.14 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). При однорівневій резекції ламінектомія задньої колони призводить до оголення твердої мозкової оболонки та нервових елементів на 5-6 см. Далі переходять до видалення тіла хребця.

Резекція тіла хребця починається з отримання доступу до губчастої тканини тіла хребця через бічний вхід в тілі ніжки (рис. 5.15 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Далі проводять кюретування губчастої кістки тіла зі збереженням кістки для встановлення кісткового трансплантату (рис. 5.16, 5.17 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

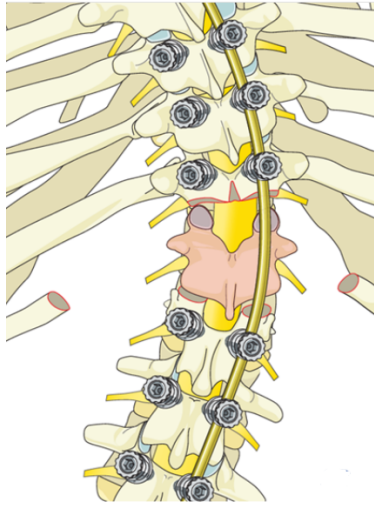


Рис. 5.13. Сегментарні транспедикулярні гвинти розміщують на заданих рівнях, а тимчасовий стрижень розміщують з одного боку хребта, захоплюючи три рівня вище й нижче місця резекції

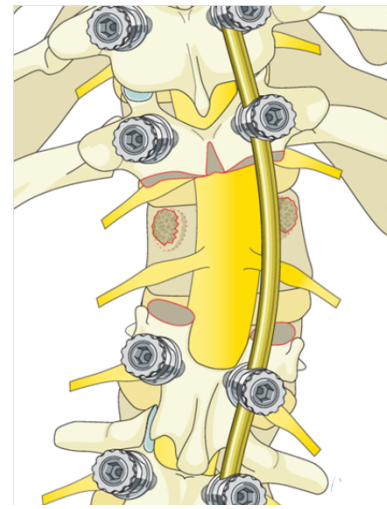


Рис. 5.14. Виконують ламінектомію всієї пластини хребця, яку резекціюють, йдучи краніально до суміжного хребця.

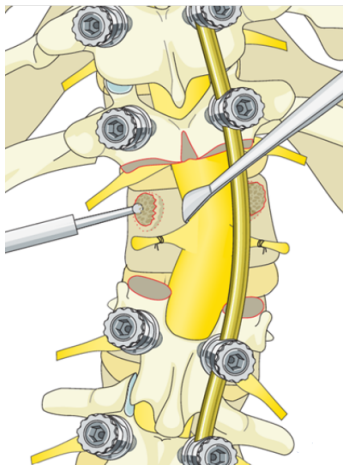


Рис. 5.15. Обидві ніжки видаляють до основи тіла хребця, захищаючи нервові корінці, які лежать навпроти медіальної та нижньої сторін ніжки. Ретельний захист твердої мозкової оболонки одночасно з мінімальною ретракцією абсолютно необхідній.

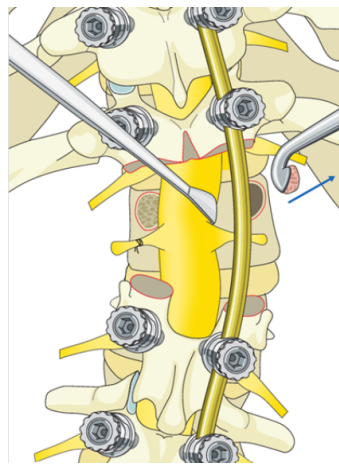


Рис. 5.16. Тіло хребця відділяють від губчастої кістки щоб потоншити хребець. Більша частина цієї операції виконується на боці опуклому боці викривлення. Бажано зберегти як можливо більше кістки для подальшого використання її при зрощенні.

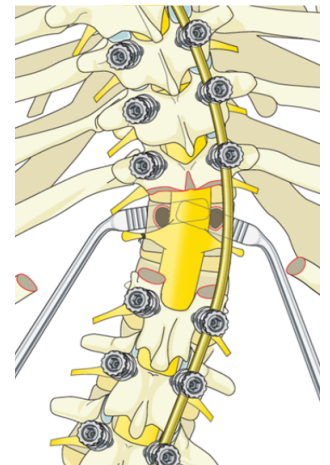


Рис. 5.17. Підокістно оголюють бічні стінки тіл хребців. Важливо прикладати захисний інструмент до передньо-латерального тіла хребця для надійного захисту сусідніх внутрішніх органів та судин від ушкодження.

При сколіотичній та кіфосколіотичній деформаціях більша частина хребця буде видалена з опуклості деформації, оскільки там розташовано тіло хребця. Видаляється все тіло хребця за винятком передньої оболонки для спондилодезу (рис. 5.18, 5.19 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

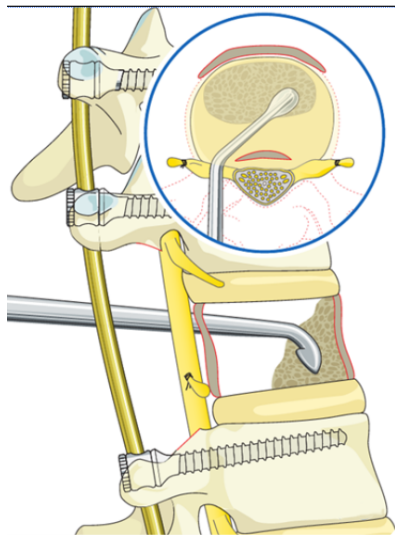


Рис. 5.18. Бічні стінки тіла хребця видаляють, відкриваючи доступ до частини тіла хребця яке залишилося.

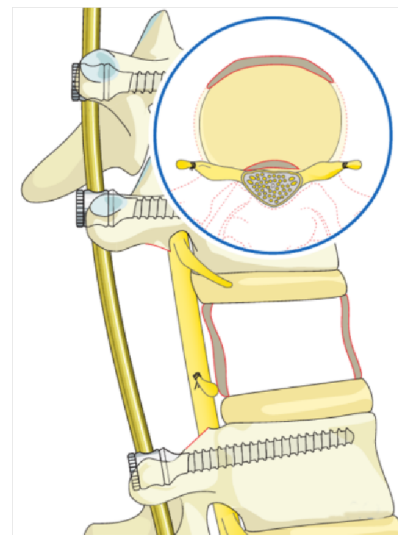


Рис. 5.19. Залишки губчастої частини хребця повністю видаляють до замикальних пластинок сусідніх дисків зверху та знизу. Видалену кістку зберігають для зрощення. Передня й задня стінка залишаються інтактними.

На наступному етапі виконували дискектомію вище та нижче з використанням кюреток (рис. 5.20 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). При цьому за можливості зберігали замикальні пластини верхньо- та нижньовідросчатої ділянок для встановлення структурного інтракорпорального каркасу (рис. 5.21 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). На останньому етапі резекції видаляють задню стінку тіла хребця або дно хребтового каналу (рис. 5.22 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). При виконанні цього етапу контролювали епідуральну кровотечу, застосовували біполярну катетерізацію, гемостатичні препарати. Дуральний мішок вивільняли по колу та оголяли, а потім відділяли

від епідурального венозного комплексу, а також від задньої поздовжньої зв'язки. Край важливо, щоб вентральна частина спинного мозку була повністю вільна від кісткових виступів для запобігання імпінджменту при закриванні.

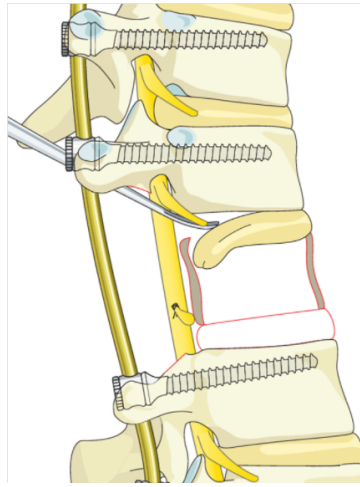


Рис. 5.20. Видаляють диски краніально та каудально по відношенню до резецованого хребця

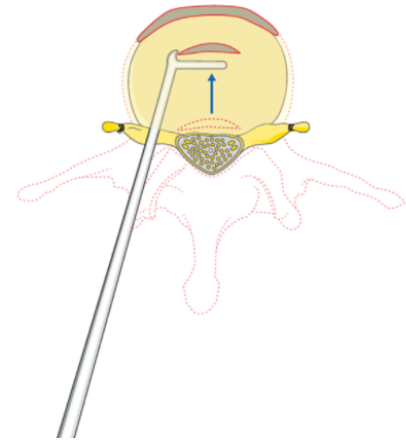


Рис. 5.21. Відокремлюють задню стінку тіла хребця від вентральної поверхні твердої мозкової оболонки. Задня стінка зтягується у тіло хребця, звільняючи всю вентральну тверду поверхню.

На цьому резекція завершується і виконується закривання резектованої ділянки з компресійним зусиллям (рис. 5.22, 5.23 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

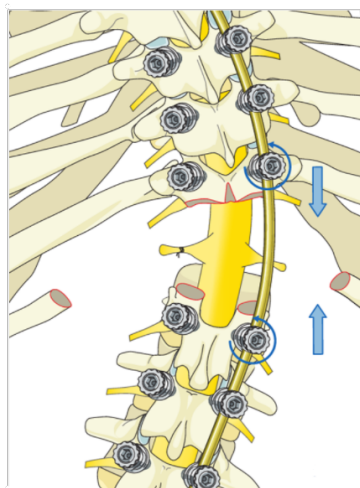


Рис. 5.22. Зона деформації готова до корекції за допомогою тимчасового інструментарію. Вкорочення хребта починають шляхом стиснення опуклим

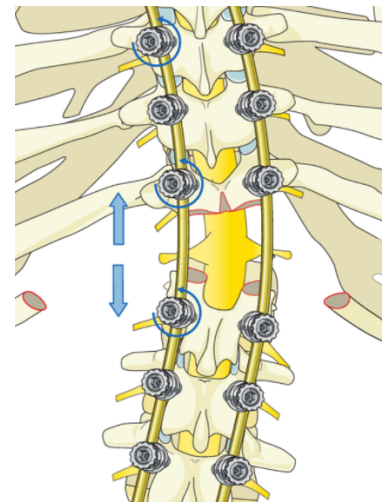


Рис. 5.23. Після вкорочення хребта можна безпечно проводити корекцію угнутою дистракцією та трансляцією.

стрижнем для запобігання надмірного розтягування спинного мозку.

Методологія даної операції передбачає, що хребет завжди вкорочений, а не подовжений, при цьому в якості основного коригувального прийому виконували конвексну компресію. Це здійснювали або за допомогою окремих транспедикулярних гвинтів при гарному кістковому зчепленні хребців, або за допомогою механізму закриття «конструкція до конструкції» на вершині резектованої ділянки, коли виконується замикання від конструктивного стрижня зверху до конструктивного стрижня знизу для розподілу зусиль корекції по декількох рівнях.

Як правило, хребет вкорочується на 1-1,5 см, встановлюється кейдж відповідної висоти та довжини, а потім виконується його закриття (рис. 5.24 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>). Далі встановлюють постійний корегувальний стрижень з виконанням відповідних корегувальних дій, а тимчасовий стрижень видаляють. На контрлатеральному боці також встановлюють постійний стрижень.

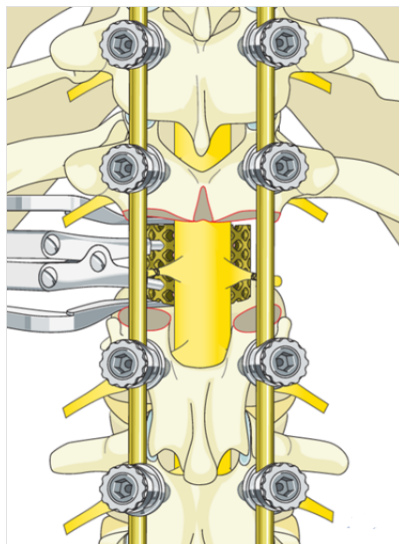


Рис. 5.24. Перед повною корекцією в передній дефект розміщують металевий кейдж відповідного розміру, заповнений кістковий трансплантатом, який забезпечує структурну підтримку

передньої колони хребта. Заключна задня корекція стрижнями виконується з фіксацією постійних стрижнів

Відповідні компресійні та дистракційні сили, контурування *in situ* та інші методи корекції виконують з урахуванням їх впливу на зону резекції та можливі підвивихи чи імпінджменту твердої мозкової оболонки. Адекватна корекція підтверджується інтраопераційними рентгенограмами.

Наступним етапом виконували декортикацію та кісткову пластику з великою кількістю аутогрансплантату, отриманого при резекції (рис. 5.25 запозичено <https://surgeryreference.aofoundation.org>).

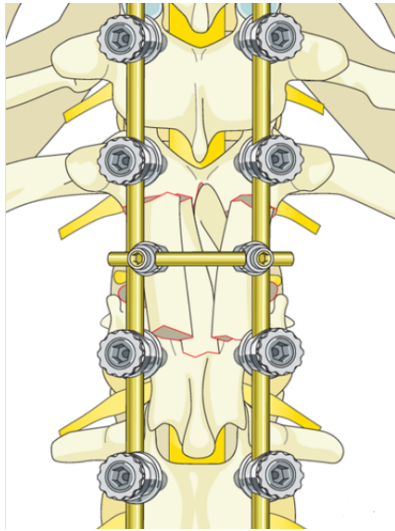


Рис. 5.25. Дуральний мішок захищено за допомогою матеріалу типу фібринового клею.

Після декортикації та заднього спондилодезу дефект закривають.

Рис. запозичено з [aofoundation.org](https://surgeryreference.aofoundation.org)

Дефект ламінектомії закривали раніше заготовленими ребрами для реберно-трансверзектомічного доступу. Ребра розщеплювали навпіл в продольному напрямку, при цьому губчаста поверхня розташовувалася вздовж всього ламінектомічного дефекту від верхньої до нижньої пластинки, що створювало реберний «міст» з кістки для захисту твердої мозкової оболонки, а також для

забезпечення спондилодезу задньої накладки. Ребро утримували на місці швами та поперечними зв'язками.

Всіх пацієнтів жорстко стабілізували для забезпечення вертикального положення одразу після операції. Більшість пацієнтів в перший день сиділи або лежали на боці, на другий день після операції вставали з ліжка та сиділи в кріслі. Корсети пацієнти не використовували.

До хірургічного лікування в I групі (діти, яким було попередньо проведена гало-гравітаційна тракція) кут коронарної деформації в середньому становив $(71,5 \pm 16,5)^\circ$ (від 41° до 106°), в II групі (тільки хірургічна корекція сколіотичної деформації) становив $(106,1 \pm 4,5)^\circ$ (від 100° до 117°).

Пацієнтам виконували остеотомію:

на одному рівні (n=27), на 2 рівнях (n=6), трьох рівнях (n=3)

У 2х пацієнтів було виконано комбіновану остеотомію SPO та VCR.

Клінічні приклади.

Пацієнт Р., 15 років. Діагноз: ідіопатичний грудо-поперековий сколіоз, коронарна деформація за Коббом (основна дуга) 103° (рис. 5.26).



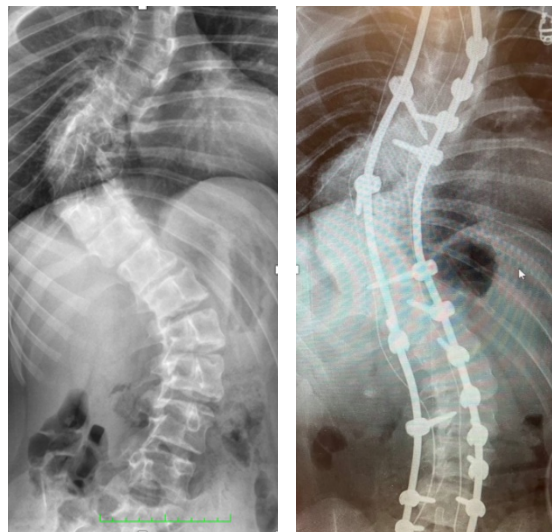
Рис. 5.26. Загальний вигляд (а) та фотовідбитки рентгенограм (б) при первинному зверненні.

Було запропоновано двоетапне лікування із попереднім використанням гало-гравітаційної тракції до хірургічного лікування. Після проведення ГГТ корекція кіфосколіотичної деформації до 78° (рис. 5.27).



Рис. 5.26. Загальний вигляд (а) та фотовідбитки рентгенограм (б) пацієнта Р. (15 років) після етапу гало-гравітаційної тракції, корекція - до 78°

Було проведена хірургічна корекція кіфосколіотичної деформації методом задньої інструментації хребта. Корекція деформації до 42° (рис. 5.27).



а

б

Рис. 5.27. Фотовідбитки рентгенограм пацієнта Р.

а) кут сколіотичної деформації після ГГТ – 78° ;

б) кут сколіотичної деформації 42° після задньої інструментації хребта

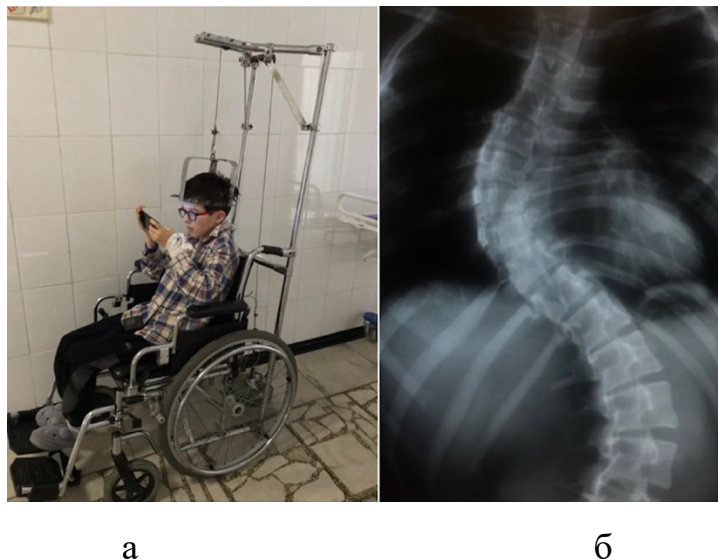
Клінічний приклад 2.

Пацієнт К., 12 років. Діагноз ідіопатичний грудно-поперековий сколіоз. Основна дуга 109°. (рис. 5.28).



Рис. 5.28. Фотовідбитки рентгенограм пацієнта К. (12 років)
а) коронарний відбиток рентгенограми деформації (основна дуга 109°);
б) сагітальний відбиток рентгенограми.

Пацієнту було проведено гало-гравітаційну тракцію, в результаті якої вдалося зменшити викривлення до 67° (рис. 5.29).



а

б

Рис. 5.29. Загальний вигляд системи ГГТ (а) та фотовідбиток рентгенограми пацієнта К. після етапу ГГТ (б)

Пацієнту було проведено задня інструментація. Кут деформації зменшено до 43° (рис. 5.30).

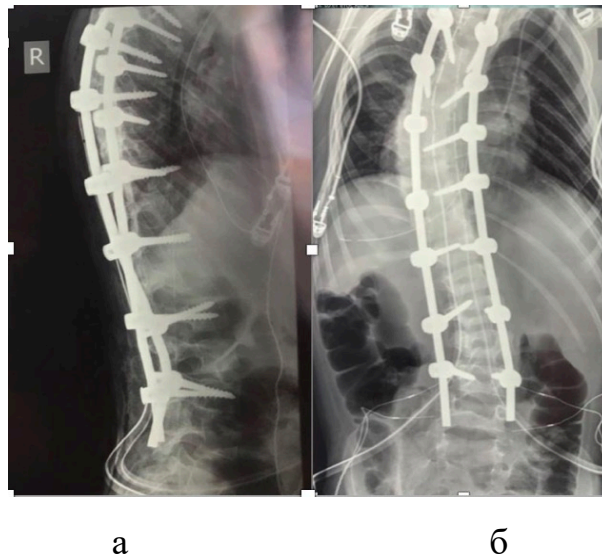


Рис. 5.30. Фотовідбитки рентгенограм пацієнта К. (12 років) після хірургічної корекції деформації
 а) коронарний відбиток рентгенограми деформації (основна дуга 38°)
 б) сагітальний відбиток рентгенограми.

Клінічний приклад 3.

Пацієнт К., 12 років. Діагноз: ідіопатичний попереково-крижовий сколіоз, викривлення 104° (рис. 5.31, а, б). Проведено попереднє ГГТ (рис. 5.32), яке дозволило зменшити дугу викривлення до 50° (рис. 5.31, в). Проведена хірургічна корекція за Понте на 4 рівнях в результаті якої досягнута основна деформація 42° (рис. 5.31, г).

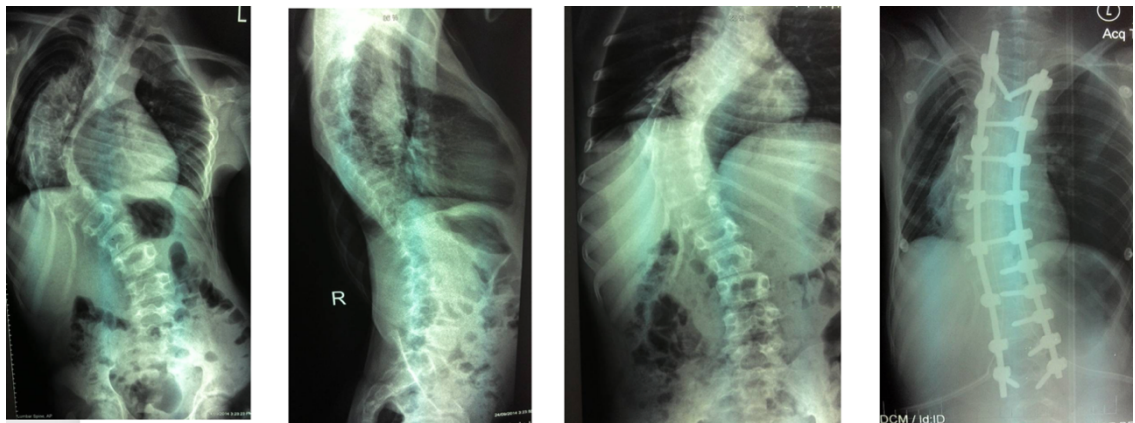


Рис. 5.31. Фотовідбитки рентгенограм пацієнта К. (12 років)
 а) фронтальна проекція, основна дуга деформації 104° ;
 б) сагітальна проекція;
 в) фронтальна проекція після етапу ГГТ, деформація 50° ;
 г) фронтальна проекція після хірургічної корекції, деформація 43° .

Загальний вигляд пацієнта на етапі проведення ГГТ представлено на рис. 5.32



Рис. 5.32. Загальний вигляд пацієнта на етапі проведення ГГТ.

Клінічний приклад 4.

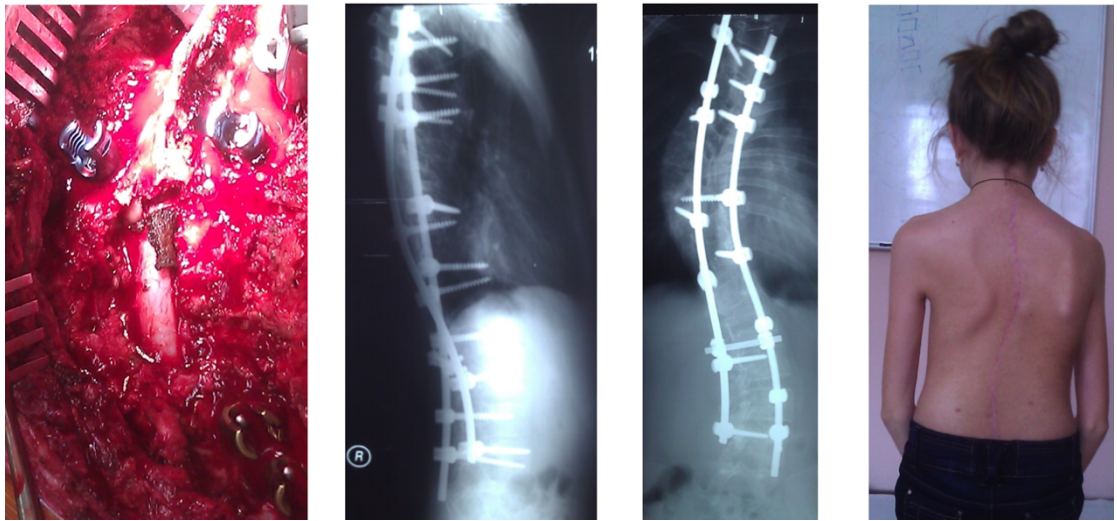
Пацієнт О., 14 років. Діагноз: ідіопатичний грудо-поперековий сколіоз, основна дуга деформації 112° (рис. 5.33). Після проведення одноетапної хірургічної корекції - заднього інструментарію та остеотомії за Понте на 4 рівнях плюс остеотомія VCR на 1 рівня досягнуто зменшення деформації до 39° .



а

б

в



Г Д Е Ж
 Рис. 5.33. Фотовідбитки з історії хвороби пацієнта О., 12 років:
 а) функціональне обстеження пацієнта
 б) рентгенограма фронтальної проекції
 в) рентгенограма сагітальної проекції
 г) інструментація в процесі виконання хірургічної корекції
 д, е) відбитки рентгенограм після корекції деформації
 ж) фото пацієнтки через рік після операції.

За даними інтраопераційного нейромоніторингу у пацієнтів відмічали зниження амплітуди М-відповіді: в групі I (з попередньою ГГТ) – 8 (21,1 %), в групі II (без ГГТ) – 17 (44,7 %), різниця статистично значуща ($p=0,027$).

Ускладнення фіксували на різних етапах операції (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Неврологічні ускладнення в період проведення хірургічного втручання

Маневри	Група		Стат.значущість між групами (p)
	I (n=38)	II (n=38)	
Тракція хребта	1 (2,6 %)	5 (13,2 %)	0,090
Встановлення гвинтів	7 (18,4 %)	12 (31,6 %)	0,185
Корекція	2 (5,3 %)	3 (7,9 %)	0,649
Остеотомія	7 (18,4 %)	9 (23,7 %)	0,574
Не хірургічні причини	2 (5,3 %)	3 (7,9 %)	0,649

Найбільшу частоту неврологічних ускладнень відмічали в момен встановлення гвинтів – 19 (25 %) пацієнтів та при виконанні остеотомії – 16

(21 %), і хоча у пацієнтів з попередньої ГГТ кількість неврологічних ускладнень при виконанні окремих етапів було менше, різниця не сягала статистично значущого рівня ($p > 0.05$)

В найближчому післяопераційному періоді у пацієнтів відмічали транзиторний неврологічний дефіцит: в I групі – у 2 (5,3 %), в II групі – у 10 (26,3 %) ($p = 0,012$). У 1 хворого II групи неврологічні ускладнення спостерігали і у більш віддалені терміни.

Багаторічний досвід проведення корекції сколіотичної деформації за остеотомією VCR можна сформулювати деякі основні положення проведення цієї операції.

Основною перевагою VCR з заднім доступом є одночасний контроль над хребтом та доступ до нервових елементів. VCR дає гарний доступ до дуральної труби, що дозволяє контролювати відсутність її можливого ушкодження, що робить процедуру більш безпечною з неврологічної точки зору. Це також підтверджується в роботах Suk SI із співавт. [156-159]

Важливим фактором успішного виконання VCR є забезпечення стабільної фіксації транспедикулярними гвинтами вище та нижче зони резекції для збереження вирівнювання хребта та запобігання підвивиху.

Операція VCR пов'язана з високим ризиком неврологічних ускладнень на різних етапах, тому проведення інтраопераційного моніторингу є обов'язковим для оперативного виправлення ситуації.

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи галогравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.

2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Дуда ЛВ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями. Хірургія дитячого віку. 2021; 3 (72): 10-14.

3. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта в дітей: огляд клінічних випадків. Хірургія дитячого віку. 2020; 4 (69): 67-71

РОЗДІЛ 6
ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЛІКУВАННЯ ДІТЕЙ ІЗ СКЛАДНОЮ
СКОЛІОТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ

6.1 Оцінка ступеня корекції сколіотичної деформації
у дітей з ГГТ та без неї

Після гало-гравітаційної тракції у дітей I групи відмічали значне зменшення сколіотичної деформації. Так величина деформації у них була меншою, ніж у дітей II групи.

Розглянемо динаміку зміни деформації у дітей після ГГТ та хірургічної корекції та дітей тільки з хірургічною корекцією (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Результат хірургічної корекції сколіотичної деформації у дітей

Група	Кут деформації, град. (M±SD) / min÷max				
	до операції, град	після операції, град	Ст. знач. між періодами	величина зміни, град	Доля зміни, %
I	71,5±16,5 41,0÷106,0	44,1±15,3 21,0÷82,0	t=15,171 p<0,001	27,4±11,1 13,0÷56,0	38,6±13,3 18,3÷68,
II	106,1±4,5 100,0÷117,0	56,9±14,2 34,0÷90,0	t=24,015 p<0,001	49,2±12,6 23,0÷71,0	46,5±12,3 20,4÷67,6
Різниця середніх $\overline{M \pm SE}$	-34,6±2,8	-12,8±3,4		-21,8±2,7	7,9±2,9
Стат.значущіс ть між групам t / p	t=-12,477 p<0,001	t=-3,786 p<0,001		t=-7,967 p<0,001	t=-2,692 p=0,009

За результатами статистичного аналізу, як і було показано раніше, у пацієнтів I групи отриманий після ГГТ кут сколіотичної деформації ((71,5±16,5)°) був статистично значущо (p<0,001) меншим, ніж в II групі ((106±4,5)°). Після хірургічної корекції кут деформації у дітей I групи ((44,1±15,3)°) також виявився статистично значущо (p<0,001) меншим, ніж в II групі – (56,9±14,2)°. Зменшення кута деформації в обох групах було однаково

статистично значущим ($p < 0.001$). Хірургічну корекцію сколіотичної деформації у дітей I групи ($(27,4 \pm 11,1)^\circ$) здійснювали на статистично значущо ($p < 0,001$) меншому куті, ніж у дітей II групи ($(49,2 \pm 12,6)^\circ$). Відсоток корекції в групах також значущо ($p = 0,009$) відрізнявся, тобто у дітей I групи корекція становила $(38,6 \pm 13,3) \%$, а у дітей II групи – $(46,5 \pm 12,3) \%$.

Загальна зміна кута деформації у дітей відносно початкового стану наведена в табл. 6.2.

Таблиця 6.2
Аналіз зміни кута сколіотичної деформації в результаті лікування

Група	Кут деформації, град ($M \pm SD$) / min ÷ max			
	до лікування, град	після лікування, град	$\overline{M \pm SD}$ t, p	Відсоток зміни, %
I	108,0±6,0 100,0÷121,0	44,1±15,3 21,0÷82,0	63,9±13,6 t=28,892 p<0,001	59,4±13,1 31,0÷79,0
II	106,1±4,5 100,0÷117,0	56,9±14,2 34,0÷90,0	49,2±12,6 t=24,015 p<0,001	46,6±12,3 20÷68
Статистична значущість між групами	$\overline{M \pm SE}$ t p	1,9±1,2 t=1,604 p=0,113	-12,8±3,4 t=-3,786 p<0,001	12,9±2,9 t=4,412 p<0,001

Як було доведено раніше, різниці у величині сколіотичної деформації до лікування між групами не було ($p = 0,113$). Після лікування кут деформації, як показано вище, у дітей I групи $(44,4 \pm 15,3)^\circ$ значущо ($p < 0.001$) був меншим, ніж у дітей II групи $(56,9 \pm 14,2)^\circ$, хоча зменшення деформації хребта були статистично значущими ($p < 0,001$) в обох групах. При цьому загальний відсоток корекції деформації в результаті лікування у дітей I групи $(59,4 \pm 13,1) \%$ був статистично значущо ($p < 0,001$) більшим, ніж у дітей II групи $(46,6 \pm 12,3) \%$.

На діаграмі (рис. 6.1) наведено динаміка зміни кута сколіотичної деформації у дітей.

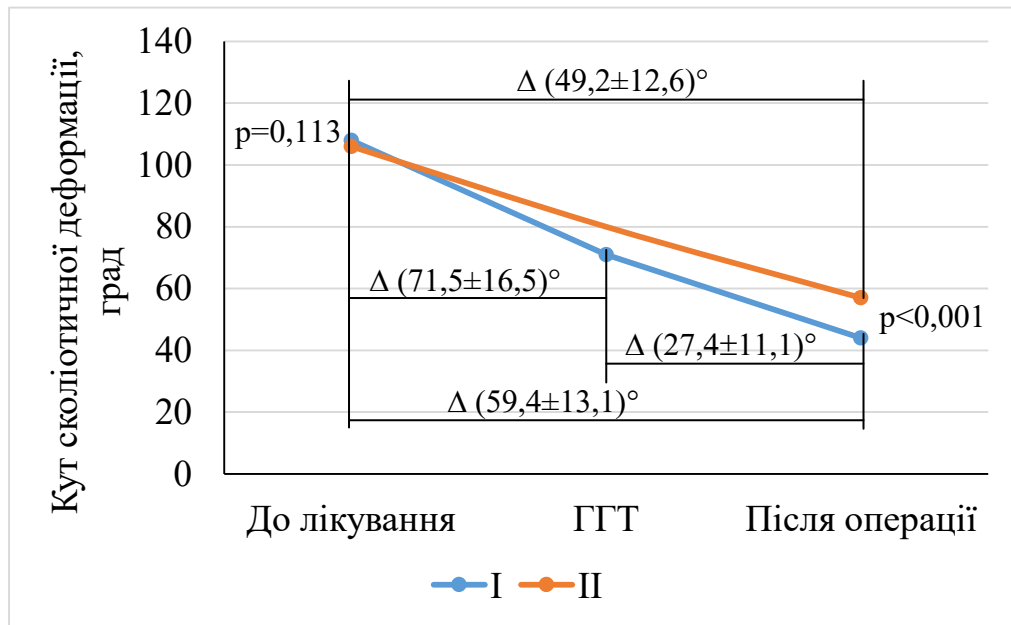


Рис. 6.1 Динаміка зміни кута деформації у дітей.

На діаграмі (рис. 6.1) показано, що від однакового кута сколіотичної деформації у дітей до лікування після хірургічної корекції в групах остаточний кут деформації виявився статистично значущо різним ($p < 0.001$), з кращими результатами в групі з ГГТ.

Проаналізуємо, чи впливає вік дітей на результат лікування. Для цього провели однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) з апостеріорним тестом Дункана, результати якого наведені в табл. 6.3

Таблиця 6.3
Оцінка зменшення кута сколіотичної деформації (град.)
у дітей різних вікових груп

Вік, років	Зменшення кута деформації, град. (M±SD)						
	I група			II група			
	n	$\alpha = 0,05$		n	$\alpha = 0,05$		
1		2	1		2	3	
Від 14 до 17 років	8	48,4±17,3		7	32,8±10,		
Від 11 до 13 років	15		59,0±9,3	19		44,5±9,6	
Від 7 до 10 років	15		65,7±10,5	12			57,8±5,6
Стат.значущість в межах кластера, p		1,000	0,181		1,000	1,000	1,000

За даними проведеного аналізу визначено, що у дітей старше 14 років корекція деформації була статистично значущо меншою ($\alpha=0,05$) ніж у молодших дітей, причому це спостерігалось в обох групах. В I групі відсоток корекції деформації у дітей від 7 до 13 років був статистично близьким ($p=0,181$), але в II групі відсоток корекції дітей від 11 до 13 років значущо був меншим, ніж у дітей молодше 10 років. На діаграмі (рис. 6.2) наведена різниця у величині корекції сколіотичної деформації у дітей різного віку по групах.

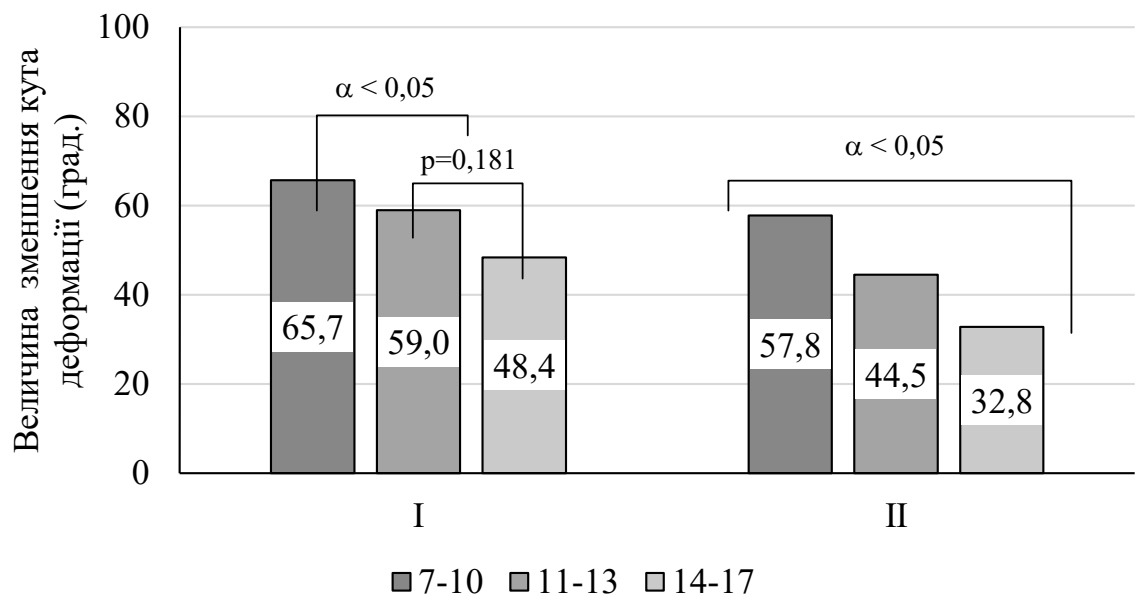


Рис. 6.2. Величина зміни кута сколіотичної деформації у дітей різного віку по групах.

На представленій діаграмі розподілу величини зміни кута сколіотичної деформації можна відмітити, що за всіма віковими підгрупами у дітей I групи величина зменшення кута деформації була більшою. На скільки виявилися різними результати корекції деформації у дітей різного віку по групах наведено в табл. 6.4.

За результатами проведеного статистичного аналізу було визначено, що у дітей молодше 13 років кращі результати лікування були в I групі, тобто використання ГТТ статистично значущо покращує результати лікування. У дітей старше 14 років відсутня значуща різниця ($p=0,060$) результатів

лікування, хоча у дітей I групи різниця у величині корекції помітно більша ($48,4 \pm 17,3$) %, ніж у дітей II групи цього ж віку – ($32,8 \pm 10,7$)%.

Таблиця 6.4

Аналіз зменшення кута сколіотичної деформації (град) сколіотичної деформації у дітей різного віку в групах спостереження

Група	Зменшення кута деформації (град) (M±SD) / min÷max		
	Вік, років		
	Від 7 до 10	Від 11 до 13	Від 14 до 17
I	$65,7 \pm 10,5$	$59,0 \pm 9,3$	$48,4 \pm 17,3$
	44,2÷79,4	39,0÷74,8	30,5÷77,6
II	$57,8 \pm 5,6$	$44,5 \pm 9,6$	$32,8 \pm 10,7$
	45,2÷64,4	26,8÷67,6	20,4÷54,4
Стат.значущість між групами	t=2,509 p=0,020	t=4,459 p<0,001	t=2,062 p=0,060

Застосування запропонованого нами методу лікування сколіотичної деформації з використанням гало-гравітаційної тракції дозволило значущо покращити результати корекції. Застосування нашого методу лікування не тільки значущо ($p < 0,001$) зменшує деформацію хребта, але й помітно зменшує величину хірургічної корекції.

Треба відмітити, що результати лікування, як із застосуванням ГГТ, так і без нього кращі у дітей молодше 14 років. У них і первинно діагностували в середньому менший кут сколіотичної деформації, і застосування ГГТ приводило до більшого зменшення деформації, відповідно і до значущого зменшення деформації по закінченню лікування.

Таким чином, відмітимо, що кут деформації хребта у пацієнтів I групи (гало-гравітаційна тракція) перед хірургічною корекцією був статистично значущо меншим, ніж у дітей II групи. Це обумовило статистично значущо ($p < 0,001$) кращі результати хірургічної корекції в I групі ($59,4 \pm 13,1$)%, ніж у пацієнтів II групи ($46,6 \pm 12,3$) %.

Не залежно від протоколу лікування кращі результати в корекції сколіотичної деформації були у дітей молодше 14 років.

6.2. Аналіз крововитрат при хірургічній корекції сколіотичної деформації

Кут деформації, який підлягає хірургічній корекції, впливає на тяжкість та тривалість операційного втручання, відповідно і на крововтрату.

Проаналізуємо крововтрату при хірургічному втручанні в групах пацієнтів (табл. 6.5)

Таблиця 6.5

Крововтрата при хірургічному втручанні у пацієнтів

Група	Крововтрата, мл (M±SD)	Стат.значущість між групами (t, p)
I	1044,7±245,7	t=-3,672 p<0,001
II	1292,1±334,8	

Як показав статистичний аналіз, крововтрата в I групі ((1044,7±245,7) мл) статистично значущо менша, ніж у пацієнтів II групи – ((1292,1±334,8) мл).

Проаналізуємо, чи впливає кут сколіотичної деформації на об'єм крововтрати при операції (табл. 6.6). Для вирішення цього завдання величину кута сколіотичної деформації поділили на 2 рівня – менше 100° деформації (n=36) і більше 100° (n=40).

Таблиця 6.6

Аналіз залежності об'єму крововтрати від кута сколіотичної деформації

Кут деформації (град.)	Крововтрата, мл (M±SD)	Стат.значущість між групами (t, p)
Менше 100° (n=36)	1025,0±235,9	t=-4,119 p<0,001
Більше 100° (n=40)	1297,5±327,8	

При хірургічній корекції сколіотичної деформації менше 100° крововтрата ((1025,0±235,9) мл) статистично значущо (p<0,001) менша ніж крововтрата при корекції деформації більше 100° (1297,5±327,8) мл.

Проаналізуємо, чи впливає вік дітей на крововтрату при хірургічному втручанні (у загальній кількості дітей) (табл. 6.7)

Таблиця 6.7

Крововтрати при хірургічній корекції у дітей різних вікових груп

Вікові групи	Крововтрати, мл (M±SD)		
	Різниця між підгрупами для $\alpha = 0,05$		
	1	2	3
Від 7 до 10 років (n=27)	888,9±157.7		
Від 11 до 13 років (n=34)		1258,8±224.4	
Від 14 до 17 років (n=15)			1466,7±328.8
Стат.значущість в межах підгруп, p	1,000	1,000	1,000

Статистично було доведено, що з віком у дітей збільшується крововтрата, причому ця різниця між віковими підгрупами статистично значуща ($\alpha = 0.05$), це представлено на діаграмі (рис. 6.1). Це логічне, через збільшення маси тіла та протяжності хірургічного розтину з віком дитини.

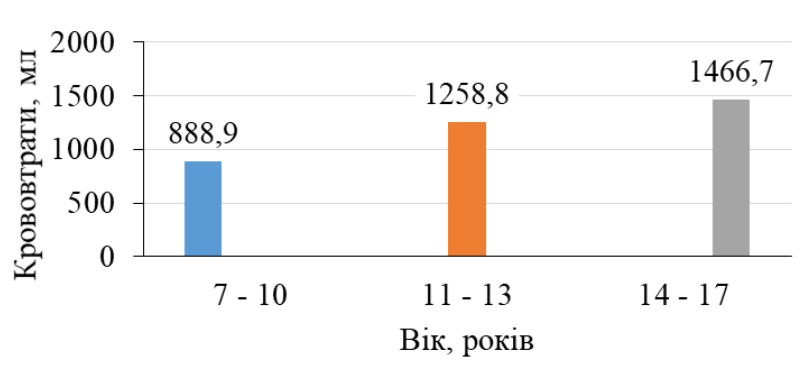


Рис. 6.1 – Діаграма розподілу крововтрати у дітей різних вікових груп

В I групі у двох дітей старше 14 років після гало-гравітаційної тракції кут деформації залишився більше 100° . Отже, у цих хворих крововтрата також була більшою, ніж у дітей з меншим кутом деформації (табл. 6.8).

Таблиця 6.8

Крововтрата у дітей I групи при різних кутах сколіотичної деформації

Кут деформації	Крововтрата, мл (M±SD) / (min÷max)	Стат.значущість (кут деформації)
Менше 100° (n=6)	1025,0±235,9 600,0÷1600,0	t=-2,208 p=0,034
Більше 100° (n=2)	1400,0±141,4 1300,0÷1500,0	

Як показав аналіз, крововтрата у дітей з кутом деформації менше 100° ((1025±235,9) мл) статистично значуще (p=0,034) менша, ніж у дітей з кутом деформації більше 100° (1400±141,4) мл. Через те, що дітей з кутом більше 100° було лише 2, то вважати достовірним отриманий результат можна з великим припущенням, але нижня межа розкиду крововтрати (1300 мл) вище, ніж у дітей з кутом деформації менше 100°.

Перевіримо, чи впливає на крововтрату при хірургічному втручанні такі параметри – залишковий кут деформації після корекції та величина зміни кута деформації після операції. Для цього було проведено кореляційний аналіз, результати якого наведено в табл. 6.9.

Таблиця 6.9

Аналіз зв'язку крововтрати з кутом залишкової деформації та величиною зміни кута деформації

Параметр		Кут деформації	
		після корекції	рівень зміни
Крововтрата	r	0,576**	-0,015
	p	0,001	0,897

За даними аналізу, величина кута сколіотичної деформації після хірургічної корекції має середній, але статистично значущий (r=0,576; p=0,001) вплив на крововтрату, а величина хірургічної корекції деформації не впливає на крововтрату (r=0,015; p=0,879).

За даними проведеного статистичного дослідження можна стверджувати, що на крововтрату при хірургічній корекції сколіотичної деформації

найбільше впливає кут деформації та вік пацієнта. При куті деформації більше 100° крововтрата значуще більше, ніж при куті менше 100° , у дітей старше 14 років також спостерігали збільшення крововтрата, і це пов'язане не тільки з більшою масою тіла, але й з тим, що у цих дітей спостерігали більший кут деформації хребта, а також при застосуванні гало-гравітаційної тракції кут деформації зменшується менше, ніж у молодших дітей.

6.3. Аналіз зміни параметрів дихання після хірургічної корекції сколіотичної деформації

В продовж лікування складних сколіотичних деформацій у пацієнтів здійснювали контроль показників легеневої вентиляції.

Оцінимо початковий стан функції дихання у пацієнтів I та II груп (табл. 6.10).

Таблиця 6.10

Оцінка показників функції вентиляції легень до лікування та після хірургічної корекції

Параметр	Період	Група		$\overline{M \pm SE}$, t, p
		I	II	
ФЖЄЛ, %	До лікування	62,7±10,3 48,0÷82,0	63,8±8,3 48,0÷82,0	-1,1±2,7 t=-0,394; p=0,696
	Після ХК	74,8±8,9 62,0÷94,0	70,5±6,8 59,0÷84,0	4,2±2,3 t=1,831; p=0,074
	$\overline{M \pm DS}$ t, p	-12,1±4,7 t=-12,967; p<0,001	-6,8±4,5 t=-7,121; p<0,001	
ОФВ1, %	До лікування	53,4±9,4 44,0÷76,0	56,2±10,4 44,0÷78,0	-2,8±2,9 t=-0,983; p=0,331
	Після ХК	68,8±6,7 60,0÷86,0	65,0±7,8 53,0÷82,0	3,8±2,1 t=1,835; p=0,073
	$\overline{M \pm DS}$ t, p	-15,4±8,2 t=-9,564; p<0,001	-8,8±5,5 t=-7,490; p<0,001	
ІТ, %	До лікування	73,6±13,2 45,9÷90,5	75,7±10,1 45,9÷93,5	-2,1±3,4 t=-0,621; p=0,538
	Після ХК	86,0±5,1 77,4÷95,4	84,6±4,1 77,4÷92,0	1,4±1,4 t=1,064; p=0,293
	$\overline{M \pm DS}$ t, p	-12,4±13,1 t=-4,839; p<0,001	-8,8±9,1 t=-4,532; p<0,001	

За даними проведеного аналізу групи пацієнтів за функцією дихання на момент початку лікування були статистично близькими. За всіма параметрами, які оцінювали, різниця між групами відсутня ($p > 0,05$). Зміна параметрів дихання після хірургічної корекції сколіотичної деформації у всіх пацієнтів статистично значущо покращився ($p < 0,001$).

І хоча статистично значущої різниці показників дихання після хірургічної корекції у пацієнтів не виявлено ($p > 0,05$), загальне збільшення параметрів явно простежується. Так ФЖЕЛ у пацієнтів I групи в середньому змінився на $(12,1 \pm 4,7) \%$, у пацієнтів II групи всього в середньому на $(6,8 \pm 4,5) \%$. Аналогічно ОФВ1 в I групі збільшився на $(15,4 \pm 8,2) \%$, в II групі на $(8,8 \pm 5,5) \%$; індекс Тиффно в I групі збільшився на $(12,4 \pm 13,1) \%$, у II групі – на $(8,8 \pm 9,1) \%$.

Пацієнтам I групи перед хірургічною корекцією проводили галогравітаційну тракцію, яка статистично значущо ($p < 0,05$) покращила функцію вентиляції легень, тому їх стан перед операцією був кращим.

Для оцінки впливу ГТТ на подальше покращення функції дихання було проведено порівняльний аналіз параметрів дихання пацієнтів до хірургічної корекції сколіотичної деформації (для пацієнтів I групи взяті параметри після ГТТ) та після операції (табл. 6.11).

Таблиця 6.11

Оцінка впливу ГТТ на зміну параметрів дихання

Параметр	Період	Група		$\overline{M \pm SE}$, t, p
		I	II	
ФЖЕЛ, %	До ХК	$82,8 \pm 6,1$	$63,8 \pm 8,3$	$19,0 \pm 2,1$ $t=9,074; p<0,001$
		$73,0 \div 95,0$	$48,0 \div 82,0$	
	Після ХК	$74,8 \pm 8,9$	$70,5 \pm 6,8$	$4,2 \pm 2,3$ $t=1,831; p=0,074$
	$\overline{M \pm DS}$ t, p	$8,0 \pm 4,0$ $t=10,173; p<0,001$	$-6,8 \pm 4,5$ $t=-7,121; p<0,001$	
ОФВ1, %	До ХК	$76,5 \pm 4,4$	$56,2 \pm 10,4$	$20,3 \pm 2,4$ $t=8,554; p<0,001$
		$68,0 \div 86,0$	$44,0 \div 78,0$	
	Після ХК	$68,8 \pm 6,7$	$65,0 \pm 7,8$	$3,8 \pm 2,1$ $t=1,835; p=0,073$
	$\overline{M \pm DS}$ t, p	$7,7 \pm 4,5$ $t=8,745; p<0,001$	$-8,8 \pm 5,5$ $t=-7,490; p<0,001$	

За даними проведеного статистичного аналізу було визначено, що на момент перед оперативним втручанням у пацієнтів I групи відмічали статистично значущо ($p < 0,001$) кращі показники ФЖЄЛ (в середньому на $(19,0 \pm 2,1)$ %), та ОФВ1 – на $(20,3 \pm 2,4)$ %. Відмітимо, що після хірургічної корекції показники функції дихання змінювалися в групах однаково на 7-10 %.

Проаналізуємо ступінь вентиляційних порушень у пацієнтів після хірургічної корекції сколіотичної деформації (табл. 6.12)

Таблиця 6.12

Розподіл пацієнтів за ступенем вентиляційних порушень після хірургічної корекції сколіотичної деформації

Група	Ступінь важкості (по ОФВ1)		
	Відсутні	1-а	2-а
I (абс, %) (n=26)	2 (7,7%)	7 (26,9 %)	17 (65,4%)
II (абс, %) (n=22)	2 (9,1%)	3 (13,6 %)	17 (73,3%)
Ст.значущість по V Крамера, p	V _{кр} =0,163; p=0,528		

За даними аналізу не було виявлено значущої різниці у розподілі порушень в групах після хірургічної корекції деформації хребта. У пацієнтів повністю зникли важкі ступені вентиляційних порушень, але у більшості пацієнтів обох груп відмічали 2-гу ступінь порушення. Різниці у розподілі вентиляційних порушень по групах не виявлено ($p=0,528$).

При етапному лікуванні дітей основної групи відмічалось зменшення деформації до $(44,4 \pm 15,3)^\circ$, що значущо ($p < 0,001$) менше, ніж у дітей контрольної групи $(56,9 \pm 14,2)^\circ$. Це безпосередньо впливало на крововтрату при операції, тобто, в основній групі крововтрата становила $((1044,7 \pm 245,7)$ мл), що статистично значущо менше, ніж у пацієнтів основної групи – $((1292,1 \pm 334,8)$ мл). При проведенні операційного втручання за даними інтраопераційного нейромоніторингу у пацієнтів з попередньою ГГТ відмічали зниження амплітуди М-відповіді у 8 (21,1 %) дітей, в контрольній групі – у 17 (44,7 %), різниця статистично значуща ($p=0,027$).

Матеріали даного розділу відображені в роботах:

1. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи галогравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.
2. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Яресько ОВ, Карпінський МЮ. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей. Травма. 2021; 6 (22): С.19-25.
3. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ, Дуда ЛВ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями. Хірургія дитячого віку. 2021; 3 (72): 10-14.
4. Левицький АФ, Рогозинський ВО, Доляницький ММ. Галогравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта в дітей: огляд клінічних випадків. Хірургія дитячого віку. 2020; 4 (69): 67-71

ВИСНОВКИ

1. За проведеним аналітичним оглядом літератури було визначено, що у пацієнтів з деформаціями хребта $>100^\circ$ ефективною методикою хірургічного лікування є використання гало- гравітаційної тракції першим етапом, що дає можливість зменшити ризики інтраопераційних ускладнень, зменшити час хірургічного втручання та покращити результати хірургічної корекції.

2. За результатами проведеного математичного моделювання методом скінченних елементів системи «хребет – система гало-гравітаційної тракції» було визначено, що при лікуванні ригідних деформацій хребта у дітей з кутом деформації ($>100^\circ$) з використання системи гало-гравітаційної тракції доведено ефективність даної методики, однак максимальне рекомендоване навантаження має не перевищувати 50% маси тіла пацієнта; при деформації хребта більше 70° , найбільш напруженими є блок хребців T2-T5; максимальне значення напруги за Мізесом 33 МПа не є критичним для кісткової тканини з точки зору міцності, але зі збільшенням навантаження удвічі, рівень напруженого стану підвищиться також у два рази і може перевищити межу міцності кісткової тканини.

Аналіз напружено-деформованого стану моделі «хребет – система заднього спондилодезу» при різних кутах сколіотичної деформації показав, що при всіх величинах сколіотичної деформації хребта найбільш напруженими є хребці Th4 та Th5. у задньому опорному комплексі максимальне значення напружень знаходяться у місцях входу гвинтів у кістку. Математичне моделювання заднього спондилодезу показало, що при великих кутах деформації можливе руйнування хребців і для зменшення цього впливу необхідно проводити додаткові заходи.

3. Оптимальним терміном проведення гало-гравітаційної тракції є 6 тижнів з поступовим накладанням сили витягіння від 2-4 кг до 40-50% ваги пацієнта впродовж 8-12 діб. Помітні зміни зазвичай починаються з 4 тижня витягіння, а на 5-6 тиждень відмічали максимальний рівень корекції, який

сягав 30%. Найбільш оптимальною є сила витягання у 50 % від ваги тіла, при цьому зменшення деформації в середньому сягає $(39,4 \pm 13,3)$ %.

4. Доведено, що при проведенні гало-гравітаційної тракції у пацієнтів значущо ($p=0,031$) покращується функція дихання. Після проведення ГГТ у пацієнтів відмічали значуще ($p<0,001$) збільшення показника ФЖЄЛ до 82 % (до ГГТ – 48 %), показник об'єму форсованого видиху (ОФВ1) збільшився до $(76,5 \pm 4,4)$ % ($p<0,001$). Показники пацієнтів I групи (після ГГТ) перед хірургічним лікуванням мали статистично значущо кращі показники функції дихання, ніж пацієнти II групи

5. При етапному лікуванні дітей основної групи відмічалось зменшення деформації до $(44,4 \pm 15,3)^\circ$, що значущо ($p<0,001$) менше, ніж у дітей контрольної групи $(56,9 \pm 14,2)^\circ$. Це безпосередньо впливало на крововтрату при операції, тобто, в основній групі крововтрата становила $(1044,7 \pm 245,7)$ мл, що статистично значущо менше, ніж у пацієнтів основної групи – $(1292,1 \pm 334,8)$ мл. При проведенні операційного втручання за даними інтраопераційного нейромоніторингу у пацієнтів з попередньою ГГТ відмічали зниження амплітуди М-відповіді у 8 (21,1 %) дітей, в контрольній групі – у 17 (44,7 %), різниця статистично значуща ($p=0,027$).

ПЕРЕЛІК ВИКОИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головаха МЛ, Тяжелов АА, Летучая НП, Суббота ИА, Карпинский МЮ. Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения S-образной сколиотической деформации позвоночника. Травма. 2018; 19 (1): 58-68. doi: 10.22141/1608-1706.1.19.2018.126661
2. Левицький АФ, Доляницький ММ, **Рогозинський ВО**. Використання гало-гравітаційної тракції при лікуванні складних ідіопатичних деформацій хребта. Збірник тез XVIII з'їзду ортопедів-травматологів України. 2019: 114-114.
3. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Бензар ІМ, Доляницький ММ, Карпінська ОД. Аналіз ефективності використання системи гало-гравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. Хірургія дитячого віку. 2022; 1 (74): 34-39.
4. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Доляницький ММ, Яресько ОВ, Карпінський МЮ. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей. Травма. 2021; 6 (22): С.19-25.
5. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Доляницький ММ, Дуда ЛВ. Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями. Хірургія дитячого віку. 2021; 3 (72): 10-14.
6. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Доляницький ММ. Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта в дітей: огляд клінічних випадків. Хірургія дитячого віку. 2020; 4 (69): 67-71
7. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Доляницький ММ. Дослідження суб'єктивної оцінки результатів хірургічної корекції складних

(>100°) деформацій хребта у дітей з використанням гало- гравітаційної тракції за допомогою опитувальника SRS-30 (Scoliosis Research Society). Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. 2021; 1 (14): 70-71.

8. Левицький АФ, **Рогозинський ВО**, Карпінська ОД. Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні гало-гравітаційної тракції. Травма. 2022; 1 (23): 36-42.

9. Мезенцев АА, Чекрыжев ДО, Карпинский МЮ, Суббота ИА. Біомеханічне моделювання умов навантаження хребта при лікуванні сколіозу методом корсетотерапії. Медицина и ... 2005; 1: 45-49.

10. Петренко ДЄ, Мезенцев АО, Яресько ОВ. Аналіз напружено-деформованого стану грудного та поперекового відділів хребта після фіксації вентральним імплантатом. Літопис травматології та ортопедії. 2013; 3–4: 25-29.

11. Рогозинський ВО, Левицький АФ, Доляницький ММ, Яресько ОВ. Аналіз математичного моделювання біомеханічної моделі гало- гравітаційної тракції при деформаціях хребта в дітей. Хірургія дитячого віку. 2021; 4 (73): 18-24

12. Тарасенко МВ, **Рогозинський ВО**. Вестибулярна система та використання гало- гравітаційної тракції при лікуванні складних (>100°) сколіотичних деформацій хребта у дітей. Український науково-медичний молодіжний журнал. 2021; 1: 19-20.

13. Тягур Р. Проблема сколіозу в сучасній ортопедії. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2014; 3 (41): 106-109.

14. Aebi M, Maas C, Di Pauli von Treuheim T, Friedrich H, Wilke HJ. Comparative biomechanical study of a new transpedicular vertebral device and vertebroplasty for the treatment or prevention of vertebral compression fractures. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2018 Jul; 56:40-45. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.05.001.

15. Agabegi SS, Kazemi N, Sturm PF, Mehlman CT. Natural History of Adolescent Idiopathic Scoliosis in Skeletally Mature Patients: A Critical Review. J

Am Acad Orthop Surg. 2015 Dec;23(12):714-23. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00037.

16. Agarwal A, Aker L, Ahmad AA. Active Apex Correction (Modified SHILLA Technique) Versus Distraction-Based Growth Rod Fixation: What Do the Correction Parameters Say? *Spine Surg Relat Res*. 2019 Aug 16;4(1): 31-36. doi: 10.22603/ssrr.2019-0045.

17. Akbarnia BA, Mundis GM. Magnetically controlled growing rods in early onset scoliosis : Indications, timing and treatment. *Orthopade*. 2019 Jun;48(6):477-485. English. doi: 10.1007/s00132-019-03755-0.

18. Akiyama Y, Takahashi H, Saito J, Aoki Y, Nakajima A, Sonobe M, et al. Surgical treatment for atlantoaxial rotatory fixation in an adult with spastic torticollis: A case report. *J Clin Neurosci*. 2020 May;75:225-228. doi: 10.1016/j.jocn.2020.03.017. Epub 2020 Mar 13.

19. Barba N, Ignasiak D, Villa TMT, Galbusera F, Bassani T. Assessment of trunk muscle activation and intervertebral load in adolescent idiopathic scoliosis by musculoskeletal modelling approach. *J Biomech*. 2021 Jan 4;114:110154. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110154.

20. Benli IT, Akalin S, Kiş M, Citak M, Aydin E, Duman E. Frontal and sagittal balance analysis of late onset idiopathic scoliosis treated with third generation instrumentation. *Kobe J Med Sci*. 2001 Dec;47(6):231-53.

21. Bentley G, Haddad F, Bull TM, Seingry D. The treatment of scoliosis in muscular dystrophy using modified Luque and Harrington-Luque instrumentation. *J Bone Joint Surg Br*. 2001 Jan;83(1):22-8. doi: 10.1302/0301-620x.83b1.10029.

22. Betz RR, Cunningham B, Selgrath C, Drewry T, Sherman MC. Preclinical testing of a wedge-rod system for fusionless correction of scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 Oct 15; 28(20): S275-8. doi: 10.1097/01.BRS.0000092486.61943.99.

23. Betz RR, D'Andrea LP, Mulcahey MJ, Chafetz RS. Vertebral body stapling procedure for the treatment of scoliosis in the growing child. *Clin Orthop Relat Res*. 2005 May;(434):55-60. doi: 10.1097/01.blo.0000163472.46511.a8.

24. Boachie-Adjei O, Sacramento-Dominguez C, Ayamga J, Sackeyfio A, Duah HO, Yankey KP, et. al. Characterization of complex vertebral transposition (gamma deformity) > 180 degrees: clinical and radiographic outcomes of halo gravity traction and vertebral column resection (VCR). *Spine Deform.* 2021 Mar;9(2):411-425. doi: 10.1007/s43390-020-00179-1.
25. Bouchard JA, Feibel RJ. Gradual multiplanar cervical osteotomy to correct kyphotic ankylosing spondylitic deformities. *Can J Surg.* 2002 Jun; 45(3):215-8. PMID: 12067180; PMCID: PMC3686958.
26. Bridwell KH. Decision making regarding Smith-Petersen vs. pedicle subtraction osteotomy vs. vertebral column resection for spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006 Sep 1;31(19 Suppl):S171-8. doi: 10.1097/01.brs.0000231963.72810.38. PMID: 16946635.
27. Burwell RG, Aujla RK, Grevitt MP, Dangerfield PH, Moulton A, Randell TL, Anderson SI. Pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis in girls - a double neuro-osseous theory involving disharmony between two nervous systems, somatic and autonomic expressed in the spine and trunk: possible dependency on sympathetic nervous system and hormones with implications for medical therapy. *Scoliosis.* 2009 Oct 31;4:24. doi: 10.1186/1748-7161-4-24.
28. Chan CY, Lim CY, Shahnaz Hasan M, Kwan MK. The use of pre-operative halo traction to minimize risk for correction of severe scoliosis in a patient with Fontan circulation: a case report and review of literature. *Eur Spine J.* 2016 May;25 Suppl 1:245-50. doi: 10.1007/s00586-016-4538-9.
29. Chen J, Sui WY, Yang JF, Deng YL, Xu J, Huang ZF, Yang JL. The radiographic, pulmonary, and clinical outcomes of patients with severe rigid spinal deformities treated via halo-pelvic traction. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Jan 23;22(1):106. doi: 10.1186/s12891-021-03953-y. PMID: 33485304; PMCID: PMC7825157.
30. Chiba T, Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, Sorimachi T, Ueda H, et al. Growing rod technique with prior foundation surgery and sublaminar taping for

early-onset scoliosis. *J Neurosurg Spine*. 2020 Jun 26;1-6. doi: 10.3171/2020.4.SPINE2036.

31. Chmielewska M, Janusz P, Andrusiewicz M, Kotwicki T, Kotwicka M. Methylation of estrogen receptor 2 (ESR2) in deep paravertebral muscles and its association with idiopathic scoliosis. *Sci Rep*. 2020 Dec 18;10(1):22331. doi: 10.1038/s41598-020-78454-4.

32. Cho W, Patel B, Kim D, Chen F, Moon S, Chang DG. Trends in topics presented as posters at the Scoliosis Research Society (SRS) annual meetings for the last 7 years: implications of an SRS annual meeting abstract registry (Part II). *Spine Deform*. 2021 Sep;9(5):1275-1287. doi: 10.1007/s43390-021-00342-2. Epub 2021 Apr 6. PMID: 33822323.

33. Chugh AJS, Kasliwal MK. Commentary: Scoliosis Research Society-Schwab Grade 6 Osteotomy for Severe Congenital Angular Kyphoscoliosis: An Analysis of 17 Cases With a Minimum 2-Year Follow-up. *Neurosurgery*. 2020 Oct 15;87(5):E539-E540. doi: 10.1093/neuros/nyaa194.

34. Crews JD, Mina M, Johnson E, Guillen J, Simmons J, Joshi A. Risk Factors for Surgical Site Infections Following Vertical Expandable Prosthetic Titanium Rib (VEPTR) Surgery in Children. *Spine Deform*. 2018 Nov-Dec;6(6):791-796. doi: 10.1016/j.jspd.2018.03.016.

35. Davies NR, Vasquez Rodriguez V, Remondino RG, Galaretto E, Piantoni L, Rodriguez S, et al. Inpatient versus outpatient halo-gravity traction in children with severe spinal deformity. *Spine Deform*. 2020 Aug; 8(4):711-715. doi: 10.1007/s43390-020-00083-8.

36. Di Silvestre M, Zanirato A, Greggi T, Scarale A, Formica M, Vallerga D, Legrenzi S, Felli L. Severe adolescent idiopathic scoliosis: posterior staged correction using a temporary magnetically-controlled growing rod. *Eur Spine J*. 2020 Aug;29(8):2046-2053. doi: 10.1007/s00586-020-06483-8. Epub 2020 Jun 6. PMID: 32506163.

37. Dong H, Nandra R, Thurston D, Laugharne E, Newton Ede M, Gardner A, Mehta J. Efficacy of distal pedicle screw fixation as a caudal foundation in

VEPTR growing rod constructs for early onset scoliosis. *Spine Deform.* 2021 Jul;9(4):1169-1174. doi: 10.1007/s43390-021-00295-6.

38. Du HG, Phuoc VX, Hoang ND, Dung TT, Van Trung N. Transarticular Screw Fixation in the Treatment of Severe C1-C2 Dislocation: A Case Series Report. *Orthop Surg.* 2020 Dec;12(6):2031-2040. doi: 10.1111/os.12792.

39. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng.* 1992; 20(4):451-62. doi: 10.1007/BF02368136.

40. Dwyer R, Ward R, Richardson E, Davidson SA, Thetford A, Valentine J. Traumatic spinal cord injuries: A retrospective cohort study of children seen in Western Australia between 1996 and 2016. *J Pediatr Rehabil Med.* 2019;12(3):235-243. doi: 10.3233/PRM-180545.

41. Edgar MA. The natural history of unfused scoliosis. *Orthopedics.* 1987 Jun;10(6):931-9. doi: 10.3928/0147-7447-19870601-12.

42. Enercan M, Ozturk C, Kahraman S, Sarier M, Hamzaoglu A, Alanay A. Osteotomies/spinal column resections in adult deformity. *Eur Spine J.* 2013 Mar;22 Suppl 2(Suppl 2):S254-64. doi: 10.1007/s00586-012-2313-0.

43. Erdem MN, Oltulu I, Karaca S, Sari S, Aydogan M. Intraoperative Halo-Femoral Traction in Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis Curves between 70° and 90°: Is It Effective? *Asian Spine J.* 2018 Aug;12(4):678-685. doi: 10.31616/asj.2018.12.4.678.

44. Esposito VR, Dial BL, Fitch RD, Lark RK. Periapical Wires Result in Less Curve Correction Than Pedicle Screw Constructs in Idiopathic Scoliosis. *Asian Spine J.* 2019 Dec;13(6):1010-1016. doi: 10.31616/asj.2019.0001.

45. Everitt BS, Skrondal A. *The Cambridge Dictionary of Statistics.* Ed. 4. Cambridge University Press, 2010. 480 p.

46. Fialho J. A biomechanical model for the idiopathic scoliosis using robotic traction devices. *Journal of Physics: Conf. Series.* 2018; 1141: 012022. doi:

10.1088/1742-6596/1141/1/012022. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1141/1/012022>

47. Finkelstein JA, Schwartz CE. Patient-reported outcomes in spine surgery: past, current, and future directions. *J Neurosurg Spine*. 2019 Aug 1;31(2):155-164. doi: 10.3171/2019.1.SPINE18770.

48. Forsberg D, Lundström C, Andersson M, Knutsson H. Model-based registration for assessment of spinal deformities in idiopathic scoliosis. *Phys Med Biol*. 2014 Jan 20; 59(2): 311-26. doi: 10.1088/0031-9155/59/2/311.

49. Fuerderer S, Vonhoegen J, Coenen O, Michael J, Koebke J, Eysel P. In vitro comparison of the pullout strength of 3 anterior double-screw fixation techniques with different screw angulations. *J Neurosurg Spine*. 2011 Mar;14(3):367-71. doi: 10.3171/2010.9.SPINE09495.

50. Ghista DN, Viviani GR, Subbaraj K, Lozada PJ, Srinivasan TM, Barnes G. Biomechanical basis of optimal scoliosis surgical correction. *J Biomech*. 1988;21(2):77-88. doi: 10.1016/0021-9290(88)90001-2.

51. Gill JB, Levin A, Burd T, Longley M. Corrective osteotomies in spine surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2008 Nov;90(11):2509-20. doi: 10.2106/JBJS.H.00081.

52. Głowacki M, Harasymczuk J, Piontek T, Strzyzewski W. The CD-Hopf method in the surgical treatment of idiopathic scoliosis of the thoracolumbar or lumbar spine. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2005 Apr 30;7(2):158-62. PMID: 17615508.

53. Gomez JA, Grzywna A, Hanstein R, Emans JB, Hresko MT, Hedequist D, Karlin LI, Glotzbecker MP. Staged Growing Rods With Preimplantation of Spinal Anchors for Complex Early Onset Scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2017 Dec;37(8):e606-e611. doi: 10.1097/BPO.0000000000000957.

54. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J*

Respir Crit Care Med. 2019 Oct 15;200(8):e70-e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.

55. Graziano GP, Hensinger R, Patel CK. The use of traction methods to correct severe cervical deformity in rheumatoid arthritis patients: a report of five cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001 May 1;26(9):1076-81. doi: 10.1097/00007632-200105010-00018.

56. Guo D, Yao Z, Qi X, Li C, Zhang X. Short fixation with a 3-rod technique for posterior hemivertebra resection in children younger than 5 years old. *Pediatr Investig*. 2020 Jun 24;4(2):104-108. doi: 10.1002/ped4.12206.

57. Gupta S, Gupta MC. The Nuances of Pedicle Subtraction Osteotomies. *Neurosurg Clin N Am*. 2018 Jul;29(3):355-363. doi: 10.1016/j.nec.2018.03.001.

58. Ha AS, Cerpa M, Lenke LG. State of the art review: Vertebral Osteotomies for the management of Spinal Deformity. *Spine Deform*. 2020 Oct;8(5):829-843. doi: 10.1007/s43390-020-00144-y.

59. Haapala H, Saarinen AJ, Salonen A, Helenius I. Shilla Growth Guidance Compared With Magnetically Controlled Growing Rods in the Treatment of Neuromuscular and Syndromic Early-onset Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020 Dec 1;45(23):E1604-E1614. doi: 10.1097/BRS.0000000000003654.

60. Hadad MJ, Xu AL, Bryant BR, Andrade NS, Hoon AH Jr, Sponseller PD. Why the Hips Remain Stable When the Spine Strays: A Deeper Analysis of the Relationship Between Hip Displacement and Severe Scoliosis in Patients With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop*. 2021 May-Jun 01;41(5):261-266. doi: 10.1097/BPO.0000000000001765.

61. Halm H, Liljenqvist U, Niemeyer T, Winkelmann W, Zielke K. Halm-Zielke Instrumentation (Münsteraner Anteriores Doppelstab System) als Weiterentwicklung der Zielke-VDS. Operationsmethode und vorläufige Ergebnisse [Halm-Zielke instrumentation (Munster Anterior Double Rod System) as an improvement over Zielke-VDS. Surgical method and preliminary results]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1997 Sep-Oct;135(5):403-11. German. doi: 10.1055/s-2008-1039408.

62. Halm HF, Liljenqvist U, Niemeyer T, Chan DP, Zielke K, Winkelmann W. Halm-Zielke instrumentation for primary stable anterior scoliosis surgery: operative technique and 2-year results in ten consecutive adolescent idiopathic scoliosis patients within a prospective clinical trial. *Eur Spine J.* 1998;7(5):429-34. doi: 10.1007/s005860050103.
63. Hamzaoglu A, Ozturk C, Aydogan M, Tezer M, Aksu N, Bruno MB. Posterior only pedicle screw instrumentation with intraoperative halo-femoral traction in the surgical treatment of severe scoliosis (>100 degrees). *Spine (Phila Pa 1976).* 2008 Apr 20;33(9):979-83. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816c8b17.
64. Harshavardhana NS, Noordeen MHH, Dormans JP. Cost Analysis of Magnet-driven Growing Rods for Early-onset Scoliosis at 5 Years. *Spine (Phila Pa 1976).* 2019 Jan 1;44(1):60-67. doi: 10.1097/BRS.0000000000002738.
65. He C, Wong MS. Spinal Flexibility Assessment on the Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Literature Review. *Spine (Phila Pa 1976).* 2018 Feb 15;43(4):E250-E258. doi: 10.1097/BRS.0000000000002276.
66. Herdea A, Charkaoui A, Ulici A. Prevalence of 25-OH-Vitamin D and Calcium Deficiency in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Med Life.* 2020 Apr-Jun;13(2):260-264. doi: 10.25122/jml-2020-0101.
67. Hopf CG, Eysel P, Dubousset J. Operative treatment of scoliosis with Cotrel-Dubousset-Hopf instrumentation. New anterior spinal device. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997 Mar 15;22(6):618-27; discussion 627-8. doi: 10.1097/00007632-199703150-00008.
68. Huang MJ, Lenke LG. Scoliosis and severe pelvic obliquity in a patient with cerebral palsy: surgical treatment utilizing halo-femoral traction. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001 Oct 1;26(19):2168-70. doi: 10.1097/00007632-200110010-00026.
69. Huang ZF, Chen L, Yang JF, Deng YL, Sui WY, Yang JL. Multimodality Intraoperative Neuromonitoring in Severe Thoracic Deformity Posterior Vertebral Column Resection Correction. *World Neurosurg.* 2019 Jul;127:e416-e426. doi: 10.1016/j.wneu.2019.03.140.

70. Hussain I, Schmidt FA, Kirnaz S, Wipplinger C, Schwartz TH, Härtl R. MIS approaches in the cervical spine. *J Spine Surg.* 2019 Jun;5(Suppl 1):S74-S83. doi: 10.21037/jss.2019.04.21.
71. Hwang CJ, Kim DG, Lee CS, Lee DH, Cho JH, Park JW, et al. Preoperative Halo Traction for Severe Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2020 Sep 15;45(18):E1158-E1165. doi: 10.1097/BRS.0000000000003530.
72. Iqbal MO, Samdani AF, Pahys JM, Newton PO, Shah SA, Bastrom TP, Sponseller PD, Miyanji F, Hwang SW. What happens to the unfused upper thoracic curve after posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis? *J Neurosurg Pediatr.* 2021 Apr 23;27(6):725-731. doi: 10.3171/2020.10.PEDS20671.
73. Iyer S, Duah HO, Wulff I, Osei Tutu H, Mahmud R, Yankey KP, Akoto H, Boachie-Adjei O; FOCOS Spine Research Group. The Use of Halo Gravity Traction in the Treatment of Severe Early Onset Spinal Deformity. *Spine (Phila Pa 1976).* 2019 Jul 15;44(14):E841-E845. doi: 10.1097/BRS.0000000000002997.
74. Jacobs E, van Royen BJ, van Kuijk SMJ, Merk JMR, Stadhouders A, van Rhijn LW, Willems PC. Prediction of mechanical complications in adult spinal deformity surgery-the GAP score versus the Schwab classification. *Spine J.* 2019 May;19(5):781-788. doi: 10.1016/j.spinee.2018.11.013.
75. Janus GJ, Finidori G, Engelbert RH, Pouliquen M, Pruijs JE. Operative treatment of severe scoliosis in osteogenesis imperfecta: results of 20 patients after halo traction and posterior spondylodesis with instrumentation. *Eur Spine J.* 2000 Dec;9(6):486-91. doi: 10.1007/s005860000165.
76. Joshi RS, Lau D, Haddad AF, Deviren V, Ames CP. Risk factors for determining length of intensive care unit and hospital stays following correction of cervical deformity: evaluation of early severe adverse events. *J Neurosurg Spine.* 2020 Oct 23:1-12. doi: 10.3171/2020.6.SPINE20826.
77. Kanagaraju V, Chhabra HS, Srivastava A, Mahajan R, Kaul R, Bhatia P, Tandon V, Nanda A, Sangondimath G, Patel N. A case of severe and rigid congenital thoracolumbar lordoscoliosis with diastematomyelia presenting with type 2

respiratory failure: managed by staged correction with controlled axial traction. *Eur Spine J.* 2016 Oct;25(10):3034-3041. doi: 10.1007/s00586-014-3624-0.

78. Kandwal P, Vijayaraghavan GP, Nagaraja UB, Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies. *Asian Spine J.* 2017 Jun;11(3):494-503. doi: 10.4184/asj.2017.11.3.494. Epub 2017 Jun 15. PMID: 28670419; PMCID: PMC5481606.

79. Kane WJ, Moe JH, Lai CC. Halo-femoral pin distraction in the treatment of scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1967; 49:1018-1019.

80. Kaneda K, Shono Y, Satoh S, Abumi K. New anterior instrumentation for the management of thoracolumbar and lumbar scoliosis. Application of the Kaneda two-rod system. *Spine (Phila Pa 1976).* 1996 May 15;21(10):1250-61; discussion 1261-2. doi: 10.1097/00007632-199605150-00021.

81. Karlin LI, McClung A, Johnston CE, Samdani A, Hresko MT, Perez-Grueso FJ, et al. The growth-friendly surgical treatment of scoliosis in children with osteogenesis imperfecta using distraction-based instrumentation. *Spine Deform.* 2021 Jan;9(1):263-274. doi: 10.1007/s43390-020-00196-0.

82. Kim DS, Park SH, Goh TS, Son SM, Lee JS. A meta-analysis of gait in adolescent idiopathic scoliosis. *J Clin Neurosci.* 2020 Nov; 81:196-200. doi: 10.1016/j.jocn.2020.09.035. Epub 2020 Oct 13.

83. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine (Phila Pa 1976).* 2004 Feb 1;29(3):333-42; discussion 342. doi: 10.1097/01.brs.0000109983.12113.9b.

84. Kimsal J, Khraishi T, Izadi K, Limanovich E. Experimental investigation of halo-gravity traction for paediatric spinal deformity correction. *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics.* 2009 November 11: 204-213. doi:10.1504/IJECB.2009.029197.

85. Kino K, Fujiwara K, Fujishiro T, Nakaya Y, Hayama S, Yano T, Nakano A, Neo M. Health-related quality of life, including marital and reproductive status, of middle-aged Japanese women with posterior spinal fusion using Cotrel-

Dubousset instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis: Longer than 22-year follow-up. *J Orthop Sci.* 2020 Sep;25(5):820-824. doi: 10.1016/j.jos.2019.11.007.

86. Koller H, Meier O, Zenner J, Mayer M, Hitzl W. Non-instrumented correction of cervicothoracic kyphosis in ankylosing spondylitis: a critical analysis on the results of open-wedge osteotomy C7-T1 with gradual Halo-Thoracic-Cast based correction. *Eur Spine J.* 2013 Apr;22(4):819-32. doi: 10.1007/s00586-012-2596-1.

87. 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 Mar;21(3):514-29. doi: 10.1007/s00586-011-2046-5.

88. Kong WZ, Goel VK. Ability of the finite element models to predict response of the human spine to sinusoidal vertical vibration. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003 Sep 1;28(17):1961-7. doi: 10.1097/01.BRS.0000083236.33361.C5.

89. Kose KC, Bozduman O, Yenigul AE, Igrek S. Spinal osteotomies: indications, limits and pitfalls. *EFORT Open Rev.* 2017 Apr 27;2(3):73-82. doi: 10.1302/2058-5241.2.160069...

90. Kou I, Takahashi Y, Johnson TA, Takahashi A, Guo L, Dai J, et al. Genetic variants in GPR126 are associated with adolescent idiopathic scoliosis. *Nat Genet.* 2013 Jun;45(6):676-9. doi: 10.1038/ng.2639. Epub 2013 May 12. PMID: 23666238.

91. Kurowski PM. *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2012. Beginner – Intermediate.* 2012. 475 p. ISBN: 978-1-58503-710-0.

92. La Barbera L, Wilke HJ, Ruspi ML, Palanca M, Liebsch C, Luca A, Brayda-Bruno M, Galbusera F, Cristofolini L. Load-sharing biomechanics of lumbar fixation and fusion with pedicle subtraction osteotomy. *Sci Rep.* 2021 Feb 11;11(1):3595. doi: 10.1038/s41598-021-83251-8.

93. Lafage R, Beyer G, Schwab F, Klineberg E, Burton D, Bess S, et al. Risk Factor Analysis for Proximal Junctional Kyphosis After Adult Spinal Deformity

Surgery: A New Simple Scoring System to Identify High-Risk Patients. *Global Spine J.* 2020 Oct;10(7):863-870. doi: 10.1177/2192568219882350.

94. Lafage V, Dubousset J, Lavaste F, Skalli W. Finite element simulation of various strategies for CD correction. *Stud Health Technol Inform.* 2002;91:428-32. PMID: 15457770.

95. Lafon Y, Steib JP, Skalli W. Intraoperative three dimensional correction during in situ contouring surgery by using a numerical model. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010 Feb 15;35(4):453-9. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b8eaca. PMID: 20110840.

96. Lalonde NM, Villemure I, Pannetier R, Parent S, Aubin CE. Biomechanical modeling of the lateral decubitus posture during corrective scoliosis surgery. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010 Jul;25(6):510-6. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.03.009. Epub 2010 Apr 22. PMID: 20413197.

97. Laouissat F, Sebaaly A, Gehrchen M, Roussouly P. Classification of normal sagittal spine alignment: refounding the Roussouly classification. *Eur Spine J.* 2018 Aug;27(8):2002-2011. doi: 10.1007/s00586-017-5111-x.

98. Leatherman KD, Dickson RA. Two-stage corrective surgery for congenital deformities of the spine. *J Bone Joint Surg Br.* 1979 Aug; 61-B(3): 324-8. doi: 10.1302/0301-620X.61B3.479255.

99. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J.* 1998;7(2):99-103. doi: 10.1007/s005860050038.

100. Librianto D, Saputra R, Djaja YP, Phedy P, Fachrisal, Saleh I. Preoperative skull tongs-femoral traction versus cotrel longitudinal traction for rigid and severe scoliosis: Cohort study. *Ann Med Surg (Lond).* 2021 Feb 12;63:102177. doi: 10.1016/j.amsu.2021.02.023.

101. Ling T, Liu L, Song Y, Zhou C, Yang X, Hu X, Qiang Z, Zhou B. [Medium-Term Effectiveness of Anterior Release Internal Distraction for Severe and Rigid Scoliosis]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2015 Sep;29(9):1092-8. Chinese.

102. Little JP, Izatt MT, Labrom RD, Askin GN, Adam CJ. An FE investigation simulating intra-operative corrective forces applied to correct scoliosis deformity. *Scoliosis*. 2013 May 16;8(1):9. doi: 10.1186/1748-7161-8-9.

103. Lleras-Forero L, Newham E, Teufel S, Kawakami K, Hartmann C, Hammond CL, Knight RD, Schulte-Merker S. Muscle defects due to perturbed somite segmentation contribute to late adult scoliosis. *Aging (Albany NY)*. 2020 Sep 25;12(18):18603-18621. doi: 10.18632/aging.103856.

104. Lorenz HM, Braunschweig L, Eberhardt IM, Tsaknakis K, Hell AK. Operative „No-touch“-Techniken zur Korrektur kindlicher Skoliosen [Surgical "no-touch" distraction technique to correct pediatric scoliosis]. *Oper Orthop Traumatol*. 2019 Aug;31(4):321-334. German. doi: 10.1007/s00064-019-0614-8.

105. Luo R, Li G, Li B, Hu R, Li Y. Comparison of the modified Smith-Petersen (S-P) and ilioinguinal (I-I) approaches for periacetabular osteotomy in adult developmental dysplasia of the hip: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2021 Feb 24;16(1):157. doi: 10.1186/s13018-021-02255-2.

106. Makhni MC, Shillingford JN, Laratta JL, Hyun SJ, Kim YJ. Restoration of Sagittal Balance in Spinal Deformity Surgery. *J Korean Neurosurg Soc*. 2018 Mar;61(2):167-179. doi: 10.3340/jkns.2017.0404.013.

107. Makki N, Zhao J, Liu Z, Eckalbar WL, Ushiki A, Khanshour AM, et al. Genomic characterization of the adolescent idiopathic scoliosis-associated transcriptome and regulome. *Hum Mol Genet*. 2021 Jan 21;29(22):3606-3615. doi: 10.1093/hmg/ddaa242.

108. Matusik E, Durmala J, Olszanecka-Glinianowicz M, Chudek J, Matusik P. Association between Bone Turnover Markers, Leptin, and Nutritional Status in Girls with Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS). *Nutrients*. 2020 Aug 31;12(9):2657. doi: 10.3390/nu12092657.

109. McCarthy JJ, D'Andrea LP, Betz RR, Clements DH. Scoliosis in the child with cerebral palsy. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006 Jun;14(6):367-75. doi: 10.5435/00124635-200606000-00006.

110. McCarthy RE, Luhmann S, Lenke L, McCullough FL. The Shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report. *J Pediatr Orthop.* 2014 Jan;34(1):1-7. doi: 10.1097/BPO.0b013e31829f92dc.
111. McCarthy RE, Sucato D, Turner JL, Zhang H, Henson MA, McCarthy K. Shilla growing rods in a caprine animal model: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res.* 2010 Mar;468(3):705-10. doi: 10.1007/s11999-009-1028-y.
112. McIntosh AL, Ramo BS, Johnston CE. Halo Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: A Clinical Concepts Review. *Spine Deform.* 2019 May;7(3):395-403. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.068.
113. Mehlman CT, Al-Sayyad MJ, Crawford AH. Effectiveness of spinal release and halo-femoral traction in the management of severe spinal deformity. *J Pediatr Orthop.* 2004 Nov-Dec; 24(6): 667-73. doi: 10.1097/00004694-200411000-00014.
114. Morse KW, Lafage R, Passias P, Ames CP, Hart R, Shaffrey CI, et al. International Spine Study Group. A Comparison of Three Different Positioning Techniques on Surgical Corrections and Postoperative Alignment in Cervical Spinal Deformity (CD) Surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2021 May 1; 46(9):567-570. doi: 10.1097/BRS.0000000000003851.
115. Neal KM, Siegall E. Strategies for Surgical Management of Large, Stiff Spinal Deformities in Children. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017 Apr;25(4):e70-e78. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00282.
116. Newton PO. Spinal growth tethering: indications and limits. *Ann Transl Med.* 2020 Jan;8(2):27. doi: 10.21037/atm.2019.12.159.
117. Nickel VL, Perry J, Garrett A, Heppenstall M. The halo. A spinal skeletal traction fixation device. *J Bone Joint Surg Am.* 1968 Oct;50(7):1400-9. PMID: 5677293.
118. Ouyang B, Luo C, Ma X, Zou X, Lu T, Chen Q, Pu X. [Comparison of radiological changes after Halo-pelvic traction with posterior spinal osteotomy versus simple posterior spinal osteotomy for severe rigid spinal deformity].

Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi. 2020 Jul 15;34(7):900-906. Chinese. doi: 10.7507/1002-1892.201911153.

119. Pankowski R, Wałejko S, Rocławski M, Ceynowa M, Mazurek T. Intraoperative computed tomography versus Perdriolle and scoliometer evaluation of spine rotation in adolescent idiopathic scoliosis. *Biomed Res Int.* 2015;2015:460340. doi: 10.1155/2015/460340.

120. Parent S, Shen J. Anterior Vertebral Body Growth-Modulation Tethering in Idiopathic Scoliosis: Surgical Technique. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020 Sep 1;28(17):693-699. doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00849.

121. Pasha S, Shen J, Kadoury S. True 3D parameters of the spinal deformity in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform.* 2021 May;9(3):703-710. doi: 10.1007/s43390-020-00254-7. Epub 2021 Jan 5. PMID: 33400230.

122. Pehrsson K, Bake B, Larsson S, Nachemson A. Lung function in adult idiopathic scoliosis: a 20 year follow up. *Thorax.* 1991 Jul;46(7):474-8. doi: 10.1136/thx.46.7.474..

123. 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 Feb 20;133(4):483-493. doi: 10.1097/CM9.0000000000000652.

124. Pergolizzi JV Jr, LeQuang JA. Rehabilitation for Low Back Pain: A Narrative Review for Managing Pain and Improving Function in Acute and Chronic Conditions. *Pain Ther.* 2020 Jun;9(1):83-96. doi: 10.1007/s40122-020-00149-5. Epub 2020 Jan 31.

125. Pietton R, David M, Hisaund A, Langlais T, Skalli W, Vialle R, Vergari C. Biomechanical Evaluation of Intercostal Muscles in Healthy Children and Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Preliminary Study. *Ultrasound Med Biol.* 2021 Jan; 47(1):51-57. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.09.011.

126. Ploumis A, Trivedi V, Shin JH, Wood KB, Grottkau BE. Progression of idiopathic thoracic or thoracolumbar scoliosis and pelvic obliquity in adolescent patients with and without limb length discrepancy. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018 Sep 24;13:18. doi: 10.1186/s13013-018-0166-y.

127. Qi L, Xu B, Li C, Wang Y. Clinical efficacy of short-term pre-operative halo-pelvic traction in the treatment of severe spinal deformities complicated with respiratory dysfunction. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 Oct 8;21(1):665. doi: 10.1186/s12891-020-03700-9.
128. Qiu Y, Liu Z, Zhu F, Wang B, Yu Y, Zhu Z, Qian B, Ma W. Comparison of effectiveness of Halo-femoral traction after anterior spinal release in severe idiopathic and congenital scoliosis: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2007 Nov 30;2:23. doi: 10.1186/1749-799X-2-23.
129. Quinonez A, Pahys JM, Samdani AF, Hwang SW, Cahill PJ, Betz RR. Complete paraplegia 36 h after attempted posterior spinal fusion for severe adolescent idiopathic scoliosis: a case report. *Spinal Cord Ser Cases*. 2021 Apr 20;7(1):33. doi: 10.1038/s41394-021-00386-6.
130. Ramírez N, Devaris A, Arroyo S, Restrepo RL, Cuneo A, Fernández CA, Marrero-Ortiz P. Síndrome de insuficiencia torácica [Thoracic insufficiency syndrome]. *Acta Ortop Mex*. 2020 Jul-Aug;34(4):254-260. Spanish. PMID: 33535285.
131. Ravindra VM, Mazur MD, Brockmeyer DL, Kraus KL, Ropper AE, Hanson DS, Dahl BT. Clinical Effectiveness of S2-Alar Iliac Screws in Spinopelvic Fixation in Pediatric Neuromuscular Scoliosis: Systematic Literature Review. *Global Spine J*. 2020 Dec;10(8):1066-1074. doi: 10.1177/2192568219899658.
132. Redding GJ. 55th Harrington Lecture: The respiratory impact of EOS and its therapies: where are we and where do we go from here? *Spine Deform*. 2021 May; 9(3):629-633. doi: 10.1007/s43390-021-00344-0.
133. Reisener MJ, Pumberger M, Shue J, Girardi FP, Hughes AP. Trends in lumbar spinal fusion-a literature review. *J Spine Surg*. 2020 Dec;6(4):752-761. doi: 10.21037/jss-20-492. PMID: 33447679; PMCID: PMC7797794.
134. Rinella A, Lenke L, Whitaker C, Kim Y, Park SS, Peelle M, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005 Feb 15;30(4):475-82. doi:

10.1097/01.brs.0000153707.80497.a2. Erratum in: *Spine*. 2005 Apr 15;30(8):994. Edwards, Charles [corrected to Edwards, Charles 2nd].

135. Rocos B, Reda L, Lebel DE, Dodds MK, Zeller R. The Use of Halo Gravity Traction in Severe, Stiff Scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2021 Jul 1;41(6):338-343. doi: 10.1097/BPO.0000000000001830. PMID: 33826561.

136. Rohozynskyi V, Levytskyi A, Dolianytskyi M, Benzar I. Treatment of Severe Spinal Deformations in Children with Idiopathic Scoliosis Using Halo-Gravity Traction. *Wiadomości Lekarskie*. 2020; 73 (10): 2144-2149.

137. Rosinski A, Odeh K, Ungurean V Jr, Leasure J, Kondrashov D. Non-Pedicular Fixation Techniques for the Treatment of Spinal Deformity: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2020 May; 8(5):e0150. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00150.

138. Roth AK, Beheshtiha AS, van der Meer R, Willems PC, Arts JJ, Ito K, van Rietbergen B. Validation of a finite element model of the thoracolumbar spine to study instrumentation level variations in early onset scoliosis correction. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 May;117:104360. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104360.

139. Roy S. Adolescent Idiopathic Scoliosis: Fishy Tales of Crooked Spines. *Trends Genet*. 2021 Jul;37(7):612-615. doi: 10.1016/j.tig.2021.03.004.

140. Royo-Salvador MB. Siringomielia, escoliosis y malformación de Arnold-Chiari idiopáticas. Etiología común [Syringomyelia, scoliosis and idiopathic Arnold-Chiari malformations: a common etiology]. *Rev Neurol*. 1996 Aug;24(132):937-59. Spanish.

141. Sacramento-Domínguez C, Cynthia N, Yankey KP, Tutu HO, Wulff I, Akoto H, et al. One-stage multiple posterior column osteotomies and fusion and pre-op halo-gravity traction may result in a comparative and safer correction of complex spine deformity than vertebral column resection. *Spine Deform*. 2021 Jul;9(4):977-985. doi: 10.1007/s43390-021-00289-4.

142. Saeed MU, Dacuycuy MA, Kennedy DJ. Halo pin insertion-associated brain abscess: case report and review of literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Apr 15;32(8):E271-4. doi: 10.1097/01.brs.0000259976.46403.8a.

143. Saifi C, Laratta JL, Petridis P, Shillingford JN, Lehman RA, Lenke LG. Vertebral Column Resection for Rigid Spinal Deformity. *Global Spine J*. 2017 May;7(3):280-290. doi: 10.1177/2192568217699203.
144. Salmingo R, Tadano S, Fujisaki K, et al. Corrective force analysis for scoliosis from implant rod deformation// *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012. (27). P.545-550. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2012.01.004 Salmingo R, Tadano S, Fujisaki K, Abe Y, Ito M. Corrective force analysis for scoliosis from implant rod deformation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012 Jul;27(6):545-50. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2012.01.004..
145. Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL. Comparison of complications among growing spinal implants. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Nov 1;35(23):2091-6. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181c6edd7.
146. Sankar WN, Skaggs DL, Yazici M, Johnston CE 2nd, Shah SA, et al. Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011 May 1;36(10):806-9. doi: 10.1097/BRS.0b013e318214d78f.
147. Scheer JK, Lafage V, Smith JS, Deviren V, Hostin R, McCarthy IM, Mundis GM, Burton DC, Klineberg E, Gupta MC, Kebaish KM, Shaffrey CI, Bess S, Schwab F, Ames CP; International Spine Study Group. Impact of age on the likelihood of reaching a minimum clinically important difference in 374 three-column spinal osteotomies: clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2014 Mar;20(3):306-12. doi: 10.3171/2013.12.SPINE13680.
148. Scholten PJ, Veldhuizen AG. Analysis of Cobb angle measurements in scoliosis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1987 Feb;2(1):7-13. doi: 10.1016/0268-0033(87)90039-8.
149. Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropicano P, Ames C, Smith JS, Shaffrey CI, Glassman S, Farcy JP, Lafage V. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery*. 2014 Jan;74(1):112-20; discussion 120. doi: 10.1227/NEU.0000000000000182o.
150. Semmelink K, Hekman EEG, van Griethuysen M, Bosma J, Swaan A, Kruyt MC. Halo pin positioning in the temporal bone; parameters for safe halo

gravity traction. *Spine Deform.* 2021 Jan;9(1):255-261. doi: 10.1007/s43390-020-00194-2.

151. Shimizu T, Lenke LG, Cerpa M, Lehman RA Jr, Pongmanee S, Sielatycki JA. Preoperative halo-gravity traction for treatment of severe adult kyphosis and scoliosis. *Spine Deform.* 2020 Feb;8(1):85-95. doi: 10.1007/s43390-019-00017-z.

152. Shirazi-Adl A, El-Rich M, Pop DG, Parnianpour M. Spinal muscle forces, internal loads and stability in standing under various postures and loads--application of kinematics-based algorithm. *Eur Spine J.* 2005 May;14(4):381-92. doi: 10.1007/s00586-004-0779-0.

153. Simmons ED, DiStefano RJ, Zheng Y, Simmons EH. Thirty-six years experience of cervical extension osteotomy in ankylosing spondylitis: techniques and outcomes. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006 Dec 15;31(26):3006-12. doi: 10.1097/01.brs.0000250663.12224.d9.

154. Smith AD, Von Lackum WH, Wylie R. An operation for stapling vertebral bodies in congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1954 Apr; 36(A:2):342-8. PMID: 13152142.

155. Stagnara P. Scolioses chez les adultes [Scoliosis in the adult]. *Rev Prat.* 1983 Apr 21;33(23):1195-6, 1199-1200, 1203-4 passim. French. PMID: 6867573.

156. Suk SI, Chung ER, Kim JH, Kim SS, Lee JS, Choi WK. Posterior vertebral column resection for severe rigid scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005 Jul 15;30(14):1682-7. doi: 10.1097/01.brs.0000170590.21071.c1.

157. Suk SI, Chung ER, Lee SM, Lee JH, Kim SS, Kim JH. Posterior vertebral column resection in fixed lumbosacral deformity. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005 Dec 1;30(23):E703-10. doi: 10.1097/01.brs.0000188190.90034.be.

158. Suk SI, Kim JH, Kim WJ, Lee SM, Chung ER, Nah KH. Posterior vertebral column resection for severe spinal deformities. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002 Nov 1;27(21):2374-82. doi: 10.1097/00007632-200211010-00012.

159. Suk SI, Kim WJ, Lee CS, Lee SM, Kim JH, Chung ER, Lee JH. Indications of proximal thoracic curve fusion in thoracic adolescent idiopathic

scoliosis: recognition and treatment of double thoracic curve pattern in adolescent idiopathic scoliosis treated with segmental instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000 Sep 15;25(18):2342-9. doi: 10.1097/00007632-200009150-00012.

160. Sun K, Hu H, Gao L, Huang D, Yang T, Hao D. Perioperative Halo-Gravity Traction in the Treatment of Scoliosis with Intraspinous Anomalies. *World Neurosurg*. 2020 Aug; 140:e219-e224. doi: 10.1016/j.wneu.2020.04.242.

161. Taniguchi Y, Matsubayashi Y, Kato S, Oguchi F, Nohara A, Doi T, Oshima Y, Tanaka S. Tracheal stenosis due to cervicothoracic hyperlordosis in patients with cerebral palsy treated with posterior spinal fusion: a report of the first two cases. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 Feb 23;22(1):217. doi: 10.1186/s12891-021-04094-y.

162. Terran J, Schwab F, Shaffrey CI, Smith JS, Devos P, Ames CP, et al. International Spine Study Group. The SRS-Schwab adult spinal deformity classification: assessment and clinical correlations based on a prospective operative and nonoperative cohort. *Neurosurgery*. 2013 Oct;73(4):559-68. doi: 10.1227/NEU.0000000000000012.

163. Tokunaga M, Minami S, Kitahara H, Isobe K, Nakata Y, Moriya H. Vertebral decancellation for severe scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000 Feb 15;25(4):469-74. doi: 10.1097/00007632-200002150-00013.

164. Toll BJ, Samdani AF, Pahys JM, Amanullah AA, Hwang SW. Crossing the cervicothoracic junction in complex pediatric deformity using anterior cervical discectomy and fusion: a case series. *Childs Nerv Syst*. 2021 Jun;37(6):1957-1964. doi: 10.1007/s00381-021-05109-8.

165. Tøndevold N, Bari TJ, Andersen TB, Gehrchen M. Intraoperative traction in neuromuscular scoliosis surgery improves major curve correction when fusing to L5. *Spine Deform*. 2021 May;9(3):769-776. doi: 10.1007/s43390-020-00268-1.

166. Trupia E, Hsu AC, Mueller JD, Matsumoto H, Bodenstein L, Vitale M. Treatment of Idiopathic Scoliosis With Vertebral Body Stapling. *Spine Deform*. 2019 Sep;7(5):720-728. doi: 10.1016/j.jspd.2019.01.006.

167. Tsirikos AI, Roberts SB, Bhatti E. Incidence of spinal deformity surgery in a national health service from 2005 to 2018: an analysis of 2,205 children and adolescents. *Bone Jt Open.* 2020 Oct 27;1(3):19-28. doi: 10.1302/2633-1462.13.BJO-2020-0001.R1.

168. 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 Oct;26(Suppl 4):539-545. doi: 10.1007/s00586-017-5034-6.

169. Van Loon PJ. Ever-present factors in healthy children that can deform their spines. Opposition to Dickson's paradigm on lordosis. *Stud Health Technol Inform.* 2012;176:63-7. PMID: 22744459.

170. Vasiliadis HS, Teuscher R, Kleinschmidt M, Marrè S, Heini P. Temporary liver and stomach necrosis after lateral approach for interbody fusion and deformity correction of lumbar spine: report of two cases and review of the literature. *Eur Spine J.* 2016 May;25 Suppl 1:257-66. doi: 10.1007/s00586-016-4562-9.

171. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am.* 2005 Feb; 87(2):260-7. doi: 10.2106/JBJS.D.02043. PMID: 15687145.

172. Vidal-Lesso A, Ledesma-Orozco E, Daza-Benítez L, Lesso-Arroyo R. Mechanical Characterization of Femoral Cartilage Under Unicompartmental Osteoarthritis. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo.* 2014; 4(6): 239-246. ISSN: 1665-7381.

173. Völlner F, Dingeldey E, Schmitz S, Grifka JC, Matussek J. Konservative und operative Therapie der idiopathischen Skoliose [Conservative and surgical treatment of idiopathic scoliosis]. *Orthopade.* 2020 Jul;49(7):635-646. German. doi: 10.1007/s00132-020-03928-2. Erratum in: *Orthopade.* 2021 Feb;50(2):162. PMID: 32542427.

174. Voor MJ, Anderson RC, Hart RT. Stress analysis of halo pin insertion by non-linear finite element modeling. *Journal of Biomechanics*. 1997; 30(9): 903-909. doi: 10.1016/S0021-9290(97)82887-4. ISSN 0021-9290.
175. Wang Y, Li C, Liu L, Li H, Yi X. Presurgical Short-Term Halo-Pelvic Traction for Severe Rigid Scoliosis (Cobb Angle $>120^\circ$): A 2-Year Follow-up Review of 62 Patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021 Jan 15;46(2):E95-E104. doi: 10.1097/BRS.0000000000003740.
176. Wang ZP, Xue W, Wang ZH, Qian YW, Liu L. [Halo-pelvic traction combined with stageII surgical correction for the treatment of severe and rigid scoliosis]. *Zhongguo Gu Shang*. 2020 Feb 25;33(2):106-10. Chinese. doi: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.02.003.
177. Weinstein SL, Dolan LA, Spratt KF, Peterson KK, Spoonamore MJ, Ponseti IV. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis: a 50-year natural history study. *JAMA*. 2003 Feb 5;289(5):559-67. doi: 10.1001/jama.289.5.559. PMID: 12578488.
178. Weinstein SL, Ponseti IV. Curve progression in idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 1983 Apr;65(4):447-55. PMID: 6833318.
179. Weinstein SL. The Natural History of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2019 Jul;39(Issue 6, Supplement 1 Suppl 1):S44-S46. doi: 10.1097/BPO.0000000000001350.
180. Wolff S, Habboubi K, Sebaaly A, Moreau PE, Miladi L, Riouallon G. Correction of adult spinal deformity with a minimally invasive fusionless bipolar construct: Preliminary results. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019 Oct;105(6):1149-1155. doi: 10.1016/j.otsr.2019.02.015.
181. Xu W, Zhang X, Zhu Y, Zhu X, LJia J, Chen L, et al. An analysis of clinical risk factors for adolescent scoliosis caused by spinal cord abnormalities in China: proposal for a selective whole-spine MRI examination scheme. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 Mar 24;21(1):187. doi: 10.1186/s12891-020-3182-z.
182. Yagi M, Hosogane N, Fujita N, Okada E, Suzuki S, Tsuji O, Nagoshi N, Nakamura M, Matsumoto M, Watanabe K. The patient demographics, radiographic

index and surgical invasiveness for mechanical failure (PRISM) model established for adult spinal deformity surgery. *Sci Rep.* 2020 Jun 9;10(1):9341. doi: 10.1038/s41598-020-66353-7.

183. Yang JH, Kim HJ, Chang DG, Suh SW. Comparative Analysis of Radiologic and Clinical Outcomes Between Conventional Open and Minimally Invasive Scoliosis Surgery for Adolescent Idiopathic Scoliosis. *World Neurosurg.* 2021 Jul;151:e234-e240. doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.025.

184. Zarei M, Ghadimi E, Bagheri N, Jamshidi SMMM, Moharrami A, Moosavi M, Baghdadi S. Posterior hemivertebra resection and short-segment fusion with lateral mass screws in congenital scoliosis: a novel strategy for the resource-limited setting. *J Orthop Surg Res.* 2021 Apr 17;16(1):271. doi: 10.1186/s13018-021-02419-0.

185. Zhang HQ, Deng A, Liu SH, Wang YX, Alonge E. Posterior-Only Surgical Correction with Heavy Halo-Femoral Traction for the Treatment of Severe and Rigid Congenital Scoliosis Associated with Tethered Spinal Cord and Type II Split Cord Malformation. *World Neurosurg.* 2020 Jul;139:e151-e158. doi: 10.1016/j.wneu.2020.03.145.

186. Zhang YB, Zhang JG. Treatment of early-onset scoliosis: techniques, indications, and complications. *Chin Med J (Engl).* 2020 Feb 5;133(3):351-357. doi: 10.1097/CM9.0000000000000614.

187. Zienkiewicz OC, Taylor RL. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics.* Sixth edition. Butterworth-Heinemann. 2005: 736p.

Список публікацій здобувача

1. Рогозинський В.О. Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта в дітей: огляд клінічних випадків / Левицький А.Ф., **Рогозинський В.О.**, Доляницький М.М. // Хірургія дитячого віку. – 2020. - №4 (69). - С.67-71. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

2. **Rohozynski V.** Treatment of Severe Spinal Deformations in Children with Idiopathic Scoliosis Using Halo-Gravity Traction / V. Rohozynski, A. Levytskyi, M. Dolianytskyi, I. Benzar // Wiadomości Lekarskie // 2020. – Vol. 73. - №10. – P.p. 2144-2149. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку) (У періодичному науковому, що індексується у наукометричній базі Scopus).*

3. **Рогозинський В.О.** Динаміка корекції складної сколіотичної деформації хребта у дітей при використанні гало-гравітаційної тракції/ Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Карпінська О.Д. // Травма. – 2022. - №1 (23). – С. 36-42. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, виконано математичне дослідження та розрахунки. Здобувач виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

4. **Рогозинський В.О.** Гало-гравітаційна тракція при лікуванні складних ($>100^\circ$) деформацій хребта в дітей із респіраторними дисфункціями/ Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., Дуда Л.В. // Хірургія дитячого віку. – 2021. - №3 (72). - С.10-14. *(Дисертантом проведено пошук та*

аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).

5. Рогозинський В.О. Аналіз напружено-деформованого стану моделі хребта із заднім спондилодезом при лікуванні сколіотичних деформацій у дітей / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., Яресько О.В., Карпінський М.Ю. // Травма. – 2021. - №6 (22). - С. 19-25. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, виконано математичне дослідження та розрахунки. Здобувач виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

6. Рогозинський В.О. Аналіз математичного моделювання біомеханічної моделі гало- гравітаційної тракції при деформаціях хребта в дітей / Рогозинський В.О., Левицький А.Ф., Доляницький М.М., Яресько О.В.// Хірургія дитячого віку. – 2021. - №4 (73). - С. 18-24. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).*

7. Рогозинський В.О. Аналіз ефективності використання системи гало- гравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Бензар І.М., Доляницький М.М., Карпінська О.Д. // Хірургія дитячого віку. – 2022. - №1 (74). - С.34-39. *(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював*

результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував статтю до друку).

8. Рогозинський В.О. Вестибулярна система та використання галогравітаційної тракції при лікуванні складних ($>100^\circ$) сколіотичних деформацій хребта у дітей / Рогозинський В.О., Тарасенко М.В. // Український науково-медичний молодіжний журнал. – Київ, 2021. – №1. С. 19-20.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

9. Рогозинський В.О. Дослідження суб'єктивної оцінки результатів хірургічної корекції складних ($>100^\circ$) деформацій хребта у дітей з використанням галогравітаційної тракції за допомогою опитувальника SRS - 30 (Scoliosis Research Society) / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М. // Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. – 2021. - №1 (14). - С. 70-71.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

10. Рогозинський В.О. Використання галогравітаційної тракції при лікуванні складних ідіопатичних деформацій хребта / Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Доляницький М.М., // Збірник тез XVIII з'їзду ортопедів-травматологів України. – 2019. - С. 114-114.

(Дисертантом проведено пошук та аналіз джерел літератури, здійснено набір пацієнтів, виконано клінічні та інструментальні обстеження. Здобувач брав участь у проведенні хірургічних втручань, виконав аналіз та

статистично опрацював результати, висновки сформовані спільно з науковим керівником, підготував тези до друку).

Апробація результатів дослідження

Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. XVIII з'їзді ортопедів-травматологів України (м. Івано-Франківськ, 2019 р.)
2. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2019р.)
3. 54 з'їзд всесвітнього товариства дослідників сколіозу (м. Харків, 2019р.)
4. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2020р.)
5. Міжнародний науковий форум з питань хірургії хребта (м. Львів, 2021р.)
6. Міжнародний симпозиум «Multidisciplinary in the Treatment of Metastatic Tumours in Spine» (м. Харків, 2021р.)
7. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2021р.)
8. Міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей «Практична дитяча хірургія» (м. Київ, 2021р.)
9. Щорічна конференція «Актуальні питання ортопедії та травматології у дітей», присвячена пам'яті видатного вченого, професора О.В.Дольницького (м. Київ, 2022р.)