

Abstract

Yuriy V. Shkatula

<https://orcid.org/0000-0001-5689-6318>

Department of Emergency Care and Disaster Medicine, Sumy State University, Sumy, Ukraine;

Yuriy O. Badion

<https://orcid.org/0000-0002-1646-282X>

Department of Emergency Care and Disaster Medicine, Sumy State University, Sumy, Ukraine;

Pavlo V. Rudenko

Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, Sumy State University, Sumy, Ukraine

METHODS AND CAPABILITIES OF DETERMINATION OF ROTATIONAL-TORSIONAL CHANGES IN THE SPINE IN PATIENTS WITH SCOLIOTIC DISEASE

The article presents an unstructured review of publications which describe methods and technologies for determining the parameters of spinal deformity in the horizontal plane in patients with scoliotic disease. Descriptiveness and clinical suitability of the most well-known and practically significant methods are investigated.

At X-ray investigation, the character and parameters of curvature are studied in three planes. In the frontal plane, the magnitude of the lateral arcs of deformation is determined; in the sagittal plane, the state of the spine profile is assessed. When studying the parameters of spinal deformation in the horizontal plane, there are rotational displacement and torsional deformation. The authors noted that the medical scientists often equal and confuse the two concepts.

Determining the characteristics of spinal deformity in the horizontal plane is an important tool for preoperative planning, while in conservative treatment and dynamic monitoring, the main attention is paid to the parameters of lateral curvature in the frontal plane.

The current trend of comprehensive examination of patients with scoliotic disease is the emergence of new, more informative methods for quantitative evaluation of the parameters of spinal deformity in the horizontal plane, which is primarily due to the development and improvement of technology. It should be noted that the study of the features of anatomical-structural, torsional changes is given insufficient attention. Further study of torsional changes of the vertebrae should lead to a better understanding of the mechanisms that cause scoliotic deformity, which will lead to the development of pathogenetic methods of treatment.

Dynamic assessment of rotational-torsional changes of the spine can be used as a predictor of progression in various types of scoliotic deformities, an indicator of the outcome of conservative and surgical treatment.

Key words: spine, scoliotic disease, rotation, torsion, diagnostics.

Corresponding author:

Yuriy V. Shkatula, Department of Emergency Care and Disaster Medicine, Sumy State University, Sumy, Ukraine

e-mail: y.shkatula@med.sumdu.edu.ua

Резюме**Юрій В. Шкатула**<https://orcid.org/0000-0001-5689-6318>*кафедра екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, СумДУ, м. Суми, Україна;***Юрій О. Бадіон**<https://orcid.org/0000-0002-1646-282X>*кафедра екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, СумДУ, м. Суми, Україна;***Павло В. Руденко,***кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів, СумДУ, м. Суми, Україна***МЕТОДИ ТА МОЖЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РОТАЦІЙНО-ТОРСІЙНИХ ЗМІН ХРЕБТА В ПАЦІЄНТІВ ЗІ СКОЛІОТИЧНОЮ ХВОРОБОЮ**

У статті наведено несистематизований огляд публікацій, у яких описані методи й технології визначення параметрів деформації хребта в горизонтальній площині в пацієнтів зі сколіотичною хворобою. Досліджено інформативність та клінічну придатність найбільш відомих і практично значущих методів.

Під час рентгенологічного обстеження характер та параметри викривлення вивчають у трьох площинах. У фронтальній площині визначають величину латеральних дуг деформації, в сагітальній площині оцінюють стан профілю хребта. Під час вивчення параметрів деформації хребта в горизонтальній площині виділяють ротаційне зміщення і торсійну деформацію. Автори статті звернули увагу, що науковці нерідко ототожнюють та змішують ці два поняття.

Визначення характеристик деформації хребта в горизонтальній площині є важливим інструментом передопераційного планування, тоді як під час консервативного лікування та динамічного спостереження основну увагу приділяють параметрам латерального викривлення у фронтальній площині.

Сучасною тенденцією комплексного обстеження пацієнтів зі сколіотичною хворобою стала поява нових, більш інформативних методів кількісного оцінювання параметрів деформації хребта в горизонтальній площині, що насамперед зумовлено розвитком та вдосконаленням технологій. Необхідно зазначити, що дослідженню особливостей анатоμο-структуральних, торсійних змін приділяють недостатню увагу. Подальше вивчення торсійних змін хребців повинно привести до кращого розуміння механізмів, які спричиняють сколіотичну деформацію, що сприятиме розробленню патогенетичних методів лікування.

Динамічне оцінювання ротаційно-торсійних змін хребта може бути використане як предиктор прогресування за різних типів сколіотичних деформацій, індикатор результату консервативного й хірургічного лікування.

Ключові слова: хребет, сколіотична хвороба, ротація, торсія, діагностика.

Автор, відповідальний за листування:

Юрій В. Шкатула, кафедра екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, СумДУ, м. Суми, Україна

e-mail: y.shkatula@med.sumdu.edu.ua

How to cite/ Як цитувати статтю: Shkatula YuV, Badion YuO, Rudenko PV. [Methods and capabilities of determination of rotational-torsional changes in the spine in patients with scoliotic disease]. *EUMJ*. 2021;9(3):209-218

DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2021;9\(3\):209-218](https://doi.org/10.21272/eumj.2021;9(3):209-218)

Introduction/Вступ

Сколіоз – це загальний термін, що об'єднує різноманітну групу станів, які виявляються змінами форми й положення хребта, грудної клітки і тулуба.

Згідно із сучасними уявленнями сколіоз – це хвороба, що характеризується розвитком багатоплощинної деформації хребта, в разі прогресування якої відбуваються дислокація та порушення функції внутрішніх органів, погіршення якості життя й скорочення його тривалості [1, 2].

Розрізняють «структуральний сколіоз» та «функціональний сколіоз», коли викривлення хребта є вторинним унаслідок певних позаспинальних причин (наприклад, різної довжини нижніх кінцівок або асиметрії тону паравертебральних м'язів) [3, 4]. Зазначимо, що функціональний сколіоз не є предметом обговорення цієї статті.

Приблизно у 20 % випадків сколіоз є вторинним щодо іншого патологічного процесу. Решта 80 % – це випадки ідіопатичного сколіозу. Підлітковий ідіопатичний сколіоз (Adolescent Idiopathic Scoliosis – AIS) з величиною деформації (за J. Cobb) понад 10° спостерігається в загальній популяції населення з поширеністю від 0,93 % до 12 % [5, 6].

Етіологія сколіозу не з'ясована, саме тому його називають ідіопатичним. За кілька століть з'явилася низка теорій виникнення сколіотичної хвороби: остеопатична, м'язова, рахітична, теорія статичних порушень, неврогенна, теорія генетичної детермінованості, теорія локальних змін хондрогенезу, теорії системних порушень (синтезу мукополісахаридів, ліпопротеїнів, мелатоніну) та ін. [7, 8, 9, 10, 11, 12]. В останніх рекомендаціях Міжнародного товариства ортопедичного та реабілітаційного лікування сколіозу (The International Scientific Society on Scoliosis

Orthopaedic and Rehabilitation Treatment – SOSORT) зазначено, що, спираючись на різноманітність теорій про причини розвитку ідіопатичного сколіозу, можна припустити його поліетіологічне походження [5].

Прогресування ідіопатичного сколіозу частіше спостерігається в жінок. У разі якщо величина деформації (за J. Cobb) становить від 10° до 20°, співвідношення серед пацієнтів дівчат і хлопчиків становить 1,3:1, збільшуючись до 5,4:1, якщо кут латерального викривлення 20–30°, та до 7:1 – для значень кута вище від 30° [13, 14, 15].

Існують численні класифікації сколіозу залежно від причини розвитку, характеристик деформації, віку пацієнта тощо [16, 17, 18, 19].

У нашій країні для оцінювання сколіотичної деформації найбільшого поширення набула класифікація, запропонована В. Д. Чакліним у 1963 р, що характеризує викривлення хребта лише у фронтальній площині: I ступінь – кут деформації до 10°; II ступінь – кут деформації 11–25°; III ступінь – кут деформації 26–50°; IV ступінь – кут деформації понад 50° [20].

Міжнародним товариством ортопедичного та реабілітаційного лікування сколіозу (SOSORT) схвалено таку класифікацію (табл. 1).

Таблиця 1 – Класифікація ідіопатичного сколіозу

За віком		За величиною деформації		За локалізацією		
Вік на момент установлення діагнозу, років		Кут деформації за Cobb, градусів		Відділ хребта	Апікальний хребець	
					від	до
Інфантильний	0–2	Легка	До 20°	Шийний	–	C6–7
Ювенільний	3–9	Помірна	21–35°	Шийно-грудний	C7	T1
Підлітковий	10–17	Помірно тяжка	36–40°	Грудний	T1–2	T11–12
Дорослий	18+	Тяжка	41–50°	Грудо-поперековий	T12	L1
		Від тяжкої до дуже тяжкої	51–55°	Поперековий		L1–2
		Дуже тяжка	Понад 56°			

У системі діагностики сколіотичної деформації хребта обов'язковим є рентгенологічне обстеження пацієнта. Воно об'єктивізує візуальну клінічну картину патології; уточнює інформацію щодо локалізації дуг викривлення та їх параметрів, зміни анатомо-біомеханічних характеристик хребта, реберного каркаса грудної клі-

тки й таза; ілюструє стан росткового кісткового потенціалу і структуральних морфологічних змін ураженого органа. Саме рентгенологічні дані є підставою для встановлення клінічного діагнозу, визначення адекватного коригувального впливу, вирішення експертних питань, оцінювання динаміки розвитку захворювання і ре-

зультативності проведеного лікування [21, 22, 23, 24].

Останнім часом набуває широкого використання комп'ютерна оптична топографія (КОТ) – метод тривимірної фотофіксації поверхні спини пацієнта, не пов'язаний із застосуванням іонізувального випромінювання. Цей метод дозволяє дистанційно та безконтактно за допомогою телівізіонної камери описувати стан поверхні тулуба і хребетного стовпа пацієнта в трьох площинах [25].

Необхідно зазначити, що високотехнологічні методики променевого дослідження, такі як мультиспіральна комп'ютерна томографія й магнітно-резонансна томографія, рідко застосовують для вивчення та оцінювання параметрів викривлення хребта, у зв'язку з тим що вони не дозволяють проводити дослідження в положенні стоячи. До них вдаються лише за наявності больового синдрому або в разі підозри на запальні, пухлинні або дегенеративно-дистрофічні зміни хребта і спинного мозку [26, 27, 28].

Під час рентгенологічного обстеження параметри та характер викривлення вивчають у трьох площинах. У фронтальній площині визначають величину латеральних дуг деформації, в сагітальній площині оцінюють стан профілю хребта. Під час вивчення параметрів деформації хребта в горизонтальній площині виділяють ротаційне зміщення і торсійну деформацію [29, 30].

Під час аналітичного огляду літератури ми звернули увагу, що автори нерідко ототожнюють та змішують ці два поняття.

Тіло хребця є ключовим кістковим елементом опорної системи хребта [Pore M. H., 1989]. Воно складається із зовнішнього більш щільного кортикального шару і розміщеної всередині губчастої речовини, що має стільникову структуру. На відміну від кортикальної кістки, що характеризується високою міцністю, але низькою адаптивністю до деформації, губчастий шар може перерозподіляти (амортизувати) навантаження, деформуєчись без порушень цілісності [31, 32].

Торсія хребта – це структуральні зміни анатомії хребців, що розвиваються по спіральній осі. Не варто плутати це явище з поняттям ротації, оскільки під час останньої відбувається зміщення хребців один щодо одного. Механізми, що керують обертанням хребців, не з'ясовані і невідомо, чи переважає латеральне викривлення обертанням, чи навпаки [33, 34, 35, 36, 37, 38].

На сьогодні визначення характеристик деформації хребта в горизонтальній площині є важливим інструментом передопераційного планування, тоді як під час консервативного лікування та динамічного спостереження основну увагу приділяють параметрам латерального викривлення у фронтальній площині [39, 40, 41, 42, 43, 44].

Потребують подальшого вивчення взаємовідношення ротаційно-торсійних змін хребта з іншими складовими багатоплощинної деформації, їх зв'язок з анатомічним типом та етіологією хвороби. У вітчизняній науковій медичній літературі цим питанням присвячені лише поодинокі публікації.

Матеріали та методи дослідження

Подано несистематизований огляд публікацій, у яких описані методи й технології визначення параметрів деформації хребта в горизонтальній площині в пацієнтів зі сколіотичною хворобою за останні 20 років. Для проведення дослідження виконано пошуковий відбір наукових публікацій на серверах Medline та PubMed за такими ключовими словами: «scoliosis», «rotation», «torsion», «diagnosis». Як результат, у базах даних виявлено 215 повнотекстових статей, із яких 54 наукових праці, що відповідали критеріям включення, були відібрані для подальшого аналізування. У зв'язку з тим що в окремих наукових публікаціях класичні методи наведені з істотними відмінностями, ми вирішили за доцільне звернутися до першоджерел, датованих 1930 роком.

Мета дослідження – вивчення інформативності та клінічної придатності відомих методів визначення й оцінювання параметрів деформації хребта в горизонтальній площині під час обстеження пацієнтів з ідіопатичним сколіозом.

Результати та їх обговорення

Проаналізовано 54 наукових роботи, що відповідали критеріям включення. Ми зосередили увагу на найвідоміших та практично значущих методах обстеження хворих зі сколіотичною хворобою.

Один із найперших відомих методів визначення ротаційного зміщення хребта в разі сколіозу було запропоновано в 1948 році J. Cobb [45, 46] (рис. 1).

Метод полягає в оцінюванні локалізації проекції остистого відростка щодо вертикального центра тіла хребця. Автор виділив п'ять градацій, де відсутність ротації позначається цифрою 0, ротація залежно від локалізації проекції остистого відростка знаками від «+» до «++++».

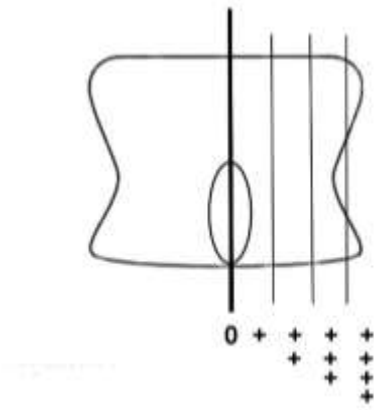


Рисунок 1 – Метод J. Cobb

Схема обмежена п'ятьма градаціями і не дозволяє кількісно визначити кут ротаційного зміщення. Інший недолік полягає в тому, що за наявності торсійно-структуральних змін анатомії хребця і власне остистого відростка відбувається спотворення результатів.

Метод простий у використанні, не потребує додаткового опромінення пацієнта порівняно з більш сучасними методами.

Метод запропонований у 1969 році С. Nash, J. Moe, інша назва – pedicle-метод (від pedicle –

ніжка), що полягає у визначенні проєкційного розміщення ніжки дуги хребця стосовно бокової поверхні його тіла на випуклому боці деформації [47]. У нормі за відсутності ротації ніжки дуг хребця розміщені симетрично як до проєкційної тіні остистого відростка, так і до бічних сторін тіла хребця. Через середину тіла хребця проводять вертикальну лінію, після цього половину хребця на випуклому боці дуги умовно поділяють на три рівні частини. Автори зберегли розподіл величини ротації на п'ять стадій, назвавши їх грейдами (grades), які позначили в латинському алфавітному порядку від А до Е з додаванням до кожної літери цифри від 0 до 4. Кожний грейд характеризується вираженістю зміщення проєкції ніжки дуги у відповідний сектор тіла хребця. У разі ротаційного зміщення I ступеня відзначається лише асиметрія контурів ніжок дуг за їх звичайного розміщення в межах зовнішньої третини. У разі ротації II і III ступенів ніжка дуги проєктується відповідно на середню й медіальну третини, а за IV ступеня – на контралатеральну половину тіла хребця (рис. 2).

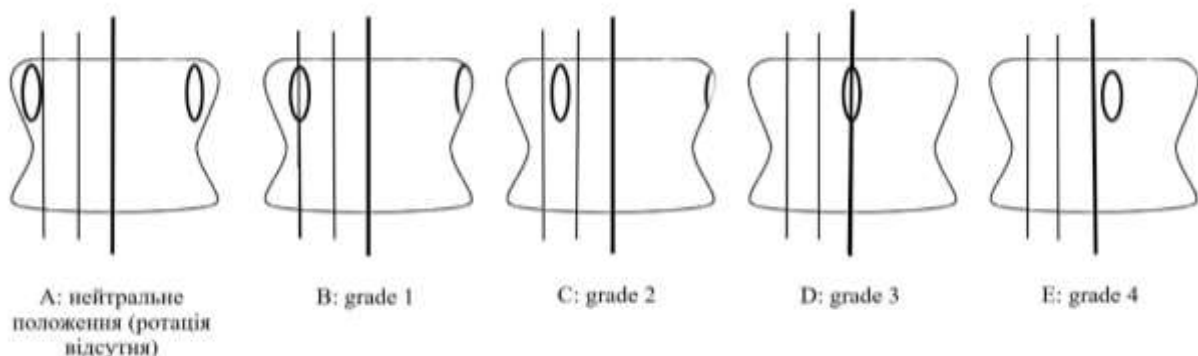


Рисунок 2 – Метод С. Nash, J. Moe

У 1979 році R. Perdriolle запропонував спеціальну лінійку-торсіометр для кількісного оцінювання ротації хребта, використовуючи спондилограму, виконану у фронтальній площині. Метод R. Perdriolle базується на принципах методів J. Cobb і С. Nash, J. Moe та дозволяє визначити величину патологічної ротації в градусах із кроком вимірювання до 5 градусів (рис. 3) [48, 49].

Ще один відомий в ортопедичному співтоваристві метод був запропонований Р. Raimondi у 1984 році [50, 51]. Метод полягає в тому, що на передньо-задній рентгенограмі хребта обирають ротований сегмент, на якому визначають два розміри. Перший розмір (а) – це ширина проєк-

ції тіла хребця, яку вимірюють від середини висоти зовнішніх країв хребця. Другим розміром (б) є відстань між серединою краю тіла хребця й центром проєкції ніжки дуги хребця на випуклому боці деформації. Після цього показник ротації хребця обчислюють за спеціальною таблицею, наведеною на рисунку 4. У таблиці в нижньому горизонтальному рядку знаходять цифру, що відповідає розміру (а). Далі в стовпчику, де розміщена ця клітинка, знаходять показник, що збігається або найбільше наближений до розміру (б), після цього визначають кут ротації, зазначений у крайньому правому рядку таблиці (рис. 4).

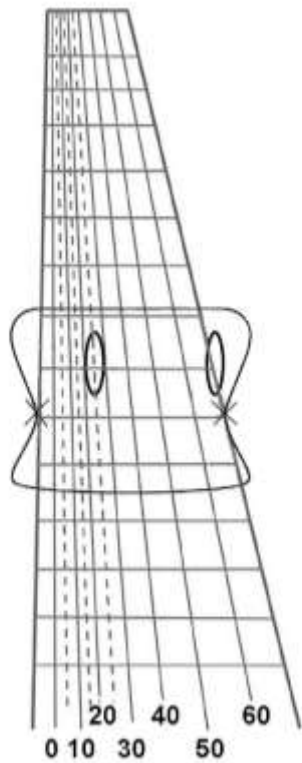


Рисунок 3 – Метод R. Perdrille

У 1986 році I. Stokes, L. Bigalow та M. Moreland запропонували власний метод визначення ротаційного компонента сколіотичної деформації (рис. 5) [52, 53]. Згідно з цим методом визначають розміщення ніжок дуги хребця

щодо центральної точки, а не до країв хребця. На рентгенографічному зображенні вимірюють проєкцію відстані від обох ніжок дуги хребця до його центра (A і B), це значення співвідносять з іншими параметрами – міжпедикулярним розміром (W) та відстанню від ніжок до центра тіла хребця (D). Значення кута ротації хребця обчислюють за допомогою формули Stokes:

$$\tan\theta = \frac{W}{2D} \cdot \frac{A - B}{A + B}$$

Метод Aaro – Dahlborn. Відмінністю запропонованого методу є використання комп'ютерної томографії. Схематичне зображення визначення ротаційної деформації хребта за методом Aaro – Dahlborn наведено на рисунку 6 [52, 53].

Відрізок АВ з'єднує передню середню лінію тіла із середньою точкою дорзальної частини отвору хребця; відрізок ВС проходить через середню лінію тіла хребця, кут ротації – це кут між цими двома відрізками.

Недоліком методу є те, що в положенні лежачи на спині, що необхідно для комп'ютерної томографії, деформація хребта змінюється. Крім того, комп'ютерна томографія збільшує променеве навантаження на пацієнта та значно дорожча, ніж рентгенографічне обстеження, що обмежує її використання в клінічних умовах.

2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	2'
2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	6'
2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	5.1	5.2	5.3	5.5	5.6	5.7	5.8	6.0	6.1	6'
3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.3	5.4	5.5	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.4	6.5	6.7	8'
3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.9	6.0	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	6.9	7.1	7.2	10'
3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.2	5.4	5.5	5.7	5.9	6.0	6.2	6.4	6.5	6.7	6.9	7.1	7.2	7.4	7.6	7.7	7.9	12'
3.9	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	14'
4.1	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	16'
4.3	4.5	4.7	4.9	5.2	5.4	5.6	5.9	6.1	6.3	6.6	6.8	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6	8.9	9.1	9.3	9.5	9.8	10.0	18'
4.5	4.7	5.0	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.5	6.7	7.0	7.2	7.5	7.7	8.0	8.2	8.5	8.7	9.0	9.2	9.5	9.7	10.0	10.2	10.5	10.7	20'
4.8	5.1	5.4	5.7	5.9	6.2	6.5	6.7	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9	9.2	9.4	9.7	10.0	10.3	10.5	10.8	11.1	11.3	11.6	22'
5.3	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.4	8.7	9.0	9.3	9.6	9.9	10.2	10.5	10.8	11.1	11.3	11.6	11.9	12.2	12.5	24'
5.7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.5	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	26'
6.0	6.4	6.7	7.0	7.4	7.7	8.0	8.4	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.3	10.7	11.0	11.3	11.7	12.0	12.3	12.7	13.0	13.3	13.6	14.0	14.3	28'
6.5	6.8	7.2	7.5	7.9	8.2	8.6	8.9	9.3	9.6	10.0	10.3	10.7	11.0	11.4	11.7	12.1	12.4	12.8	13.1	13.5	13.8	14.2	14.5	14.9	15.2	30'
7.1	7.4	7.8	8.2	8.5	8.9	9.3	9.6	10.0	10.4	10.8	11.1	11.5	11.9	12.2	12.6	13.0	13.3	13.7	14.1	14.5	14.8	15.2	15.6	15.9	16.3	32'
7.7	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1	15.5	15.8	16.2	16.6	17.0	17.4	34'
8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.4	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.6	16.0	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	36'
8.9	9.3	9.7	10.1	10.6	11.0	11.4	11.9	12.3	12.7	13.2	13.6	14.0	14.4	14.9	15.3	15.7	16.2	16.6	17.0	17.5	17.9	18.3	18.7	19.2	19.6	38'
9.5	9.9	10.4	10.8	11.3	11.7	12.2	12.6	13.1	13.5	14.0	14.4	14.9	15.3	15.8	16.2	16.7	17.1	17.6	18.0	18.5	18.9	19.4	19.8	20.3	20.7	40'
10.3	10.7	11.2	11.7	12.2	12.7	13.2	13.7	14.2	14.7	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.6	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	42'
11.1	11.6	12.1	12.6	13.2	13.7	14.2	14.8	15.3	15.8	16.4	16.9	17.4	17.9	18.5	19.0	19.5	20.1	20.6	21.1	21.7	22.2	22.7	23.2	23.8	24.3	44'
11.9	12.4	13.0	13.6	14.1	14.7	15.3	15.8	16.4	17.0	17.6	18.1	18.7	19.3	19.8	20.4	21.0	21.5	22.1	22.7	23.3	23.8	24.4	25.0	25.5	26.1	46'
12.7	13.3	13.9	14.5	15.1	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.8	22.4	23.0	23.6	24.2	24.9	25.5	26.1	26.7	27.3	27.9	48'
13.5	14.1	14.8	15.4	16.1	16.7	17.4	18.0	18.7	19.3	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.9	24.5	25.2	25.8	26.5	27.1	27.8	28.4	29.1	29.7	50'
14.3	14.9	15.6	16.3	17.0	17.7	18.4	19.1	19.8	20.5	21.2	21.8	22.5	23.2	23.9	24.6	25.3	26.0	26.7	27.4	28.1	28.7	29.4	30.1	30.8	31.5	52'
15.1	15.8	16.5	17.2	18.0	18.7	19.4	20.2	20.9	21.6	22.4	23.1	23.8	24.5	25.3	26.0	26.7	27.5	28.2	28.9	29.7	30.4	31.1	31.8	32.6	33.3	54'
15.9	16.6	17.4	18.2	18.9	19.7	20.5	21.2	22.0	22.8	23.6	24.3	25.1	25.9	26.6	27.4	28.2	28.9	29.7	30.5	31.3	32.0	32.8	33.6	34.3	35.1	56'
16.7	17.5	18.3	19.1	19.9	20.7	21.5	22.3	23.1	23.9	24.8	25.6	26.4	27.2	28.0	28.8	29.6	30.4	31.2	32.0	32.9	33.7	34.5	35.3	36.1	36.9	58'
17.5	18.3	19.2	20.0	20.9	21.7	22.6	23.4	24.3	25.1	26.0	26.8	27.7	28.5	29.4	30.2	31.1	31.9	32.8	33.6	34.5	35.3	36.2	37.0	37.9	38.7	60'
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	mm

Рисунок 4 – Таблиці кількісного визначення ротаційного зміщення за методом P. Raimondi



розмір (б) мм	5,1	5,2	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,8	2°	
	5,7	5,8	5,9	6,0	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,4	7,8	8,0	8,1	8,2	8,3	8,5	8,6	8,7	8,8	9,0	4°	
	6,2	6,4	6,5	6,6	6,8	6,9	7,0	7,1	7,3	7,4	7,5	7,7	7,8	7,9	8,1	8,3	8,7	8,8	9,0	9,1	9,2	9,3	9,5	9,6	9,8	6°	
	6,8	6,9	7,1	7,2	7,4	7,5	7,6	7,8	7,9	8,1	8,2	8,3	8,5	8,6	8,8	9,1	9,3	9,5	9,8	10,0	10,1	10,3	10,4	10,5	10,8	8°	
	7,4	7,5	7,7	7,8	8,0	8,1	8,3	8,4	8,6	8,7	8,8	9,0	9,2	9,3	9,5	9,9	10,1	10,4	10,6	10,8	11,0	11,2	11,3	11,5	11,7	10°	
	8,1	8,2	8,4	8,6	8,8	8,9	9,1	9,3	9,4	9,6	9,8	9,9	10,1	10,3	10,5	11,0	11,2	11,4	11,5	11,9	12,0	12,3	12,5	12,6	12,8	12°	
	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,5	12,0	12,2	12,4	12,6	12,9	13,0	13,3	13,5	13,6	13,9	14°	
	9,5	9,7	9,9	10,1	10,4	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,5	12,7	13,1	13,3	13,6	13,8	14,0	14,2	14,5	14,6	15,0	16°	
	10,2	10,5	10,7	10,9	11,2	11,4	11,6	11,8	12,1	12,3	12,5	12,8	13,0	13,2	13,5	13,8	14,0	14,3	14,6	14,8	15,0	15,3	15,6	15,8	16,0	18°	
	11,0	11,2	11,5	11,7	12,0	12,2	12,5	12,7	13,0	13,2	13,5	13,7	14,0	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	16,0	16,2	16,5	16,7	17,0	17,3	20°	
	11,9	12,1	12,4	12,7	13,0	13,2	13,5	13,8	14,0	14,3	14,6	14,8	15,1	15,4	15,7	16,1	16,4	16,7	17,0	17,3	17,5	17,9	18,2	18,5	18,8	22°	
	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,2	14,5	14,8	15,1	15,5	15,7	16,0	16,3	16,6	16,9	17,5	17,6	18,1	18,3	18,6	18,9	19,3	19,6	19,9	20,1	24°	
	13,7	14,0	14,3	14,6	15,0	15,3	15,6	15,9	16,2	16,5	16,8	17,1	17,4	17,7	18,1	18,6	19,0	19,4	19,7	20,1	20,3	20,8	21,0	21,3	21,7	26°	
	14,6	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6	17,9	18,3	18,6	18,9	19,3	19,9	20,3	20,6	21,0	21,5	21,7	22,1	22,5	22,8	23,1	28°	
	15,6	15,9	16,3	16,6	17,0	17,3	17,7	18,0	18,4	18,7	19,1	19,4	19,8	20,1	20,5	21,1	21,4	21,9	22,2	22,6	23,0	23,5	23,8	24,1	24,6	30°	
	16,7	17,0	17,4	17,8	18,2	18,5	18,9	19,3	19,6	20,0	20,4	20,7	21,1	21,5	21,9	22,5	22,8	23,3	23,6	24,0	24,5	25,0	25,3	25,8	26,1	32°	
	17,8	18,2	18,6	19,0	19,4	19,7	20,1	20,5	20,9	21,3	21,7	22,1	22,5	22,9	23,3	23,9	24,3	24,8	25,2	25,6	26,0	26,5	26,8	27,2	27,6	34°	
	18,9	19,3	19,7	20,1	20,6	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,0	23,4	23,8	24,2	24,7	25,1	25,6	26,0	26,5	26,8	27,3	27,8	28,2	28,6	29,0	36°	
	20,0	20,5	20,9	21,3	21,8	22,2	22,6	23,0	23,5	23,9	24,3	24,8	25,2	25,6	26,1	26,6	27,0	27,5	27,9	28,4	28,8	29,3	29,7	30,1	30,6	38°	
	21,2	21,6	22,1	22,5	23,0	23,4	23,9	24,3	24,8	25,2	25,7	26,1	26,6	27,0	27,5	28,0	28,4	28,9	29,3	29,8	30,3	30,8	31,2	31,6	32,2	40°	
	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,4	25,9	26,4	26,9	27,4	27,9	28,4	28,9	29,4	29,9	30,6	31,0	31,6	32,1	32,6	33,1	33,6	34,1	34,4	35,1	42°	
	24,8	25,4	25,9	26,4	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,6	30,1	30,7	31,2	31,7	32,3	33,0	33,5	34,1	34,6	35,2	35,8	36,3	36,8	37,5	38,0	44°	
	26,7	27,2	27,8	28,4	29,0	29,5	30,1	30,7	31,2	31,8	32,4	32,9	33,5	34,1	34,7	35,3	35,9	36,6	37,2	37,8	38,5	39,0	39,6	40,2	40,8	46°	
	28,5	29,1	29,7	30,3	31,0	31,6	32,2	32,8	33,4	34,0	34,6	35,2	35,8	36,4	37,1	37,9	38,5	39,2	39,9	40,5	41,1	41,6	42,4	43,0	43,6	48°	
	30,4	31,0	31,7	32,3	33,0	33,6	34,3	34,9	35,6	36,2	36,9	37,5	38,2	38,8	39,5	40,3	41,0	41,8	42,5	43,2	43,8	44,5	45,1	45,8	46,5	50°	
	32,2	32,9	33,6	34,3	35,0	35,6	36,3	37,0	37,7	38,4	39,1	39,8	40,5	41,2	41,9	43,1	43,8	44,6	45,3	46,0	46,7	47,4	48,2	49,0	49,6	52°	
	34,0	34,8	35,5	36,2	37,0	37,7	38,4	39,1	39,9	40,6	41,3	42,1	42,8	43,5	44,3	45,8	46,6	47,3	48,0	48,8	49,6	50,3	51,2	52,0	52,6	54°	
	35,9	36,6	37,4	38,2	39,0	39,7	40,5	41,3	42,0	42,8	43,6	44,3	45,1	45,9	46,7	48,3	49,1	50,0	50,8	51,6	52,3	53,0	54,0	54,8	55,6	56°	
	37,7	38,5	39,3	40,1	41,0	41,8	42,6	43,4	44,2	45,0	45,8	46,6	47,4	48,2	49,1	51,1	51,9	52,8	53,5	54,4	55,2	56,0	56,9	57,8	58,5	58°	
	39,6	40,4	41,3	42,1	43,0	43,8	44,7	45,5	46,4	47,2	48,1	48,9	49,8	50,6	51,5	53,0	54,5	55,4	56,3	57,2	58,0	58,9	60,0	60,6	61,5	60°	
		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	мм
		розмір (а) мм																									

кут ротації хребця

Рисунок 4 – Таблиці кількісного визначення ротаційного зміщення за методом P. Raimondi (продовження)

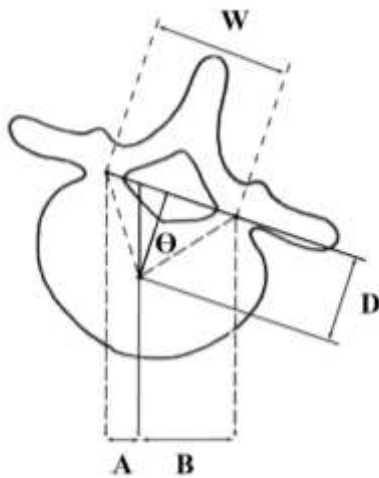


Рисунок 5 – Метод I. Stokes та співаторів

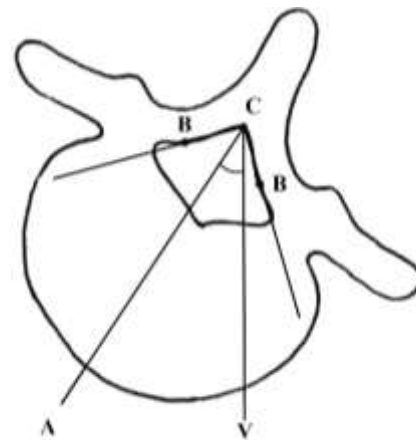


Рисунок 7 – Метод Но зі співавторами

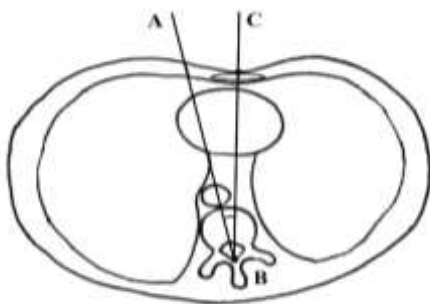


Рисунок 6 – Метод Aaro – Dahlborn

Но зі співавторами (Ho et al.) запропонували визначати величину ротації хребця за допомогою комп'ютерної томографії, використовуючи кут, утворений внутрішніми пластинками дуги хребця (рис. 7) [54].

Точка С утворена місцем з'єднання двох пластинок дуги хребця; дві точки В знаходяться між ніжками та пластинками дуги хребця; лінія АС ділить навпіл кут ВСВ; кут ротаційної деформації хребця обчислюють як кут між бісектрисою та вертикаллю (ACV).



Conclusions/Висновки

На підставі проведеного аналізу наукової літератури встановлено, що перші методи визначення ротаційної деформації хребта з'явилися близько 70 років тому. Сучасною тенденцією комплексного обстеження пацієнтів зі сколіотичною хворобою стала поява нових, більш інформативних методів кількісного оцінювання параметрів деформації хребта в горизонтальній площині, що насамперед зумовлено розвитком та вдосконаленням технологій. Необхідно зазначити, що дослідженню особливостей анато-

мо-структуральних, торсійних змін приділяють недостатню увагу. Подальше вивчення торсійних змін хребців повинно привести до кращого розуміння механізмів, які спричиняють сколіотичну деформацію, що сприятиме розробленню патогенетичних методів лікування.

Динамічне оцінювання ротаційно-торсійних змін хребта може бути використане як предиктор прогресування за різних типів сколіотичних деформацій, індикатор результату консервативного й хірургічного лікування.

References/Список літератури

1. Anderson SM. Spinal curves and scoliosis. *Radiol Technol.* 2007;79(1):44–68.
2. Korzh NA, Mezencev AA. [Scoliotic disease]. *Treatment and diagnosis.* 2004;4:9–16. (In Russian).
3. Cheng JC, Castelein RM, Chu WC et al. Adolescent idiopathic scoliosis. *Nature reviews. Disease primers.* 2017;1:15–30. doi: 10.1038/nrdp.2015.30
4. Dickson RA. Spinal deformity – adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 1999;24(24):2601.
5. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8
6. Vergari C, Karam M, Pietton R et al. Spine slenderness and wedging in adolescent idiopathic scoliosis and in asymptomatic population: an observational retrospective study. *Eur. Spine J.* 2020;29(4):726–736. doi: 10.1007/s00586-020-06340-8
7. Drobyshevskiy V. Aetiology of idiopathic scoliosis: the “scotch type“ effect or the abnormal initial local anterior-lateral conjunction between the dura mater spinalis and the periosteum of spinal canal of concave side. New evidence. *Scoliosis.* 2014;9(Suppl. 1):O19. doi: 10.1186/1748-7161-9-S1-O19
8. Labrom FR, Izatt MT, Claus AP, Little JP. Adolescent idiopathic scoliosis 3D vertebral morphology, progression and nomenclature: a current concepts review. *Eur. Spine J.* 2021;10.1007/s00586-021-06842-z. doi: 10.1007/s00586-021-06842-z
9. Liljenqvist UR, Allkemper T, Hackenberg L et al. Analysis of vertebral morphology in idiopathic scoliosis with use of magnetic resonance imaging and multiplanar reconstruction. *J. Bone Joint Surg.* 2002;84A:359–368.
10. Millner PA, Dickson RA. Idiopathic scoliosis: biomechanics and biology. *Eur Spine.* 1996;5:362–373. doi: 10.1007/BF00301963
11. Serdjuk VV. [Idiopathic scoliosis: mechanisms of its development]. *Bulletin of orthopedics, traumatology and prosthetics.* 2010;3:19–26. (In Russian).
12. Pasha S, Schlösser T, Zhu X et al. Application of low-dose stereoradiography in in vivo vertebral morphologic measurements: comparison with computed tomography. *J. Pediatr. Orthop.* 2019;39(9):487–494. doi: 10.1097/BPO.0000000000001043
13. Skalli W, Vergari C, Ebermeyer E et al. Early detection of progressive adolescent idiopathic scoliosis: a severity index. *Spine.* 2017;42(11):823–830. doi: 10.1097/BRS.0000000000001961
14. Noshchenko A, Hoffecker L, Lindley EM et al. Predictors of spine deformity progression in adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review with meta-analysis. *World J. Orthop.* 2015;6(7):537–558. doi: 10.5312/wjo.v6.i7.537
15. Nouri F, Ghasemi SH, Lee JY. System reliability analysis of the scoliosis disorder. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):199. doi: 10.1186/s12891-020-03230-4
16. Abelin-Genevois K, Sassi D, Verdun S, Roussouly P. Sagittal classification in adolescent idiopathic scoliosis: original description and therapeutic implications. *Eur. Spine J.* 2018;27(9):2192–2202. doi: 10.1007/s00586-018-5613-1
17. Ferguson AB. The study and treatment of scoliosis. *South Med. J.* 1930;23(2):116–120.



18. Poncet P, Jaremko JL, Ronsky J et al. Prediction of spinal deformity in scoliosis from geometric torsion. *Stud. Health. Technol. Inform.* 2002;91:64–67.
19. Pasha S, Hassanzadeh P, Ecker M, Ho V. A hierarchical classification of adolescent idiopathic scoliosis: Identifying the distinguishing features in 3D spinal deformities. *PLoS One.* 2019;14(3):e0213406. doi: 10.1371/journal.pone.0213406
20. Chaklin VD, Abalmasova EA. [Scoliosis and kyphosis]. Moskva, 1973, pp. 122–123. (In Russian).
21. Lim HH, Ong CH. Dynamic measurement of axial vertebral rotation and rotational flexibility in scoliosis by fluoroscopic method. *The Medical Journal of Malaysia.* 2001;56:41–45.
22. Pasha S, Capraro A, Cahill PJ et al. Bi-planar spinal stereoradiography of adolescent idiopathic scoliosis: considerations in 3D alignment and functional balance. *Eur. Spine J.* 2016;25(10):3234–3241. doi: 10.1007/s00586-016-4661-7
23. Ebrahimi S, Gajny L, Vergari C et al. Vertebral rotation estimation from frontal X-rays using a quasi-automated pedicle detection method. *Eur. Spine J.* 2019;28(12):3026–3034. doi: 10.1007/s00586-019-06158-z
24. Chen K, Zhai X, Sun K et al. A narrative review of machine learning as promising revolution in clinical practice of scoliosis. *Ann Transl Med.* 2021;9(1):67. doi: 10.21037/atm-20-5495
25. Knott P, Lonner B, Smith M et al. Measuring anterior trunk deformity in scoliosis: development of asymmetry parameters using surface topography (a pilot study). *Scoliosis Spinal Disord.* 2016;11(Suppl. 2):32. doi: 10.1186/s13013-016-0096-5
26. Birchall D, Hughes D, Gregson B, Williamson B. Demonstration of vertebral and disc mechanical torsion in adolescent idiopathic scoliosis using three-dimensional MR imaging. *Eur. Spine J.* 2005;14(2):123–129. doi: 10.1007/s00586-004-0705-5
27. Birchall D, Hughes DG, Hindle J, Robinson L, Williamson JB. Measurement of vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis using three-dimensional magnetic resonance imaging. *Spine.* 1997;22(20):2403–2407. doi: 10.1097/00007632-199710150-00016
28. Brink RC, Homans JF, Schlösser TPC et al. CT-based study of vertebral and intravertebral rotation in right thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2019;28:3044–3052. doi: 10.1007/s00586-019-06138-3
29. Adam C, Askin G. Automatic measurement of vertebral rotation in idiopathic scoliosis. *Spine.* 2006;31(3):80–83.
30. Castelein RM, Pasha S, Cheng JC, Dubousset J. Idiopathic scoliosis as a rotatory decompensation of the spine. *J. Bone Miner Res.* 2020;35(10):1850–1857. doi: 10.1002/jbmr.4137
31. Seroussi R, Krag MH, Muller DL, Pope MH. Internal deformations of intact and denucleated human lumbar discs subjected to compression, flexion, and extension loads. *J. Orthop. Res.* 1989;7:122–131. doi: 10.1002/jor.1100070117
32. Guan T, Zhang Y, Anwar A et al. Determination of three-dimensional corrective force in adolescent idiopathic scoliosis and biomechanical finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:963. doi: 10.3389/fbioe.2020.00963
33. Kadoury S, Shen J, Parent S. Global geometric torsion estimation in adolescent idiopathic scoliosis. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2014;52:309–319. doi: 10.1007/s11517-013-1132-8
34. Kojima T, Kurokawa T. Rotation vector, a new method for representation of three-dimensional deformity in scoliosis. *Spine.* 1992;17(11):1296–1303. doi: 10.1097/00007632-199211000-00007
35. Kuklo T, Potter BK, Lawrence L. Vertebral rotation and thoracic torsion in adolescent idiopathic scoliosis: what is the best radiographic correlate? *Journal of Spinal Disorders and Techniques.* 2005;18(2):139–147.
36. Lee CS, Hwang CJ, Jung HS et al. Association between vertebral rotation pattern and curve morphology in adolescent idiopathic scoliosis. *World Neurosurg.* 2020;143:e243–e252. doi: 10.1016/j.wneu.2020.07.111
37. Lin H. The correlation comparison of vertebral axial rotation relative to curvature and torsion in scoliosis by simplified 3D spine model. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2006;1517–1520. doi: 10.1109/IEMBS.2006.259988
38. Pizones J, Zúñiga L, Sánchez-Mariscal F et al. Relationship between the different torsion-related thoracic deformity parameters of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2016;26:763–769. doi: 10.1007/s00590-016-1762-2
39. Tesakov DK, Tesakova DD. [X-ray assessment of spinal rotation in case of its scoliotic



- deformity]. *Military medicine*. 2007;4:50–53. (In Russian).
40. Golovaha ML, Tjzhelov AA, Letuchaja NP et al. [Biomechanical aspects of an experimental study of the functional treatment of C-shaped scoliotic deformity of the spine]. *Trauma*. 2019;20(3):32–41. (In Russian).
41. Poncet P, Dansereau J, Labelle H. Geometric torsion in idiopathic scoliosis. *Spine*. 2001;26(20):2235–2243.
42. Romano M, Mastrantonio M. Torsion bottle, a very simple, reliable, and cheap tool for a basic scoliosis screening. *Scoliosis*. 2018;13:4. doi: 10.1186/s13013-018-0150-6
43. Schlösser TP, van Stralen M, Brink RC et al. Three-dimensional characterization of torsion and asymmetry of the intervertebral discs versus vertebral bodies in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2014;39(19):E1159–E1166. doi: 10.1097/BRS.0000000000000467
44. Rizkallah M, Sebaaly A, Kharrat K, Kreichati G. Selecting the lowest instrumented vertebra in adolescent idiopathic scoliosis: Comparison of the Lenke, Suk, and Dubousset criteria. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2018;104(5):631–635. doi: 10.1016/j.otsr.2017.12.007
45. Cobb JR. Outline for the study of scoliosis. *American Academy of Orthopedic Surgeons, Instructional Course Lectures*. 1948;5:261–275.
46. Takács M, Orlovits Z, Jáger B, Kiss RM. Comparison of spinal curvature parameters as determined by the ZEBRIS spine examination method and the Cobb method in children with scoliosis. *PLoS One*. 2018;13(7):e0200245. doi: 10.1371/journal.pone.0200245
47. Nash CL, Moe JH. A study of vertebral rotation. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1969;51(2):223–229. doi: 10.2106/00004623-196951020-00002
48. Perdriolle R, Vidal J. Thoracic idiopathic scoliosis curve evolution and prognosis. *Spine*. 1985;10(9):785–791. doi: 10.1097/00007632-198511000-00001
49. Perdriolle R, Vidal J. Etude de la courbure scoliothique. Importance de l'examen et de la rotation vertebrale. *Rev. Chir. Orthop.* 1981;67:25–34.
50. Raimondi P. La rotazione vertebrale. Proposta di nuovo metodo di valutazione. *Annali ISEFI Aquila*. 1984:81–84.
51. Weiss HR. Measurement of vertebral rotation: Perdriolle versus Raimondi. *Eur. Spine J.* 1995;4:34–38. doi: 10.1007/BF00298416
52. Lam GC, Hill DL et al. Vertebral rotation measurement: a summary and comparison of common radiographic and CT methods. *Scoliosis*. 2008;3:16. doi: 10.1186/1748-7161-3-16
53. Vrtovec T, Pernuš F, Likar B. A review of methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation. *Eur. Spine J.* 2009;18:1079–1090. doi: 10.1007/s00586-009-0914-z
54. Ho E, Upadhyay SS, Chan FL et al. New methods of measuring vertebral rotation from computed tomographic scans: an intraobserver and interobserver study on girls with scoliosis. *Spine*. 1993;18(9):1173–1177.

(received 12.07.2021, published online 29.09.2021)

(одержано 12.07.2021, опубліковано 29.09.2021)

Conflict of interest/Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Information about the authors/Відомості про авторів

Шкатула Юрій Васильович – д-р мед. наук, професор, завідувач кафедри екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, СумДУ, вул. Троїцька, 39, м. Суми, 40000 (тел. +38099546171; e-mail: y.shkatula@med.sumdu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5689-6318>).

Бадіон Юрій Олексійович – канд. мед. наук, асистент кафедри екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, СумДУ, вул. Троїцька, 39, м. Суми, 40000 (тел. +380994581857; e-mail: y.badion@med.sumdu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1646-282X>).

Руденко Павло Володимирович – асистент кафедри прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів, СумДУ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40000 (тел. +380661020548; e-mail: P.rudenko@pmtkm.sumdu.edu.ua)

