

М.Г. КУЛІНЕНКО, К.Л. РУДЕНЬКА, Б.М. МИРОНЮК

СТАБІЛОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОСТУРАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ У ДІТЕЙ ІЗ ДВОБІЧНОЮ ХРОНІЧНОЮ СЕНСОНЕВРАЛЬНОЮ ГЛУХОТОЮ ПІСЛЯ КОХЛЕАРНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ

Відділ ЛОР-патології дитячого віку

*Державної установи «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка
Національної академії медичних наук України»*

Сенсорні системи відіграють ключову роль у забезпеченні гармонійного розвитку дітей раннього віку. До них належать зорова, слухова, нюхова, смакова, соматосенсорна, вісцеральна та вестибулярна. Остання відповідає за збереження рівноваги, контроль рухів і просторову орієнтацію тіла. Аферентна інформація, що надходить з отолітового апарату та напівколових каналів, трансформується в електричні імпульси й обробляється у структурах головного мозку, зокрема у стовбурі та мозочку [1].

У дітей із глибокою сенсоневральною приглухуватістю та глухотою часто виявляють супутню дисфункцію вестибулярного апарату. Патологія цієї системи у дітей із глухотою може бути зумовлена як первинним ураженням лабіринту, так і дисплазією напівколових каналів або гіпоплазією провідних шляхів вестибулярного аналізатора. Зважаючи на спільне ембріологічне походження, а також анатомо-фізіологічну близькість слухової та вестибулярної систем, одночасне ураження звукосприймального апарату й органу рівноваги є поширеним явищем [2]. Серед етіологічних чинників виділяють TORCH-інфекції, генетичні мутації (зокрема DFNA9, DFNB36, DFNB86), спадкові синдроми (Ашера, Джервелла-Лангелі-Нільсена, Пендредда) та аномалії розвитку внутрішнього вуха. За даними літератури, понад 50% дітей із двобічною сенсоневральною глухотою мають розлади координації рухів, дефіцит дрібної моторики та затримку

психомоторного розвитку. Клінічно це проявляється труднощами під час виконання фізичних вправ, їзди на велосипеді, письма й малювання, що в підсумку може призводити до соціальної дезадаптації пацієнтів [3].

Узгоджене функціонування всіх зазначених сенсорних систем визначає належну підтримку постуральної стабільності людини. Постава є результатом гармонійної м'язово-скелетної рівноваги, яка захищає опорно-руховий апарат від травм і деформацій під час виконання статичних чи динамічних локомоцій (перебування у вертикальному чи горизонтальному положенні, присідання, нахилів) [4]. Вона є не просто статичною рефлекторною реакцією, а складним комплексом сенсомоторних процесів, що забезпечують біомеханічний контроль тіла у просторі. На постуральний баланс впливають анатомічні та фізіологічні чинники. До перших належать архітектоніка хребта, вираженість фізіологічних вигинів (лордозу та кіфозу), а також рівень розвитку мускулатури тулуба. Фізіологічні чинники охоплюють сформовані в онтогенезі рухові навички та статичні рефлекси, які визначають здатність організму підтримувати стабільну рівновагу [5].

Ключову роль у регуляції постави відіграють зорова та вестибулярна системи, які взаємодіють з іншими аферентними структурами, забезпечуючи підтримання постуральної стабільності шляхом центральної інтеграції сигналів. Цей процес є

складним механізмом динамічного контролю положення тіла у просторі. У дітей із глухотою спостерігається деформація сприйняття зовнішніх сенсорних стимулів, що призводить до розладів балансу та просторової дезорієнтації [6].

Кохлеарна імплантація є високоефективним методом слухової реабілітації, проте її вплив на вестибулярний апарат варіюється залежно від низки чинників: хірургічної техніки, дизайну електродної решітки, віку пацієнта та наявності залишкового слуху [7]. Результати профільних досліджень залишаються суперечливими: частина авторів вказує на ризик деградації вестибулярної функції внаслідок механічної травматизації структур внутрішнього вуха під час операції, тоді як інші відзначають компенсаторну активацію інших сенсорних систем. Вестибулярні розлади у педіатричній практиці після кохлеарної імплантації вивчені недостатньо, що зумовлено складністю діагностичного процесу. Діти раннього віку рідко вербалізують скарги на запаморочення чи нестійкість ходи, оскільки в них швидко формуються унікальні механізми центральної компенсації [8].

Анатомічно вестибулярний апарат складається з трьох напівколових каналів та двох отолітових органів. Діагностика його функціонального стану охоплює відеоімпульсний тест (vНІТ), калоричну та обертальні проби, а також реєстрацію вестибулярних викликаних міогенних потенціалів (VEMP). Для оцінки постурального контролю застосовують комп'ютерну стабілометрію, яка дає змогу фіксувати зміщення центра тиску тіла на площині опори та аналізувати його коливання. Навіть у стані спокою тіло людини здійснює безперервні мікродевіації в різних напрямках; саме ці параметри – амплітуда, частота та траєкторія рухів – відображають ефективність функціонування системи рівноваги. Основний принцип методу полягає в детекції коливань проєкції загального центра мас за допомогою тензометричної платформи. Точка прикладання рівнодійної всіх вертикальних сил визначається як центр тиску (ЦТ), а апаратний комплекс графічно реєструє його переміщення у фронтальній та сагітальній площинах [9, 10].

Мета дослідження – стабілометричний аналіз особливостей вестибулярної дисфункції у дітей із глухотою до та після кохлеарної імплантації, а також оцінка її впливу на постуральний контроль і моторні функції пацієнтів.

Матеріали і методи

У дослідження включено 30 дітей (19 хлопчиків та 11 дівчаток) віком від 4 до 9 років із двобічною хронічною сенсоневральною глухотою. Усім пацієнтам проведено кохлеарну імплантацію: у 10 випадках – одномоментну білатеральну, у 20 – унілатеральну. Комп'ютерне стабілометричне обстеження виконували до хірургічного втручання та через 12 місяців після нього з метою реєстрації параметрів мікродевіацій центра тиску у стані спокою. Контрольну групу сформували з 30 дітей аналогічного вікового діапазону (4-9 років) без патології слухового та вестибулярного аналізаторів.

Для оцінки постурального контролю застосовували комп'ютерну стабілометрію за допомогою апаратно-програмного комплексу «Stabilis» (Україна). Методика дає змогу кількісно оцінити параметри рівноваги на основі реєстрації стабілографічних показників. Тестування виконували у двох стандартних умовах: із розплющеними (Р) та заплющеними (З) очима.

Під час дослідження аналізували такі параметри центра тиску (ЦТ):

Length (мм) – загальна довжина траєкторії мікродевіацій ЦТ;

AvgSpeed (мм/с) – середня швидкість переміщення ЦТ;

Angle (°) – усереднений кут відхилення траєкторії ЦТ;

Pup2Sigma (%) – відносна кількість точок стабілограми в межах подвоєного стандартного відхилення;

PirsonXY – коефіцієнт лінійної кореляції між коливаннями ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах;

RangeX / RangeY (мм) – розмах коливань ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно;

Length X / Length Y (мм) – довжина траєкторії ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно;

Mean X / Mean Y (мм) – середнє положення ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно;

StdDev X / StdDev Y (мм) – стандартне відхилення коливань ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно;

Skew X / Skew Y – коефіцієнт асиметрії коливань ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно;

Kurtosis X / Kurtosis Y – коефіцієнт ексцесу коливань ЦТ у фронтальній та сагітальній площинах, відповідно [11, 12].

Статистичний аналіз отриманих даних виконували за допомогою програмного забезпечення IBM SPSS Statistics (версія 26.0) з використанням t-критерію Стьюдента для парних вибірок. Рівень статистичної значущості результатів приймали за $p < 0,05$.

Результати

Аналіз стабілометричних даних виявив статистично значущі відмінності між показниками пацієнтів до та після кохлеарної імплантації (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка стабілометричних показників у дітей основної групи до та після кохлеарної імплантації в порівнянні з контрольною групою

Показник	Групи					
	основна				контрольна	
	4-6 років, n=10		7-9 років, n=20		4-6 років, n=10	7-9 років, n=20
	до КІ	після КІ	до КІ	після КІ		
Length (мм)	8642,3	2567,6	4259,4	1007,3	921,3	843
AvgSpeed (мм/с)	119,6	45,4	105,2	25,2	15,1	14,2
Angle (°)	4,82	3,1	4,2	1,9	-3,0	-4,2
Pup2Sigma (%)	74,0	82,0	76,0	85,0	93,0	95,0
PirsonXY	0,06	0,71	0,06	0,72	0,88	0,91
RangeX (мм)	96,3	43,2	87,9	39,3	30,2	28,4
RangeY (мм)	73,2	67,0	69,3	52,0	31,2	27,5
LengthX (мм)	753,3	700,2	689,0	657,3	578,0	548,2
Length Y (мм)	874,2	734,5	821,3	701,3	667,4	643,2
Mean X (мм)	1,2	0,9	1,1	0,8	0,4	0,3
Mean Y (мм)	1,2	1,0	1,3	0,9	0,5	0,3
StdDev X (мм)	2,5	1,9	2,4	1,7	1,2	1,0
StdDev Y (мм)	2,8	2,0	2,6	1,8	1,3	1,1
Skew X	0,65	0,48	0,61	0,43	0,31	0,28
Skew Y	0,69	0,5	0,64	0,45	0,33	0,30
Kurtosis X	2,7	2,4	2,6	2,3	1,9	1,8
Kurtosis Y	2,9	2,5	2,8	2,4	2,0	1,9

Усі ключові параметри постурального контролю продемонстрували позитивну динаміку. Зокрема, загальна довжина траєкторії центра тиску (Length) зменшилася в середньому з 6346,7 мм до 893,0 мм, що свідчить про нівелювання ортостатичної нестабільності у стані спокою. Середня

швидкість переміщення ЦТ (AvgSpeed) знизилася з 76,5 мм/с до 14,8 мм/с, що вказує на оптимізацію сенсомоторного контролю. Розмах коливань у фронтальній (RangeX) та сагітальній (RangeY) площинах зменшився на 40% та 38%, відповідно. Відносна кількість точок стабілограми в межах подвоєно-

го стандартного відхилення (Pup2Sigma) також зросла, підтверджуючи підвищення стабільності вертикальної пози. Отримані результати є статистично значущими при $p < 0,01$.

Додатково проведено стратифікаційний аналіз із урахуванням віку пацієнтів, під час якого оцінювали площу статокінезіграми, швидкість переміщення центра тиску (ЦТ), а також амплітуду його коливань у фронтальній (X) та сагітальній (Y) площинах. У дітей молодшої вікової групи (4-6 років) позитивна динаміка була менш вираженою, що, імовірно, зумовлено фізіологічною нестабільністю постурального контролю в цьому періоді онтогенезу. Слід зазначити, що у пацієнтів із післяопераційними скаргами на запаморочення (n=5) вестибулярна симптоматика повністю регресувала протягом перших 3 місяців без медикаментозної корекції. При порівнянні з контрольною групою, де середнє значення параметра Length становило близько 100 мм, показники дітей після кохлеарної імплантації суттєво наблизилися до референтних значень. У 85% пацієнтів після хірургічного втручання значення показників AvgSpeed та RangeX/Y

перебували в межах одного стандартного відхилення ($\pm 1\sigma$) від нормативних величин, що свідчить про високу ефективність центральних адаптаційних механізмів. Кореляційний аналіз між стабілометричними маркерами та віком на момент імплантації виявив слабку негативну кореляцію (зокрема, для Length: $r = -0,32$; $p < 0,05$). Це підтверджує гіпотезу: що в більш ранньому віці виконано кохлеарну імплантацію, то повнішим є відновлення постурального балансу. Аналіз даних залежно від статі пацієнтів не виявив статистично значущих відмінностей між хлопчиками та дівчатками.

Окремо оцінювали вплив унілатеральної кохлеарної імплантації на показники комп'ютерної стабілометрії. У цій підгрупі пацієнтів розмах коливань у фронтальній площині (RangeX) залишався підвищеним порівняно з контрольною групою, що може свідчити про обмежений компенсаторний потенціал за відсутності бінауральної стимуляції (табл. 2). Отримані дані підтверджують гіпотезу про патогенетичну доцільність двобічної (білатеральної) імплантації для формування стабільного постурального контролю у дітей.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз стабілометричних показників у дітей за умов унілатеральної та одномоментної білатеральної кохлеарної імплантації

Показник	Унілатеральна КІ (n=20)	Одномоментна білатеральна КІ (n=10)
Length (мм)	904,5	967,0
AvgSpeed (мм/с)	14,9	14,2
Angle (°)	3,6	-4,2
Pup2Sigma (%)	90,9	95,0
PirsonXY	0,69	0,91

Аналіз стабілометричних даних виявив статистично значущі відмінності між показниками пацієнтів до та після кохлеарної імплантації. На рисунку 1 представлено типову стабілограму дитини до хірургічного втручання: траєкторія центра тиску (ЦТ) є значно розширеною та хаотичною, з вираженими високоамплітудними девіаціями у

фронтальній і сагітальній площинах. Така графічна картина відображає суттєвий дефіцит функцій рівноваги та низьку ефективність постурального контролю у стані спокою, коли площа статокінезіграми та загальна довжина траєкторії суттєво перевищують референтні значення для здорових однопітків.

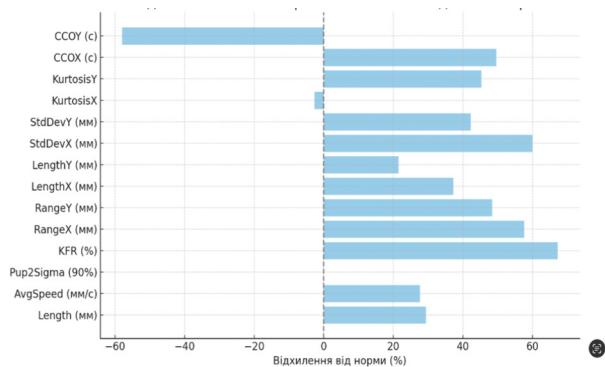


Рис. 1. Порівняльний аналіз стабілограм дітей основної групи до кохлеарної імплантації та дітей контрольної групи.

На рисунку 2 проілюстровано стан пацієнтів через 3 доби після кохлеарної імплантації. Спостерігається помірне зменшення площі статокінезіграми та загальної довжини траєкторії центра тиску; графічна картина стає компактнішою, хоча все ще реєструються нерівномірні коливання та залишкова ортостатична нестабільність. Такі зміни свідчать про початкову стадію вестибулярної адаптації: ефективність постурального контролю підвищується, проте остаточного відновлення рівноваги на цьому терміні спостереження ще не досягнуто, а стабілометричні параметри статистично значуще відрізняються від показників контрольної групи.

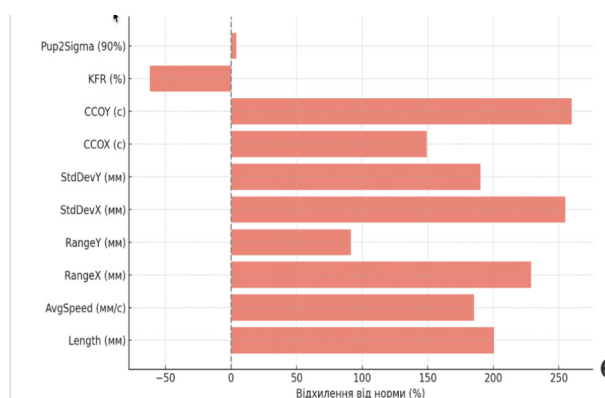


Рис. 2. Порівняльний аналіз стабілограм дітей основної групи на 3-тю добу після кохлеарної імплантації та дітей контрольної групи.

На рисунку 3 проілюстровано стабілограму пацієнта через 12 місяців після кохле-

арної імплантації. Траєкторія центра тиску має чітко обмежену, компакту форму, аналогічну показникам дітей контрольної групи. Амплітуда девіацій та площа статокінезіграми є мінімальними, що підтверджує практично повне відновлення функції постурального контролю. Центр тиску зміщується в межах вузької зони, а геометрія траєкторії наближається до референтних значень, що свідчить про високу ефективність реабілітаційних заходів та довгострокових компенсаторних механізмів вестибулярного аналізатора після оперативного втручання.

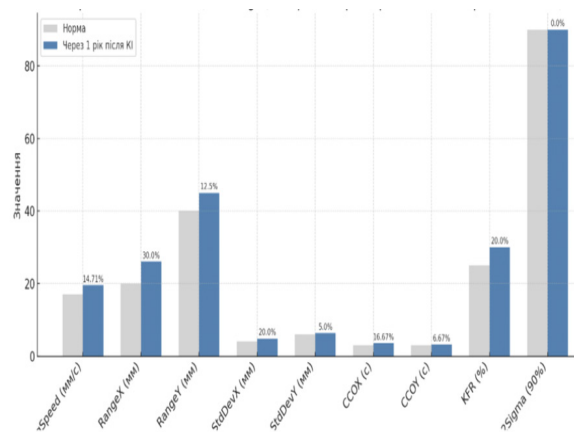


Рис. 3. Порівняльний аналіз стабілограм дітей основної групи через 12 місяців після кохлеарної імплантації та дітей контрольної групи.

Таким чином, наведені стабілограми відображають послідовне наближення параметрів постурального контролю дітей із глухотою до референтних значень: від вираженої ортостатичної нестабільності й розладів регуляції рівноваги у доопераційному періоді до формування стабільного постурального балансу через 12 місяців після кохлеарної імплантації.

Обговорення

Отримані результати свідчать, що кохлеарна імплантація не лише забезпечує ефективну слухову реабілітацію, а й позитивно впливає на відновлення вестибулопостуральної функції у дітей із глухотою. Регрес значень стабілометричних індексів Length, RangeX/Y та Kurtosis свідчить про активацію компенсаторних механізмів центральної нервової системи. Інтеграція зорової, пропріоцептивної та залишкової

вестибулярної аферентації формує патогенетичну основу мультисенсорного переналаштування центральних відділів аналізаторів. Нормалізація балансу зумовлена індукцією процесів нейропластичності та системної сенсорної інтеграції, які нівелюють первинний вестибулярний дефіцит. Наведені дані узгоджуються з результатами інших дослідників [13-15], які також фіксували оптимізацію постурального контролю у пацієнтів після кохлеарної імплантації.

Водночас необхідно враховувати, що, за даними літератури, у деяких пацієнтів може виникати транзиторне запаморочення, яке регресує протягом перших тижнів [16-19]. Такий стан найчастіше зумовлений травматизацією внутрішньозавиткових структур (базилярної мембрани, спіральної пластинки, стінок завитка) під час введення електродної решітки. Ці короткочасні симптоми клінічно проявляються гострим розладом рівноваги і в більшості випадків зникають через 7-14 діб після хірургічного втручання. Для мінімізації ризику інтраопераційного ушкодження лабіринту рекомендується застосовувати концепцію «м'якої хірургії» (soft surgery), зокрема введення електрода через мембрану круглого вікна та використання високочастотних (перимодіюлярних або тонких латеральних) електродних масивів [16-19].

Висновки

1. У дітей із двобічною хронічною сенсоневральною глухотою виявляється супутня дефіцитарність вестибулярної функції, яка інструментально верифікується деформацією стабілометричного профілю (високоамплітудними девіаціями центра тиску у стані спокою).

2. Кохлеарна імплантація є патогенетично обґрунтованим методом реабілітації, що забезпечує довгострокове відновлення постурального балансу та оптимізацію механізмів утримання вертикальної пози.

3. Максимальна ефективність відновлення функцій рівноваги досягається за умов одномоментної білатеральної кохлеарної імплантації, яка, на відміну від унілатерального втручання, забезпечує симетричну бінауральну стимуляцію, необхідну для

формування стійкого постурального контролю.

4. Комп'ютерна стабілометрия є високочутливим, неінвазивним та об'єктивним методом експертного моніторингу динаміки просторової орієнтації тіла в педіатричній практиці на етапах слухової та вестибулярної реабілітації.

5. Результати дослідження підтверджують, що кохлеарна імплантація виконує ключову роль не лише у відновленні слухового аналізатора, а й виступає тригером системної сенсомоторної інтеграції та нейропластичності центральної нервової системи.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Дотримання етичних норм

Автори рукопису свідомо засвідчують, що дослідження проводилось з використанням даних первинної медичної документації та включало клінічні спостереження за пацієнтами. Дослідження проведено відповідно до етичних стандартів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини, директиви Європейського товариства 86/609 про участь людей у медико-біологічних дослідженнях, а також наказу Міністерства охорони здоров'я України № 690 від 23.09.2009 р. Усі обстежені пацієнти надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні та оприлюднення його результатів.

Використання штучного інтелекту

Автори рукопису свідомо засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного штучного інтелекту для виконання будь-яких завдань, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному штучному інтелекту (GAIDeT, 2025 р.). Усі етапи роботи – від концептуалізації до фінального редагування – виконані без залучення генеративного штучного інтелекту, виключно авторами.

Первинні дані та матеріали

Автори рукопису свідомо засвідчують, що у роботі використано результати власних клінічних досліджень, що були систематизовані та проаналізовані авторами. Первинні дані включають узагальнені показники пацієнтів, протоколи та отримані дані обстежень. Всі матеріали збережені в архіві дослідницької групи та можуть бути надані за обґрунтованим запитом до автора-кореспондента, з ураху-

ванням вимог конфіденційності та етичних норм.

Інформація про фінансування

Дослідження виконано в рамках НДР «Підвищення ефективності реабілітаційних заходів у пацієнтів (дорослих і дітей) з тяжкими порушеннями слуху після імплантаційного слухопротезування», № держреєстрації 0121U113547, за бюджетом НАМН України.

References

1. Kauffman TL. Chapter 15—Posture. In: Kauffman TL, Barr JO, Moran M, editors. *Geriatric Rehabilitation Manual*. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2007. p. 99–105.
2. Latash ML, Zatsiorsky VM. Chapter 14—Posture. In: Latash ML, Zatsiorsky VM, editors. *Biomechanics and Motor Control*. San Diego: Academic Press; 2016. p. 305–33.
3. Lukyanchuk VL. Peculiarities of motor development of younger schoolchildren with posture disorders. *Multidisciplinary scientific research and innovations*. 2021; p. 29–33.
4. Wu W, Liang J, Du Y, Tan X, Xiang X, Wang W, Ru N, Le J. Reliability and reproducibility analysis of the Cobb angle and assessing sagittal plane by computer-assisted and manual measurement tools. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2014 Feb 6;15:33. doi: 10.1186/1471-2474-15-33.
5. Ludwig O, Kelm J, Hammes A, Schmitt E, Fröhlich M. Neuromuscular performance of balance and posture control in childhood and adolescence. *Heliyon*. 2020 Jul 31;6(7):e04541. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04541.
6. Martens S, Maes L, Dhondt C, Vanaudenaerde S, Sucaet M, De Leenheer E, et al. Vestibular infant screening—Flanders: what is the most appropriate vestibular screening tool in hearing-impaired children? *Ear Hear*. 2023 Mar-Apr;44(2):385-398. doi: 10.1097/AUD.0000000000001290.
7. Thierry B, Blanchard M, Leboulanger N, Parodi M, Wiener-Vacher SR, Garabedian E-N, Loundon N. Cochlear implantation and vestibular function in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2015 Feb;79(2):101-4. doi: 10.1016/j.ijporl.2014.11.002.
8. Derlich M, Kręciszk K, Kuczyński M. Attention demand and postural control in children with hearing deficit. *Res Dev Disabil*. 2011 Sep-Oct; 32(5):1808-13. doi: 10.1016/j.ridd.2011.03.009.
9. Lavinsky L. Vestibular function in children with severe hearing deficiency. *Rev HCPA*. 1990;10(1):14–26.
10. Willard FH, Perl DP. *Medical neuroanatomy*. Philadelphia: Lippincott; 1993. p. 1–320.
11. Maudoux A, Vitry S, El-Amraoui A. Vestibular deficits in deafness: clinical presentation, animal modeling, and treatment solutions. *Front Neurol*. 2022 Apr 4;13:816534. doi: 10.3389/fneur.2022.816534.
12. Ajalloueyan M, Saeedi M, Sadeghi M, Zamiri Abdollahi F. The effects of cochlear implantation on vestibular function in 1–4 years old children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2017 Mar;94:100-103. doi: 10.1016/j.ijporl.2017.01.019.
13. Melo RS, Lemos A, Paiva GS, Ithamar L, Lima MC, Eickmann SH, et al. Vestibular rehabilitation exercise programs to improve the postural control, balance and gait of children with sensorineural hearing loss: a systematic review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019 Dec;127:109650. doi: 10.1016/j.ijporl.2019.109650.
14. Yigider AP, Yilmaz S, Ulusoy H, Kara T, Kufeciler L, Kaya KH. Emotional and behavioral problems in children and adolescents with hearing loss and their effects on quality of life. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2020 Oct;137:110245. doi: 10.1016/j.ijporl.2020.110245.
15. Martens S, Dhooge I, Dhondt C, Leysens L, Sucaet M, Vanaudenaerde S, et al. Vestibular infant screening—Flanders: the implementation of a standard vestibular screening protocol for hearing-impaired children in Flanders. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019 May;120:196-201. doi: 10.1016/j.ijporl.2019.02.033.
16. Lubetzky AV. Balance, falls, and hearing loss: is it time for a paradigm shift? *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020 Jun 1;146(6):535-536. doi: 10.1001/jamaoto.2020.0415.

17. Koyama H, Yamasoba T. Vestibular dysfunction after cochlear implantation in children. *Front Neurol.* 2021 May 28;12:661302. doi: 10.3389/fneur.2021.661302.
18. Chan CY, Wang F, Omar H, Tan HKK. Traumatic Cochlear Implant Electrode Extrusion: Considerations, Management, and Outcome. *Case Rep Otolaryngol.* 2021 Jul 30;2021:2918859. doi: 10.1155/2021/2918859.
19. Starovoyt A, Pyka G, Putzeys T, Balcaen T, Wouters J, Kerckhofs G, Verhaert N. Human cochlear microstructures at risk of electrode insertion trauma, elucidated in 3D with contrast-enhanced microCT. *Sci Rep.* 2023 Feb 7;13(1):2191. doi: 10.1038/s41598-023-29401-6.
20. Mohamad A. Vestibular dysfunction related to cochlear implantation in adults. *Canadian Audiologist [Internet].* 2023 Sep 6;10(5). Available from: <https://canadianaudiologist.ca/vestibular-dysfunction-related-to-cochlear-implantation-in-adults/>.

Надійшла до редакції 21.07.2025

© М.Г. Куліненко, К.Л. Руденька, Б.М. Миронюк, 2026

СТАБІЛОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОСТУРАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ У ДІТЕЙ ІЗ ДВОБІЧНОЮ ХРОНІЧНОЮ СЕНСОНЕВРАЛЬНОЮ ГЛУХОТОЮ ПІСЛЯ КОХЛЕАРНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ

Куліненко МГ, Руденька КЛ, Миронюк БМ

Державна установа «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка

Національної академії медичних наук України»

Email: kulinenko.mar@gmail.com

А н о т а ц і я

Актуальність: У дітей із глибокою сенсоневральною приглухуватістю та глухотою часто спостерігається супутня дисфункція вестибулярного апарату, зумовлена спільним ембріогенезом та анатомо-фізіологічною близькістю структур внутрішнього вуха. Кохлеарна імплантація (КІ) суттєво впливає на лабіринт, проте характер змін постурального контролю у педіатричній практиці залишається дискусійним.

Мета: стабілометричний аналіз особливостей вестибулярної дисфункції у дітей із глухотою до та після кохлеарної імплантації, а також оцінка її впливу на постуральний контроль і моторні функції пацієнтів.

Матеріали та методи: У дослідження включено 30 дітей (19 хлопчиків, 11 дівчаток) віком 4–9 років із двобічною хронічною сенсоневральною глухотою. Усім пацієнтам проведено КІ: у 10 випадках – одномоментну білатеральну, у 20 – унілатеральну. Комп'ютерну стабілометрію (апаратно-програмний комплекс «Stabilis», Україна) виконували до операції, на 3-тю добу та через 12 місяців після неї з реєстрацією параметрів мікродевіацій центра тиску (ЦТ) у стані спокою. Контрольну групу становили 30 здорових дітей аналогічного віку. Статистичну обробку проводили в IBM SPSS Statistics 26.0 із використанням t-критерію Стьюдента для парних вибірок.

Результати: До операції у дітей із глухотою виявлено виражену ортостатичну нестабільність. На 3-тю добу після КІ фіксували початкову стадію вестибулярної адаптації з помірним зменшенням площі статокінезіграми. Через 12 місяців спостерігався високозначущий регрес стабілометричних індексів ($p < 0,01$): загальна довжина траєкторії (Length) у дітей 4-6 років зменшилася з 8642,3 мм до 2567,6 мм, а у дітей 7-9 років – з 4259,4 мм до 1007,3 мм; середня швидкість (AvgSpeed) знизилася зі 119,6 мм/с до 45,4 мм/с (4-6 років) та зі 105,2 мм/с до 25,2 мм/с (7-9 років). Максимальну ефективність відновлення балансу та симетрії девіацій (параметр RangeX) продемонструвала підгрупа з одномоментною білатеральною КІ завдяки відновленню бінауральної стимуляції. Виявлено слабку негативну кореляцію між показником Length через 12 місяців та віком на момент операції ($r = -0,32$; $p < 0,05$). Статевих відмінностей не виявлено. Післяопераційне запаморочення спостерігалось у 5 пацієнтів і повністю регресувало протягом 3 місяців без медикаментозної корекції.

Висновки: Кохлеарна імплантація є ефективним тригером системної сенсомоторної інтеграції та центральної компенсації вестибулярного дефіциту у дітей із глухотою. Найбільш повне відновлення пострального контролю забезпечує одномоментна білатеральна імплантація, виконана у ранньому віці. Комп'ютерна стабілометрія виступає чутливим та об'єктивним методом моніторингу реабілітаційного процесу.

Ключові слова: кохлеарна імплантація, сенсоневральна глухота, вестибулярний апарат, постральний контроль, комп'ютерна стабілометрія, бінауральна стимуляція, діти.

STABILOMETRIC ANALYSIS OF POSTURAL STABILITY IN CHILDREN WITH BILATERAL CHRONIC SENSORINEURAL DEAFNESS AFTER COCHLEAR IMPLANTATION

Kulinenko MG, Rudenka KL, Myroniuk BM

*State Institution "O.S. Kolomyichenko Institute of Otolaryngology
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine"*

Email: kulinenko.mar@gmail.com

Abstract

Background: Children with profound sensorineural hearing loss and deafness frequently exhibit concomitant vestibular dysfunction, which is due to shared embryogenesis and the anatomical and physiological proximity of inner ear structures. Cochlear implantation (CI) significantly affects the labyrinth; however, the pattern of postural control alterations in pediatric practice remains a subject of ongoing debate.

Objective: To perform a stabilometric analysis of vestibular dysfunction characteristics in deaf children before and after cochlear implantation, and to evaluate its impact on patients' postural control and motor functions.

Materials and Methods: The study included 30 children (19 boys, 11 girls) aged 4-9 years with bilateral chronic sensorineural hearing loss. All patients underwent CI: simultaneous bilateral implantation was performed in 10 cases, and unilateral implantation in 20 cases. Computerized stabilometry (using the "Stabilis" hardware and software system, Ukraine) was performed preoperatively, on the 3rd postoperative day, and 12 months after surgery to register the center of pressure (COP) microdeviation parameters at rest. The control group consisted of 30 healthy age-matched children. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 26.0 with the paired t-test.

Results: Pronounced orthostatic instability was detected in deaf children prior to surgery. On the 3rd postoperative day, an initial stage of vestibular adaptation was registered, accompanied by a moderate reduction in the statokinesigram area. At 12 months, a highly significant regression of stabilometric indices was observed ($p < 0.01$): the total trajectory length (Length) in children aged 4-6 years decreased from 8642.3 mm to 2567.6 mm, and in children aged 7-9 years from 4259.4 mm to 1007.3 mm; the average speed (AvgSpeed) decreased from 119.6 mm/s to 45.4 mm/s (4-6 years) and from 105.2 mm/s to 25.2 mm/s (7-9 years). The subgroup with simultaneous bilateral CI demonstrated maximum efficiency in balance recovery and deviation symmetry (RangeX parameter) due to the restoration of binaural stimulation. A weak negative correlation was found between the 12-month Length parameter and age at implantation ($r = -0.32$; $p < 0.05$). No statistically significant gender differences were found. Postoperative vertigo occurred in 5 patients and completely resolved within the first 3 months without pharmacological intervention.

Conclusions: Cochlear implantation acts as an effective trigger for systemic sensorimotor integration and central compensation of vestibular deficits in deaf children. The most complete recovery of postural control is achieved with simultaneous bilateral implantation performed at an early age. Computerized stabilometry serves as a sensitive and objective method for monitoring the rehabilitation process.

Keywords: cochlear implantation, sensorineural hearing loss, vestibular apparatus, postural control, computer stabilometry, binaural stimulation, children.