

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**МЕТОД І УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ЗАСІБ
ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ
КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА**

Монографія

За загальною редакцією Й. Й. Білинського

**Вінниця
ВНТУ
2022**

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/659>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 004.932.2-026.572.2:615.47

М54

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 2 від 30 вересня 2021 р.)

Рецензенти:

О. Г. Аврунін, доктор технічних наук, професор

Є. Б. Яворська, кандидат технічних наук, доцент

Білинський, Й. Й.

М54 Метод і ультразвуковий засіб для оцінювання стану кульшового суглоба: монографія / Й. Й. Білинський, О. І. Нікольський, К. Ю. Дмитрієва, А. Б. Гуральник. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 108 с.

ISBN 978-9 66-641-890-9

Робота присвячена розв'язанню актуальної задачі оцінювання стану кульшового суглоба, яка є однією з найважливіших задач під час діагностики та лікуванні новонароджених та дітей раннього віку. В роботі проведено огляд методів дослідження стану кульшового суглоба дитини; обґрунтовано необхідність виконати ряд послідовних операцій при обробці відповідних діагностичних зображень; розроблено алгоритми цифрової обробки зображень на основі запропонованих методів фільтрації; побудовано апаратно-програмний засіб класифікації ультразвукових зображень стану кульшового суглоба.

УДК 004.932.2-026.572.2:615.47

ISBN 978-9 66-641-890-9

© Й. Білинський, О. Нікольський, К. Дмитрієва, А. Гуральник, 2022

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/659>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ДИСПЛАЗІЇ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ	8
1.1 Огляд методів дослідження стану кульшового суглоба дитини	8
1.1.1 Рентгенологічний метод дослідження стану кульшового суглоба	11
1.1.2 Ультразвуковий метод дослідження стану кульшового суглоба	14
1.2 Аналіз методів ультразвукової діагностики ДКС та визначення найбільш прийнятних із них для комп'ютерного прогнозування захворювання.....	16
1.2.1 Метод діагностики та класифікації (ДКС) за Графом	17
1.2.2 Метод діагностики та класифікації ДКС за Розендалем (Rosendahl).....	18
1.2.3 Метод діагностики та класифікації ДКС за Харке і Моріна	20
1.2.4 Діагностика та класифікація ДКС за методом Терьєсена	21
1.2.5 Діагностика та класифікація ДКС за методом Дальстрьома	22
1.2.6 Динамічні методи дослідження ДКС.....	23
1.2.7 Передній динамічний ультразвуковий метод ДКС–3SM.....	23
1.3 Високотехнологічні комп'ютерні методи згорткових нейронних мереж для дослідження стану кульшового суглоба дитини.....	24
1.4 Вибір програмної платформи для побудови ультразвукового засобу для оцінювання стану КСД.....	29

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДИСПЛАЗІЇ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО ОПРАЦЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ	32
2.1 Формулювання вимог до методів цифрової обробки УЗ-зображення кульшового суглоба	32
2.2 Дослідження ДКС на основі 2D ультразвукових зображень шляхом вимірювання геометрії елементів КС шляхом візуального спостереження з використанням графічного редактора побудови ліній	35
2.3 Удосконалення методу класифікації ДКС шляхом її повної автоматизації	41
2.4 Фільтрація спекл-шуму ультразвукових зображень на основі морфологічних операцій	43
2.5 Розробка математичної моделі крайового детектування КС на УЗД-зображенні	51
2.6 Математична модель виділення заданого фрагмента на ультразвуковому зображенні за його спектральними ознаками	57
2.6.1 Експериментальні дослідження визначення геометричних параметрів об'єктів на УЗД-зображенні з використанням фантому	61
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА	64
3.1 Розробка алгоритму комп'ютерної діагностики 2d ультразвукових зображень дисплазії кульшового суглоба	64
3.2 Розробка алгоритму комп'ютерної дослідження 2d ультразвукових зображень дисплазії кульшового суглоба з використанням виділення контуру «Find Straight Edge»	68

3.3 Узагальнена структура програмного забезпечення для класифікації ультразвукових зображень за типом ДКС за Графом	72
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КЛАСИФІКАЦІЇ	
УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ СТАНУ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА ТА ЙОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
4.1 Апаратно-програмний засіб класифікації ультразвукових зображень стану КС	75
4.2 Структурна деталізація та шляхи реконструкції схем ЗНМ для завдань класифікації УЗ ДКС	78
4.2.1 Тонке налаштування ЗНМ GoogLeNet для класифікації зображень ДКС	79
4.2.2 Навчання ЗНМ GoogLeNet на базі еталонів ультразвукових зображень ДКС	84
4.2.3 Тонке налаштування ЗНМ SqueezeNet для класифікації зображень ДКС	88
4.2.4 Тонке налаштування ЗНМ AlexNet для класифікації зображень ДКС	90
4.3 Експериментальні дослідження та порівняння результатів моделювання розглянутих ЗНМ, які пройшли процес навчання для класифікації ДКС	94
ЛІТЕРАТУРА	97

ВСТУП

Проблема наслідків захворювань опорно-рухового апарату посідає провідне місце в сучасній дитячій ортопедії і травматології й усе частіше привертає увагу фахівців різного профілю. Серед деформацій опорно-рухового апарату найрозповсюдженішою є дисплазія кульшового суглоба (ДКС). За статистичними даними, в Україні її виявляють у 50–100 випадках із 1000 новонароджених. Частота цієї патології, за даними різних авторів, варіює від 3 до 20 %. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що несвоєчасний, віддалений процес лікування ДКС сприяє численним її ускладненням, які починають проявлятися вже в дошкільному віці, а надалі стають причиною дегенеративно-дистрофічних змін КС і, як наслідок, інвалідизації хворого.

Клінічний скринінг для дослідження ДКС необхідний і візуалізація грає важливу роль, але раннє виявлення залишається складним завданням. Завдяки сучасним технологіям з'явилась можливість візуалізувати початкові зміни не лише в кістковій тканині, а й у м'яких тканинах, що формують кульшовий суглоб, а саме: хрящовій тканині, м'язах, зв'язках, сухожилках, нервовій тканині та судинних структурах суглоба.

На сьогодні існує два традиційних методи дослідження кульшового суглоба (КС): клінічний і рентгенологічний, який відіграє провідну роль у діагностиці. Однак променеве навантаження, пов'язане з ним, не дозволяє використовувати цей метод дослідження в дітей віком до трьох місяців. Крім того, на рентгенограмі не відображаються неосифіковані структури – частини головки стегнової кістки, даху вертлюжної западини, які складають у дітей першого року життя більшу частину цих анатомічних утворень. Наслідком цього є неможливість виявлення порушень енхондрального формування, що є інколи основним проявом ДКС. Використання ж метода штучного контрастування суглоба є досить складним і небезпечним для дитини.

Активно розвивається ультразвуковий метод дослідження КС. Ультразвукове дослідження в сучасній медицині є досить поширеним методом діагностики. УЗД організму людини забезпечує діагностику локальних аномалій і пороків розвитку, дегенеративно-дистрофічних захворювань зв'язко-суглобного апарату, первинних і вторинних пухлин, різноманітних патологій кісток, органів грудної клітини, черевної порожнини, черепа та ін. Тому ультразвукові дослідження починають активно використовувати й для виявлення ДКС.

Ультразвукова оцінка стану ДКС має перевагу в порівнянні з рентгенографічним обстеженням в тому, що вона на ряду зі зображенням кістки кульшового суглоба також відображає хрящові структури, та охоплює голов-

ку стегнової кістки хрящем вертлюжної западини. Ще одною перевагою ультразвукової діагностики є те, що її можна робити багаторазово, досліджуючи в часі процес розвитку ДКС.

На сьогодні основними методами ультразвукової оцінки стану ДКС є методи Графа, Розендаля, Харке й Моріна, Терьєсена, Дальстрьома. Але вони мають не високу достовірність діагностування, оскільки виконуються в ручному режимі.

Результат діагностування залежить від кваліфікації лікаря, оскільки під час дослідження може мати місце неправильна візуалізація анатомічних орієнтирів КС, зробленого при неправильному положенні дитини, що призводить до неможливості правильного виміру кутових показників, а також достатньо велика похибка, яка виникає при ручному визначенні кутів на зашумленому спекл-шумом ультразвуковому зображенні. Отже, джерелом помилок діагностики КС є недостатня підготовленість спеціалістів УЗД, що працюють в установах практичної охорони здоров'я, незнання і нерозуміння того, що будь-який, навіть мінімальне відхилення від конвенціональної технології дослідження веде до проєкційного спотворення зображення на сонограмі до невірної висновку. Неякісні (неконвенціональні) сонограми не мають використовуватися для діагностики. Спроби їх інтерпретувати з внесенням поправок і припущень неприпустимі.

На основі аналізу, проведеного у Київському і Харківському регіонах під час дослідження кульшових суглобів 2400 дітей виявили в 39 % випадків порушення технології виконання сонограм і в 67 % помилки в «інтерпретації».

Основним із основних шляхів підвищення достовірності досліджень КС є створення нових апаратно-програмних засобів вторинної обробки ультразвукових зображень на основі комп'ютерних технологій.

Обробкою зображень займалися такі вчені: Д. Куан, П. Перона, Дж. Малік, Й. Йу, С. Актюн, В. Фрост, Т. Кутс, Д. Канні, В. П. Кожем'яко, В. П. Боюн, М. І. Шлезінгер, Б. П. Русин, Л. І. Муравський, Р. Гонсалес, Р. Вудс, Д. Форсайт, Д. Канні, Ж. Понс, І. С. Грузман, У. Претт, С. В. Павлов, С. М. Злепко, Р. А. Воробель, Й. Й. Білінський та інші.

Беручи до уваги різноманітність діагностичних параметрів, що використовуються для встановлення діагнозу по конкретному УЗД-зображенню, існує багато специфічних задач, до кінця не розв'язаних, оскільки методи цифрової обробки не завжди задовольняють вимоги, що висуваються до діагностичних засобів для виявлення ряду. Тому підвищення достовірності оцінки стану ДКС при ультразвуковому дослідженні залишається актуальною задачею, розв'язком якої є подальше вдосконалення наявних і розробка принципово нових діагностичних методів, які безпосередньо пов'язані з обробленням ультразвукових зображень, та створення на їх основі біомедичних діагностичних засобів.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ДИСПЛАЗІЇ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ

Дисплазія кульшового суглоба – це захворювання, що характеризується недорозвиненням у процесі ембріогенезу всіх елементів, що беруть участь в утворенні суглоба: зв'язок, хрящів, кісткових поверхонь, м'язів, нервових та судинних структур. Діагностика цього захворювання є досить складною, тому у випадках пізнього виявлення та пізнього лікування ДКС у дітей розвиваються тяжкі незворотні морфологічні та функціональні зміни в ураженій кінцівці, які в подальшому призводять до вкорочення її, деформації як самого суглоба, так і хребта, порушення функцій тазових органів. Причинами розвитку дисплазії є такі чинники, як: вади ембріонального розвитку; гормональні порушення у вагітної; авітаміноз унаслідок неправильного харчування; тяжкий гестоз вагітної; інфекційні захворювання, перенесені під час вагітності; спадкова схильність; медикаментозна корекція вагітності; куріння, уживання алкоголю й наркотиків; народження дитини в тазовому передлежанні; великий або, навпаки, недоношений плід; спадкові чинники.

Розрізняють три основні наявні форми дисплазій: дисплазію кульшової западини; ацетабулярну дисплазію; дисплазію проксимального відділу стегнової кістки, сутність якої полягає в зміні кута між кульшовою западиною й головкою стегнової кістки; ротаційну дисплазію, в основі якої лежить зміна положення головки стегнової кістки щодо кульшової западини за рахунок порушення геометрії в горизонтальній площині (нога дитини під час ходьби повернена всередину, так званий клишоногий малюк) [1–2].

Через вище сказане дослідникам пропонують проводити ранню перинатальну та постнатальну діагностику в жіночих консультаціях і пологових будинках, що допоможе якнайшвидше розв'язати цю проблему.

1.1 Огляд методів дослідження стану кульшового суглоба дитини

Дослідженням ДКС займаються у всіх країнах світу, захищена велика кількість дисертаційних робіт, є велика кількість публікацій. Однією із таких публікацій є дослідження науковця О. Д. Дубогая, який дослідив, що анатомо-функціональні й трофічні порушення в КС без правильного лікування прогресують під час росту дитини й призводять до складних структурних змін у суглобі, зумовлюючи порушення функції опори та руху, при цьому змінюється положення тазу, виникає викривлення хребта та багато інших наслідків у підлітків та дорослих. Початок

лікування цієї патології до трьох місяців життя у 97 % дітей дає відмінні результати [2]. Розвиток ускладнень ДКС трапляється у 20 % випадків, досягаючи 71 % у складних випадках, навіть за умов сучасної діагностики та лікування патології. Новітні інструментальні методи діагностики ДКС не можуть надати об'єктивного уявлення про ступінь пошкодження та стан метаболічних процесів хрящових і кісткових структур КС у дітей раннього віку [3–9].

Статистика захворювання ДКС поширена практично в усіх країнах світу (2–3 %), однак мають місце суттєві етнічні особливості її розповсюдження. Наприклад, частота вродженого недорозвинення КС у новонароджених дітей у скандинавських країнах сягає 4 %, у Німеччині – 2 %, у США вона вища серед білого населення, ніж в афроамериканців, і становить 1–2 %, серед американських індіанців вивих стегна трапляється у 25–50 випадках на 1000 дітей, тоді як уроджений вивих стегна майже не трапляється в південноамериканських індіанців, а також у південних китайців [8].

У народів, що живуть у тропіках, новонароджених не сповивають, не обмежують свободи їхнього руху, носять немовлят на спині (при цьому ноги дитини в стані згинання та відведення), тому рівень захворюваності на ДКС значно нижчий, ніж у країнах, де практикують туге сповивання новонароджених. У Японії в межах національного проекту ще в 1975 році була змінена національна традиція тугого сповивання випрямлених ніжок немовлят. Результатом стало зниження рівня вродженого вивиху стегна з 1,1–3,5 до 0,2 %. Вірогідно, є зв'язок захворюваності із соціально-економічним станом суспільства. Так, в Україні (2002) вроджена дисплазія, підвивих і вивих стегна трапляються від 50 до 200 випадків на 1000 новонароджених, тобто рівень її суттєво вищий, ніж на цій же території в радянський період. Частіше цю патологію спостерігають у дівчаток (80 % виявлених випадків), при цьому випадки, пов'язані із спадковістю захворювання становлять приблизно третину. Так, дисплазія КС у 10 разів частіше трапляється в тих дітей, чії батьки мали ознаки вродженого вивиху стегна. Уроджений вивих стегна виявляють у 10 разів частіше в народжених при тазовому передлежанні. Частіше вражається лівий тазостегновий суглоб (60 %), рідше правий (20 %) або обидва (20 %) [3–9, 94, 95]. Дисплазія кульшового суглоба – це захворювання, що характеризується недорозвиненням у процесі ембріогенезу всіх елементів, що беруть участь в утворенні суглоба: зв'язок, хрящів, кісткових поверхонь, м'язів, нервових та судинних структур. Діагностика цього захворювання є досить складною, тому у випадках пізнього виявлення та пізнього лікування ДКС у дітей розвиваються тя-

жкі незворотні морфологічні та функціональні зміни в ураженій кінцівці, які в подальшому призводять до вкорочення її, деформації як самого суглоба, так і хребта, порушення функцій тазових органів. Через це багато дослідників пропонують проводити ранню пренатальну та постнатальну діагностику в жіночих консультаціях і пологових будинках, що допоможе якнайшвидше розв'язати цю проблему.

Ацетабулярна дисплазія (рис. 1.1) – це вади кульшової западини, які можна поділити на: передвивих (а) – стан суглоба, за якого кришка кульшової западини скошена, а проксимальний відділ стегнової кістки відведений від западини незначно. Таке порушення розвитку суглоба без зміщення стегна легко визначають клінічно й рентгенологічно, найчастіше спостерігають у новонароджених; підвивих (б) – стегнова кістка відходить від западини більше, ніж під час передвивиху; вивих (в) – стан суглоба, коли стегнова кістка виходить за межі кульшової западини.

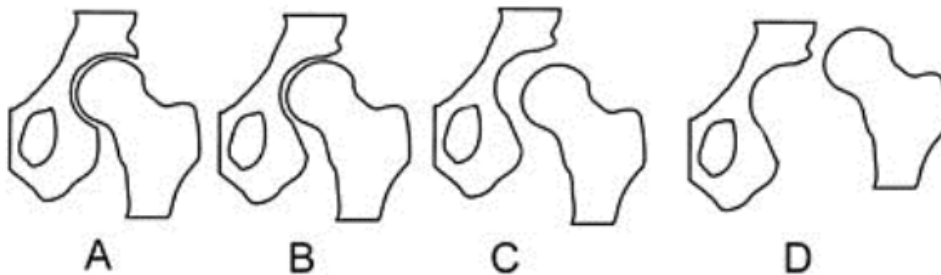


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд ацетабулярної дисплазії

Більшість ортопедів під дисплазією кульшового суглоба розглядають його вроджену неповноцінність, зумовлену недорозвиненням усіх структур і тканин, що формують кульшовий суглоб, що може призвести до підвивиху або вивиху голівки стегна. Крім безпосередньо дисплазії (порушення розвитку кульшового суглоба), у дітей можуть діагностувати уповільнення розвитку суглоба, незрілість структур, що його формують. Уповільнення розвитку суглоба – прикордонний стан, але такі діти також перебувають у зоні ризику розвитку вивиху. Під час вивиху стегна головка повністю втрачає контакт із кульшовою западиною, під час підвивиху – тільки частково, а передвивих характеризується порушенням розвитку кульшового суглоба без зміщення елементів, що його утворюють. ДКС у новонароджених може бути одностороння або двостороння. Її класифікація ґрунтується на клініко-рентгенологічних показниках [4-9]. Багатьох дослідників цікавить питання: як визначити дисплазію кульшових суглобів ще під час внутрішньоутробного розвитку плоду та в новонароджених зі стовідсотковою достовірністю.

1.1.1 Рентгенологічний метод дослідження стану кульшового суглоба

На сьогодні існує два традиційні методи дослідження КС – це клінічний і традиційний рентгенологічний. Рентгенограма в прямій проекції, зважаючи на її простоту та доступність був основним інструментом діагностики цього захворювання.

На рис. 1.2 показані приклади дослідження дисплазії кульшового суглоба на рентгенівському зображенні (схема Хільгенрайнера).

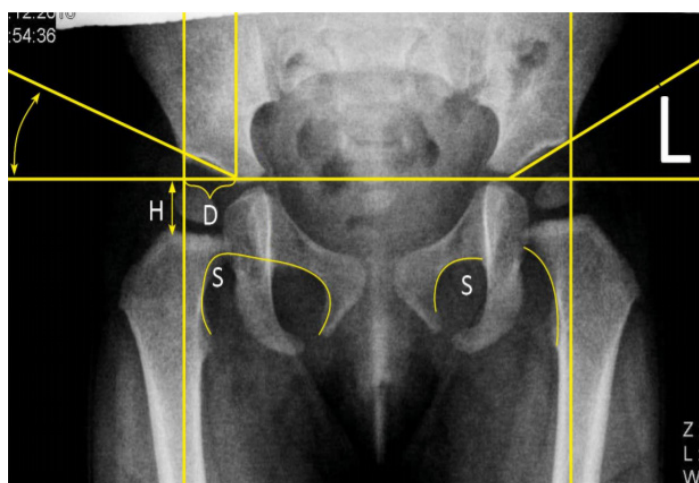


Рисунок 1.2 – Приклади дослідження дисплазії кульшового суглоба на рентгенівському зображенні

За думкою різних авторів, рентгенологічне дослідження КС стає інформативним не раніше 3–5 місяців життя. Під час рентгенологічної діагностики порушень співвідношень стану КС широко використовують схему Хільгенрейнера. Також використовують модифіковану схему Тонніс, яка дозволяє визначити рентгенологічний тип КС за відсутності ядра окостеніння епіфіза голівки стегна.

Основними помилками під час виконання рентгенологічного дослідження є перекошування таза та зовнішня ротація ніг, тому перед виконанням знімка потрібно дотримуватися таких умов: симетричне укладання новонародженого, мінімальний час виконання процедури, використання захисних прокладок.

Під час виконання рентгенограми обов'язкова участь помічників або батьків, які допоможуть фіксувати немовля в потрібній позі. Дисплазія кульшового суглоба має характерні рентгенологічні ознаки: скошеність даху кульшової западини; відходження голівки стегнової кістки від центральної вісі; невідповідність розмірів суглобової западини розмірам голівки; зміщення стегна назовні від вертикальної лінії.

Хоча рентгенологічна діагностика підвывихів і вивихів стегна порівняно проста, провести грань між нормою і патологією у випадках простої форми ДКС буває вкрай важко. Цим пояснюється велика кількість рентгенологічних симптомів, схем і цифрових показників, запропонованих різними авторами для діагностики ДКС.

Рентгенографія КС нині відходить на другий план, оскільки може застосовуватися тільки після трьох місяців, тобто не є ранньою діагностикою в сучасному розумінні.

Є різновиди рентгенологічного дослідження. До них відноситься артрографія та артроскопія.

Артрографія – рентгенологічне дослідження суглоба після введення в його порожнину контрастної речовини та/або повітря. Одночасне введення контрастної речовини й повітря (подвійне контрастування) дозволяє візуалізувати контури м'якотканинних структур і суглобової поверхні. Виконують кілька знімків суглоба залежно від обсягу рухів у ньому. Артрографія дозволяє дослідити рентгенонегативні елементи: стан зв'язкового апарату, капсули суглоба. За допомогою цього методу може бути встановлена навіть дисплазія кульшового суглоба 1 ступеня. На артрограмі можливо визначити положення голівки і її форму, фіброз капсули, зрощення кульшової западини. Процедуру виконують під загальним наркозом [13, 34]. Тонкою голкою проколюють шкірний покрив, підшкірно-жирову клітковину, капсулу, проникають у порожнину кульшового суглоба. Уводять контрастну іоновмісну речовину або інертний газ. Потім виконують рентгенівські знімки.

Артрографія (рис. 1.3) рекомендована при постійному болі або порушенні функції суглоба неясної етіології.

До ускладнень методу належать стійка крепітація в суглобі й розвиток алергічної реакції на введення контрастної речовини. Альтернативою артрографії є МРТ суглоба [2].

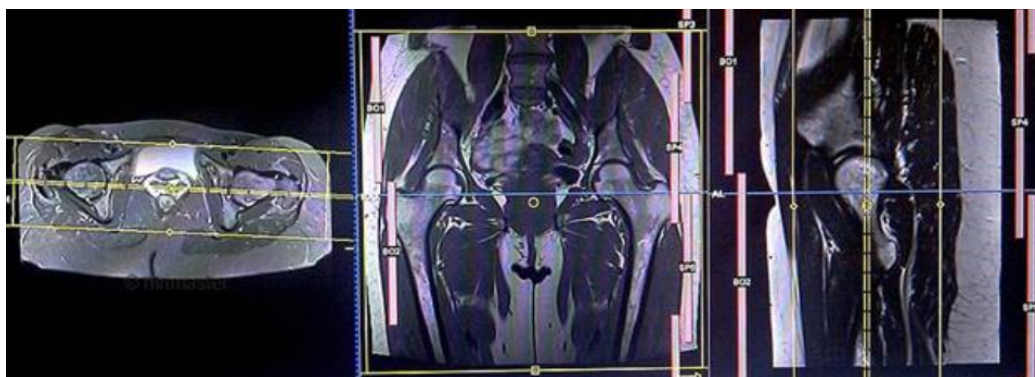


Рисунок 1.3 – Артрографія

Артроскопія. У порожнину суглоба вводять провідник із камерою, на екран телевізора виводять зображення всіх елементів: кісткових поверхонь, зв'язок, хрящів. Артроскопія (рис. 1.4) – мініінвазивна хірургічна маніпуляція, яку проводять із діагностичною та лікувальною метою під час захворювання суглобів.

Виконують цю маніпуляцію артроскопом. За допомогою артроскопії проводять мініінвазивні оперативні втручання у суглоби. Використовують цей метод під час таких патологій: пошкодження мениска; шов мениска; пошкодження зв'язок колінного суглоба; запальні захворювання синовіальної оболонки; звичний вивих і дисплазія надколінка; ревматоїдний артрит; пошкодження й захворювання суглобового хряща; асептичний некроз відростків стегнової кістки; пошкодження й захворювання жирового тіла; хронічна гіперплазія жирового тіла (хвороба Хоффа); деформувальний артроз колінного суглоба; незрозуміла клініка під час пошкодження або захворювання суглоба, яка не може достатньою мірою бути уточнена за допомогою клінічних і рентгенологічних методів дослідження; незрозумілі скарги після раніше виконаних оперативних втручань.



Рисунок 1.4 – Артроскопія

Недоліками рентгенологічного дослідження є променеве навантаження пов'язане з ним, не дозволяє використовувати цей метод дослідження в дітей віком до трьох місяців. Крім того, на рентгенограмі не відображаються неосифіковані структури – частини головки стегнової кістки, даху вертлюгової западини, які складають у дітей першого року життя більшу частину цих анатомічних утворень. Наслідком цього є неможливість виявлення порушень енхондрального формування, що є інколи основним проявом ДКС. Використання метода штучного контрастування суглоба є досить складним і небезпечним для дитини.

1.1.2 Ультразвуковий метод дослідження стану кульшового суглоба

Ультразвукове обстеження кульшових суглобів це високоінформативний, стандартизований метод діагностики, який застосовується в країнах з розвинутою системою охорони здоров'я вже понад 25 років, і зарекомендував себе як перевірений метод, який нічим не поступається класичному рентгенівському обстеженню. В цих країнах ультразвук кульшових суглобів вже давно повністю замінив рентген.

У 1977 році Р. Граф успішно використав для цієї мети ультразвук, за допомогою якого можна отримувати відображення як кісткових, так і хрящових структур суглоба [9, 71].

На відміну від інших методів візуального діагностування, зокрема рентгенографічного обстеження, комп'ютерної томографії та магнітно-резонансної томографії, УЗД по своєму опромінюючому впливу менш шкідливе для організму людини, тому може використовуватись багаторазово, наприклад для спостереження за динамікою розвитку захворювань та оцінювання результатів лікування. Завдяки цій перевазі, а також доступній вартості апаратури, УЗД набуло широкого поширення в медичних закладах у всьому світі [1–8].

На рис. 1.5 показано приклад дослідження дисплазії кульшового суглоба на УЗД-зображенні.

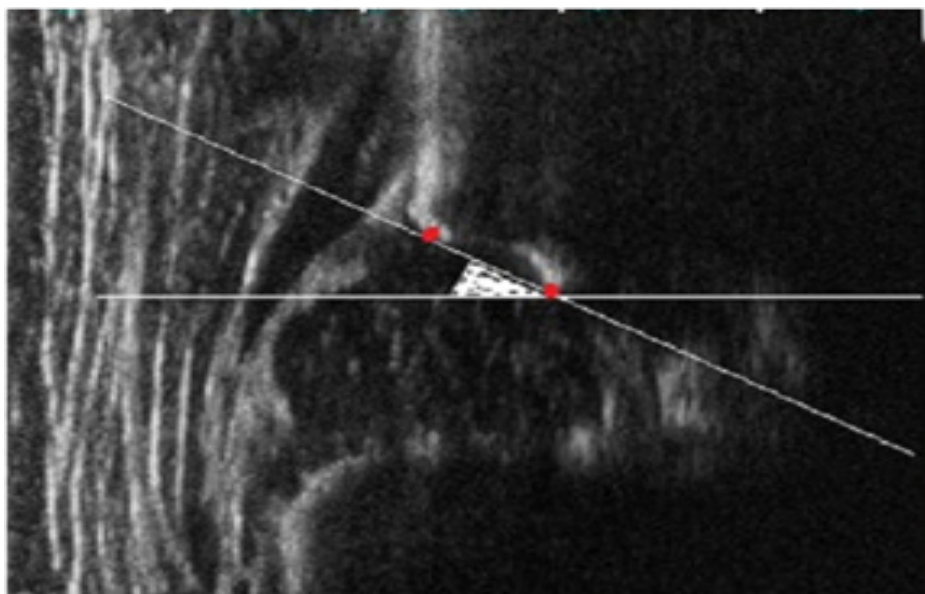


Рисунок 1.5 – Приклади дослідження дисплазії кульшового суглоба на УЗД-зображенні

Однак автором [8] було представлено дослідження тазостегнового суглоба, спрямоване на виявлення порушень анатомічних співвідношень, без вказівки на методiku та критерії оцінки ступеню відповідності нормі будови хрящових компонентів суглоба. Крім того, Р. Граф використовує для діагностики вродженого вивиху стегна сонографічну картину, отриману лише в одній проекції. Тим часом за сучасними уявленнями, анатомічний симптомокомплекс ДКС вродженого вивиху стегна не вичерпується порушенням просторових співвідношень у суглобі, він містить ще один компонент – порушення енхондрального формування. Нехтування останнім є причиною виникнення так званих «пізніх» вивихів. Ультразвукова діагностика заснована на принципі ехолокації, тобто опроміненні зондувального імпульсу ультразвуку та прийомі сигналів, відбитих від поверхні розділу тканинних середовищ, що мають різні акустичні властивості. Сигнали, що відбиваються від акустично неоднорідних структур, перетворюються на екрані телевізійного дисплея, формуючи просторове двомірне зображення. В ортопедії використовують ультразвукове випромінювання, яке дорівнює пороговій інтенсивності, тобто такій, яка не призводить до проникності клітинних мембран. При цьому в клітинах не запускаються регуляторно-репаративні процеси, спрямовані на ліквідацію наслідків, зумовлених цими змінами. За даними багатьох дослідників, цей поріг збігається з порогом кавітації, тобто з такими параметрами ультразвуку, які не перевищують температури біологічного середовища до катастрофічних для біологічних об'єктів значень [14, 64–66].

Ультразвукове сканування посіло головне місце серед інших методів візуалізації як ДКС, так і інших ортопедичних хвороб. У деяких випадках воно навіть може бути альтернативою магнітно-резонансній томографії. Перевагами цього методу є простота проведення процедури, доступність, висока інформативність методу, що дозволяє ретельно дослідити не лише кісткові структури, а й м'які тканинні елементи кульшового суглоба, можливість багаторазового використання з метою контролю лікування, відсутність променевого навантаження порівняно з рентгенографією, також УЗД є неінвазивним методом, безпечним для дитини. За допомогою ультрасонографічного дослідження можливо виявити вроджений вивих стегна на ранніх стадіях. УЗД виконують за такими показаннями: наявність клінічних проявів ДКС; важкий перебіг вагітності й пологів; зниження м'язового тонусу нижніх кінцівок.

Окрім указаних наявних переваг, ультразвукове дослідження дозволяє виконувати функціональні проби в режимі реального часу, що дає можливість оцінити наявність і ступінь зміщення головки стегна відносно вертлюгової западини, розташування і стан лімба та капсули суглоба, а також проводити динамічне спостереження в ході лікування. Найоптимальніший термін для проведення скринінгового дослідження 1–1,5 місяців. У цьому віці всі елементи суглоба розвиваються дуже швидко, і патологічні зміни, що виявляють у суглобі в цей період, найкраще піддаються ортопедичній корекції [12–17, 93–95].

Сонографія за методом Р. Графа є точним методом діагностики лише за умови суворого дотримання автором техніки дослідження та оцінки результатів. Розповсюдженими помилками на етапі діагностики були некоректне укладання та положення датчика, як наслідок – не правильна візуалізація анатомічних орієнтирів, що призводить до неможливості правильного виміру кутових показників КС (помилки вимірювання кутів α і β).

Отже, численні дослідники у нас в країні та за кордоном вважають УЗД КС «золотим стандартом» ранньої діагностики. При цьому дослідження вимагає неухильного дотримання усіх деталей методики. На жаль, ця вимога не завжди дотримується. Звідси і можливі помилки.

1.2 Аналіз методів ультразвукової діагностики ДКС та визначення найбільш прийнятних із них для комп'ютерного прогнозування захворювання

Традиційно як було сказано вище (підрозділ 1.1) лікарі ставили діагнози на підставі результатів рентгенографічного обстеження двовимірних (2D) зображень, які можуть давати багато неточної інформації через неповну картину і спотворене уявлення анатомічних даних [23–25]. Рентгенограми, звичайно, корисні при оцінці підвивиху або вивиху стегон. Проте точні свідчення і обмеження рентгенографічного дослідження КС новонародженої дитини до кінця не з'ясовані. Невизначеності виникають при інтерпретації рентгенограм незрілого таза, незалежно від передбачуваного положення стегна. Положення стегон може бути важливою причиною симульованої аномалії. Невірне тлумачення виникає тому, що єдині структури, які зображені на рентгенограмах, це окостенілі ділянки таза. Тому є необхідність екстраполювати зображення хрящових структур.

Зараз клінічні та рентгенологічні дослідження доповнюють один одного. У контексті цієї задачі ультразвук має очевидний потенціал для дослідження КС. Він не вимагає опромінення і чітко відображає хрящові структури, які так погано окреслені при рентгенографії. Ультразвук в реальному часі набагато простіше в керуванні, а ультразвуковий сканер є портативний й ультразвукове зображення змінюється досить швидко, що дає змогу побачити динаміку руху КС. Окрім цього деякі ультразвукові методи визначення стану кульшового суглоба можуть бути використані для повної або часткової автоматизації шляхом комп'ютерної обробки зображень.

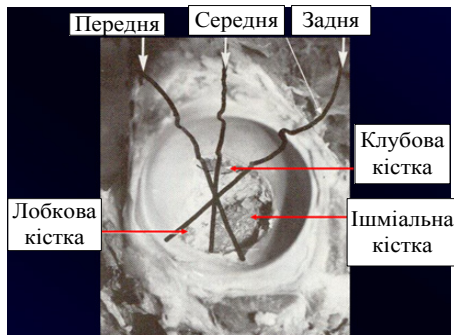
Для комп'ютерного аналізу найбільш прийнятні є ультразвукові методи, які використовують вимірювання геометрії елементів кульшового суглоба, тобто це методи Графа з модифікацією методом Розендаля, методи Харке–Моріна, Терьесена, Дальстрьома.

1.2.1 Метод діагностики та класифікації (ДКС) за Графом

Граф (1980) [34] першим використовував блок ультразвукового сканування з фіксованим плечем для отримання сонографічних зображень дитячих суглобів. Його техніка була досить складною через обладнання, яке він використовував і потрібні були значні знання і час, щоб отримати задовільні результати обстеження. Метод Графа є найбільш часто згадуваним методом ультразвукового дослідження стегна у дитини і широко використовується в різних країнах, здебільшого в Європі [27]. Це стандартизована методика оцінки морфології вертлюжної западини. Дитина фіксується в бічному положенні лежачи, стегна злегка зігнуті, нейтральна абдукція. Бічний огляд вертлюжної западини отримують в стандартній площині через середину вертлюжної западини з використанням лінійного сенсора УЗД.

Система діагностики й класифікації ДКС заснована на суб'єктивній оцінці кісткового трикутника вертлюжної западини і даху хряща, а також на вимірах кута даху вертлюжного хряща (β -кута) і кута нахилу вертлюжної западини (α -кута), рис. 1.6а–е. На цих підставах стегна поділяються на чотири основні типи та дев'ять підтипів, які диктують подальші кроки діагностики за цим методом [28].

Недоліком цього методу є неповна картина діагностики, яка не використовує діагностику немовляти з стрес-тестом зі зміненим маневром Барлоу. Ще важливим недоліком цього та розглянутих в подальшому методів є суб'єктивна оцінка правильного положення суглоба дитини, що призводить до невірного результату.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 1.6а–е) – Система діагностики і класифікації ДКС, заснована на суб'єктивній оцінці кісткового трикутника вертлюжної западини і даху хряща, а також на вимірах кута даху вертлюжного хряща (β-кута) та кута нахилу вертлюжної западини (α-кута)

1.2.2 Метод діагностики та класифікації ДКС за Розендалем (Rosendahl)

У 1992 році Розендаль та його колеги [28] доповнили метод Графа тестом на стабільність, використовуючи бічний підхід з лінійним зондом

в стандартному бічному положенні пролежня. Стрес-тест зі зміненим маневром Барлоу виконувався однією рукою, а зондом маніпулювали іншою. Отже, було виявлено високу кореляцію між дисплазією КС і нестійкістю стегна. У відкритій популяції (вибірці) дітей 2,3 % стегон мали легку дисплазію, з яких 62 % були вивихнуті, 1,2 % мали важку дисплазію стегна, з загальної вибірки, яка була отримана при діагностиці за методом Графа [9, 71]. Класифікація, запропонована Графом, заснована на корональній проекції стегна в стандартній площині відповідно до пояснень, описаних нижче на рис. 1.7а, б. Лінія *a*, базова лінія, проводиться паралельно межі бічної клубової поверхні. Лінія *b*, лінія кісткового даху, проводиться по дотичній до кісткової вертлюжної западини. Лінія *c*, лінія нахилу, проходить від кісткового краю через центр верхньої губи. Кут α між лініями *a* і *b* визначає нахил вертлюжної западини. Кут β між лініями *a* і *c* визначає нахил верхньої губи. Нормальні значення кута α – вище 60° . Нормальні значення кута β показують велику варіацію, з типовим значенням 65° або менше.

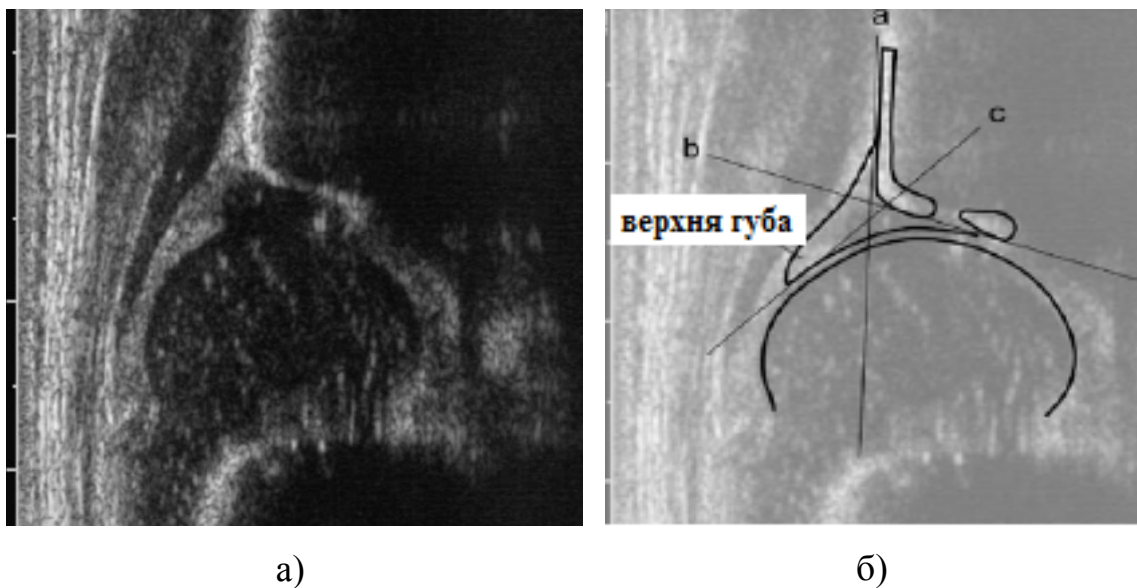


Рисунок 1.7а–б) – Графічна класифікація ДКС, що запропонована Графом

На рис.1.8а–г) показано морфологія стегна за методом Графа з модифікацією методом Розендаля.

Як *недолік* можна відзначити те, що правильний діагноз може поставити тільки досвідчений лікар, оскільки визначення реперних точок для оцінювання необхідних кутів для встановлення діагнозу виконується вручну й не завжди з високою точністю.

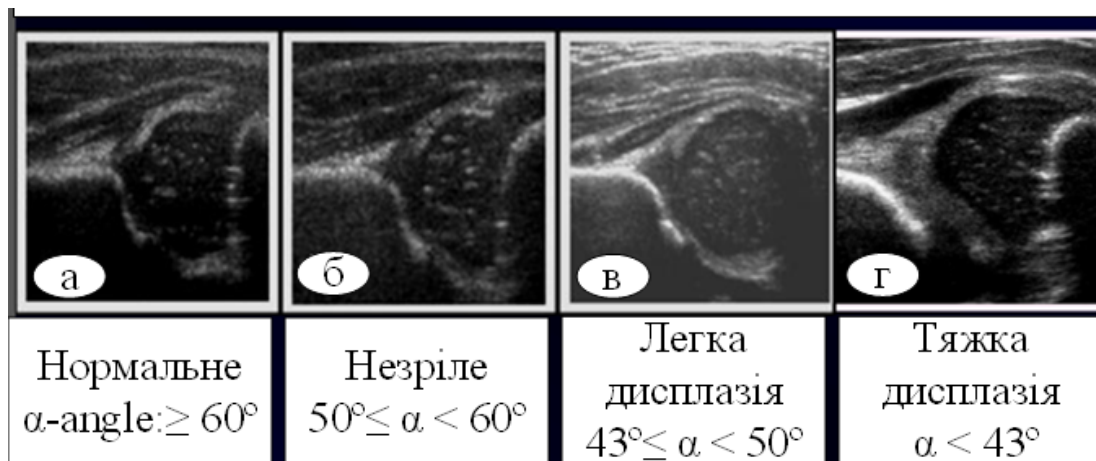


Рисунок 1.8а–г) – Морфологія стегна за методом Графа з модифікацією методом Розендаля

1.2.3 Метод діагностики та класифікації ДКС за Харке і Моріна

Харке і його колеги представили комбінований метод статичного і динамічного ультразвуку, заснований на бічному підході з дитиною в положенні лежачи [34]. Цей метод динамічного обстеження включав в себе поперечний і корональний огляд з КС в нейтральному положенні і в згинанні ніжок дитини, без і з навантажувальним тестом Барлоу, (динамічний метод чотирьох кроків). Метод фокусувався на положенні головки стегнової кістки в спокої і під час стрес-тестування, а також враховував конфігурацію кісткової і хрящової частин вертлюжної западини. При огляді лівого стегна лікар використовував праву руку для маніпулювання стегном і навпаки. Метод включав суб'єктивну оцінку кульшового суглоба і не включав вимірювання. Однак варіант початкового методу Харке з вимірами був описаний Моріном (Morin et al [32]). Для вимірювання був обраний вид згинання корони, що складає максимальний діаметр головки стегнової кістки. Використовувалася базова лінія, проведена на межі бічної клубової поверхні (підвздошна лінія), яка відповідала базовій лінії Графа. Таким чином проводились дві лінії, паралельні базовій лінії, тангенціальна до медіальної і бічної межі головки стегнової кістки. Відсоткове відношення розмірів головки стегнової кістки було виміряно на основі цих трьох ліній відношення d/D (рис. 1.9).

Встановлено, що відношення d/D корелювало краще, ніж кут α (за методом Графа) з вертлюжним індексом (виміряним за допомогою звичайної рентгенографії).

ЛІТЕРАТУРА

[1] ACR guidelines, American College of Radiology: ACR-AIUM practice guideline for the performance of the ultrasound examination for detection and assessment of developmental dysplasia of the hip. 2012.

[2] Й. Й. Білинський, О. І. Урван, та А. Б. Гуральник, «Сучасні методи перинатальної діагностики дисплазії кульшового суглоба: світові тенденції», *Наукові праці Вінницького політехнічного інституту* № 4, с. 1–10, 2019. Режим доступу:

<https://doi.org/10.31649/2307-5376-2019-4-1-10>.

[3] Overhoff H., et al., Computer-based determination of the newborn's femoral head coverage using three-dimensional ultrasound scans, in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI'98*, W. Wells, A. Colchester, and S. Delp, Editors. 1998, Springer Berlin Heidelberg. p. 1024–1031.

[4] R de Luis-García, C Alberola-Lopez, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS). Hip joint segmentation from 2D ultrasound data based on dynamic shape priors. *Proceedings of the 4th WSEAS international conference on Electronics, control and signal processing 2005*.

[5] Rathi Yogesh. Particle Filtering with Dynamic Shape Priors. Georgia Institute of Technology. Atlanta, GA. Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/Particle_Filtering_with_Dynamic.

[6] Garcia Luis. Parametric 3D hip joint segmentation for the diagnosis of developmental dysplasia. in *Engineering in Medicine and Biology Society. EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE*. 2006.

[7] Garcia Luis. Analysis of ultrasound images based on local statistics. Application to the diagnosis of developmental dysplasia of the hip, in *2007 IEEE Ultrasonics Symposium*. 2007, P. 2531–2534.

[8] H. Y. Chen, Application of segmentation and measurement in the treatment of developmental dysplasia of the hip. *Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2007. The 1st International Conference on*. 2007.

[9] R. Graf, Hip sonography-how reliable? Sector scanning versus linear scanning? Dynamic versus static examination Clin Orthop Relat Res., № 281, 1992, P. 18–21.

[10] А. Б. Гуральник, «Методи виділення контурів зображень» на XLIII Науково-техн. конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних підприємств. Вінниця, 2014.

[11] А. Б. Гуральник, «Засоби виділення контурів рентгенівських зображень» на XLIV Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних підприємств. Вінниця, 2015. Режим доступу:

<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inrtzp/el.php>.

[12] Й. Й. Білинський, та А. Б. Гуральник, «Класифікація методів обробки медико-біологічних зображень» на XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». Одеса–Хмельницький, 2015, с. 15–16.

[13] Й. Й. Білинський, та А. Б. Гуральник, «Обробка медико-біологічних зображень» на науково-технічній конференції «Фізика, електроніка, електротехніка». Суми, 2016, с. 100–105.

[14] Robben Simon, Developmental Dysplasia of the Hip – Ultrasound. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<http://www.radiologyassistant.nl/developmental-dysplasia-of-the-hip-ultrasound.html>.

[15] А. Б. Гуральник, «Методи виділення контурів зображень» на XLIII Науково-техн. конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних підприємств. Вінниця, 2014. Режим доступу:

<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2014/inrtzp/txt/Guralnyk.pdf>.

[16] IMAQ Vision for Visual Basic. User manual. National Instruments Corporation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371257a>.

[17] О. О. Марченко, Т. В. Россада, Актуальні проблеми Data Mining : навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. Київ, 2017, 150 с.

[18] С. Рассел, Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд. : Пер с англ. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2016, 1408 с.

[19] A Flexible and Efficient Library for Deep Learning. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mxnet.apache.org/versions/1.9.0/>

[20] B. R. Reddy, Y. Vijay Kumar and M. Prabhakar, «Clustering large amountsof healthcare datasets using fuzzy c-means algorithm», *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India, 2019, pp. 93–97.

[21] Z. Xue, X. Lu, Q. Guo, L. Zhang, S. Zhang and C. Huang, «A Wind Turbin Classification Method Using Fuzzy C-meansAlgorithm Based on Self-Adjusting Chaotic Particle Swarm Optimization,» *2018 IEEE 8th Annual Internation Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, Tianjin, China, 2018, pp. 1557–1562.

[22] X. Li, Y. Kang, Y. Zhu, G. Zheng and J. Wang, «An improved medical image segmentation algorithm based on clustering techniques», *2017 10th Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, Shanghai, 2017, pp. 1–5.

[23] M. Fayez, S. Safwat and E. Hassanein, «Comparative study of clustering medical images», *2016 SAI Computing Conference (SAI)*, London, 2016, pp. 312–318.

[24] T. I. Singh, R. Laishram and S. Roy, «Image segmentation using spatial fuzzy C means clustering and grey wolf optimizer,»*International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, Chennai, 2016, pp. 1–5.

[25] В. К. Леонтьев, О мерах сходства и расстояниях между объектами, Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2009, том 49, № 11, 2041–2058 <http://www.mathnet.ru/links/52a9e91d17f90b4bfb9a6552d7b669ff/zvmmf4788.pdf>.

[26] Vladimir G. Krasilenko, «Recognition algorithms of multilevel images of multicharacter identification objects based on nonlinear equivalent metrics and analysis of experimental data» Vladimir G. Krasilenko,

Alexander I. Nikolsky, Yuriy A. Bozniak Author Affiliations + Proceedings Volume 4731, Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications VI, (2002). Режим доступу: <https://doi.org/10.1117/12.458380>

[27] Krasilenko Vladimir G. «Optical pattern recognition algorithms on neural logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations.» Vladimir G. Krasilenko, Alexander I. Nikolsky, Alexandr V. Zaitsev, Victor M. Voloshin, Proceedings Volume 4387, Optical Pattern Recognition XII; 2001 <https://doi.org/10.1117/12.421146>

[28] Ba J., Mnih V., Kavukcuoglu K. Multiple Object Recognition with Visual Attention *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)* (San Diego, USA, May 7–9, 2015), 2015. P. 1–10.

[29] Chollet. F., et al. Keras. 2015. URL: <https://github.com/fchollet/keras> (дата обращения: 02.07.2017).

[30] PaddlePaddle: PArallel Distributed Deep LEarning. URL: <http://www.paddlepaddle.org/>.

[31] Chen T., Li M., Li Y. MXNet: A Flexible and Efficient Machine Learning Library for Heterogeneous Distributed Systems. URL: <https://arxiv.org/abs/1512.01274>.

[32] Intel Nervana Reference Deep Learning Framework Committed to Best Performance on all Hardware. URL: <https://www.intelnervana.com/neon/>.

[33] Й. Й. Білінський, та А. Б. Гуральник, «Використання середовища MATLAB для попередньої обробки рентгенівських зображень» на XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Одеса–Хмельницький, 2015, 264 С.

[34] Й. Й. Білінський, О. І. Нікольський, та А. Б. Гуральник, В. В. Погорілий, «Огляд методів ультразвукової діагностики дисплазії кульшового суглоба та визначення найбільш прийнятних із них для комп'ютерного прогнозування захворювання», *Медична інформатика та інженерія*, № 3, с. 49–58, 2019.

[35] Jia Y., Shelhamer E., Donahue J., et al. Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding *Proceedings of the 22nd ACM*

International Conference on Multimedia (Orlando, FL, USA, November 03–07, 2014), 2014. P. 675–678. DOI: 10.1145/2647868.2654889.

[36] Kruchinin D., Dolotov E., Korniyakov K. et al. Comparison of Deep Learning Libraries on the Problem of Handwritten Digit Classification. *Analysis of Images, Social Networks and Texts. Communications in Computer and Information Science*. 2015. Vol. 542. pp. 399–411. DOI: 10.1007/978-3-319-26123-2_38.

[37] Bahrampour S., Ramakrishnan N., Schott L., et al. Comparative Study of Deep Learning Software Frameworks. Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1511.06435>.

[38] Bergstra J., Breuleux O., Bastien F., et al. Theano: a CPU and GPU Math.

[39] Martín Abadi, et al., TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. *Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '16)* (Savannah, GA, USA, November, 2–4, 2016), 2016. P. 265–283.

[40] Collobert R., Kavukcuoglu K., Farabet C. Torch7: a Matlab-like Environment for Machine Learning. *BigLearn, NIPS Workshop* (Granada, Spain, December 12–17, 2011).

[41] Seide F., Agarwal A. CNTK: Microsoft's Open-Source Deep-Learning Toolkit. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16)* (San Francisco, California, USA, August 13–17, 2016), 2016. P. 2135–2135. DOI: 10.1145/2939672.2945397.

[42] Viebke A., Pllana S. The Potential of the Intel(r) Xeon Phi for Supervised Deep Learning. *17th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC)* New York, USA, August 24–26, 2015. P. 758–765. DOI: 10.1109/hpcc-css-icess.2015.45.

[43] Chollet. F., et al. Keras. 2015. URL: <https://github.com/fchollet/keras>.

[44] PaddlePaddle: PArallel Distributed Deep LEarning. URL: <http://www.paddlepaddle.org/>.

[45] Guralnyk A., Bilynsky Y. Filtering methods in speckle noise reduction in ultrasound images, *Proc. SPIE 10808 Phhotonics Applications in Astronomy*. Poznan, 2019, P. 75–88.

[46] Chen T., Li M., Li Y. MXNet: A Flexible and Efficient Machine Learning *Library for Heterogeneous Distributed Systems*. URL: <https://arxiv.org/abs/1512.01274>.

[47] Intel Nervana Reference Deep Learning Framework Committed to Best Performance on allHardware. URL: <https://www.intelnervana.com/neon/>.

[48] Shi Sh., Wang Q., Xu P. Benchmarking State-of-the-Art Deep Learning Software Tools. URL: <https://arxiv.org/abs/1608.07249>.

[49] Й. Й. Білінський, О. І. Нікольський, та А. Б. Гуральник, «Фільтрація ультразвукових зображень на основі морфологічних операцій», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 71–79, 2019. (Index Copernicus).

[50] Mathworks. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/ebook/gated/80879v00_Deep_Learning_ebook.pdf.

[51] Hubel H. D. and Wiesel T. N. «Receptive Fields of Single neurones in the Cat's Striate Cortex». *Journal of Physiology*. Vol 148, pp. 574–591, 1959.

[52] Murphy K. P. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2012.

[53] Комплексная платформа машинного обучения с открытым исходным кодом. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.tensorflow.org/>

[54] From Research to Production. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pytorch.org/>

[55] Й. Й. Білінський, І. В. Сухоцька, та А. Б. Гуральник, «Розробка засобу контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми», *Технологический аудит и резервы производства*, № 5(1), с. 51–55, 2015. (Index Copernicus).

[56] NEON Programmer's Guide. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://developer.arm.com/documentation/den0018/a/Compiling-NEON-Instructions/NEON-libraries>

[57] Krizhevsky Alex, Sutskever Ilya, Hinton Geoffrey E. (2017-05-24). «ImageNet classification with deep convolutional neural networks» (PDF). *Communications*. 60 (6): 84–90. doi:10.1145/3065386. ISSN 0001-0782.

[58] Е. В. Волченко, Построение обучающей выборки w-объектов на основе коллективного решения группы экспертов. «Штучний інтелект». 2011, №1, С. 147–153.

[59] А. В. Лапко, Непараметрические модели распознавания образов в условиях малых выборок. *Автометрия*. 1999, № 6, С. 105–113.

[60] В. И. Ширяев, Использование адаптивных методов распознавания образов в задачах принятия решений. *Искусственный интеллект*. 2002, № 4, С. 526–533.

[61] Applications: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.geforce.com/hardware/technology/cuda/applications>.

[62] Cuda-toolkit: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>.

[63] Архитектура и программирование потоковых многоядерных процессоров для научных расчётов: [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.nvidia.ru/content/EMEA/CUDA/lecture_documents/Lecture_11.pdf

[64] American College of Radiology: ACR-AIUM practice guideline for the performance of the ultrasound examination for detection and assessment of developmental dysplasia of the hip. ACR guidelines, 2012.

[65] Overhoff H., et al., Computer-based determination of the newborn's femoral head coverage using three-dimensional ultrasound scans, in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI'98*, W. Wells, A. Colchester, and S. Delp, Editors. 1998, Springer Berlin Heidelberg. p. 1024–1031.

[66] García Luis R. Hip joint segmentation from 2D ultrasound data based on dynamic shape priors. *Proceedings of the 4th WSEAS international*

conference on Electronics, control and signal processing. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2005.

[67] Rathi Yogesh, Particle Filtering with Dynamic Shape Priors. Georgia Institute of Technology. Atlanta. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/27543613_Particle_Filtering_with_Dynamic_Shape_Priors.

[68] Luis Garcia, Parametric 3D hip joint segmentation for the diagnosis of developmental dysplasia. in Engineering in Medicine and Biology Society.

[69] Luis Garcia, Analysis of ultrasound images based on local statistics. Application to the diagnosis of developmental dysplasia of the hip, in 2007 IEEE Ultrasonics Symposium. 2007, P. 2531–2534.

[70] Марочко, Н.В. Ультразвуковое исследование тазобедренных суставов у детей первого года жизни: учеб. пособие для системы послевуз. проф. образования врачей / Н.В. Марочко; ГОУДПО «Ин-т повышения квалификации специалистов здравоохранения» М-ва здравоохранения Хабаров. края, Каф. лучевой и функцион. диагностики. – Хабаровск: Изд. центр ИПКСЗ, 2008. – 49 с.

[71] R. Graf, Hip sonography how reliable Sector scanning versus linear scanning? Dynamic versus static examination Clin Orthop Relat Res. №281, 1992, P. 18–21.

[72] Й. Й. Білінський, О. І. Нікольський, та А. Б. Гуральник, «Комп'ютерний аналіз 2d ультразвукових зображень кульшового суглоба та вимірювання його геометрії», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 46, с. 4–14, 2019.

[73] Robben Simon, Developmental Dysplasia of the Hip – Ultrasound / Simon Robben and Robin Smithuis. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.radiologyassistant.nl/en/p54ba2c50995c5/developmental-dysplasia-of-the-hip-ultrasound.html>.

[74] National Instruments Corporation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ni.com/vision/software/vdm>.

[75] IMAQ Vision for Visual Basic. Use rmanual. *National Instruments Corporation*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371257a>.

[76] F. W. Kremkau, Doppler ultrasound: principles and instruments Philadelphia: W. B. Saunders Co, 1995, 373 p. ISBN: 978-0721648699.

[77] Perona P. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion *IEEE Trans. Pattern Anal. Machin Intell*, 1990, vol. 12, P. 629–639. ISSN 0162-8828.

[78] Y. J. Yu, Speckle reducing anisotropic diffusion *IEEE Trans. Imag. Process*, 2002, vol. 11, № 11, P. 1260–1270. ISSN: 1057-7149.

[79] K. Z. Abd-Elmonium, Real time speckle reduction and coherence enhancement in ultrasound imaging via nonlinear anisotropic diffusion *IEEE Trans. Biomed. Engg*, 2002, vol. 49, № 9, P. 997–1014. ISSN: 0018-9294.

[80] С. В. Муравьева, Контрастная чувствительность зрительной системы человека. *Экспериментальная психология*, 2010, том 3, № 3, С. 5–20. ISSN: 2072-7593.

[81] М. И. Трифонов, Исследование частотно-контрастной характеристики зрительной системы в условиях помех. *Физиология человека*, 1990, Т. 16, № 2, С. 41–45. ISSN: 0131-1646.

[82] А. О. Мельничук, Математична модель примежової кривої зображення об'єкта. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Інформаційні системи і моделювання*. Випуск 4/2008 (51), Ч. 2, С. 149–152. ISSN: 1995-0519.

[83] Weiss K., Khoshgoftaar T.M., Wang D. A Survey of Transfer Learning // *Journal of Big Data*. 2016. Vol. 3, No. 1. P. 1–9. DOI: 10.1186/s40537-016-0043-6.

[84] В. А. Сойфер, Методы компьютерной обработки изображений. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003, 784 с. ISBN 5-7883-0109-2.

[85] Wang Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. Bovik, E. Simonce *IEEE Transaction Image processing*, 2004, vol. 13, № 4, P. 521–31. ISSN 1057-7149.

[86] R. F. Wagoner, S. W. Smith, and J. M. Sandrik, «Statistics of speckle in ultrasound B-scan», *IEEE Trans. Sonics Ultrason*, vol. 30(3), pp. 156–163, 1983.

[87] Bushberg J. T., et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, (2 e). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006, p. 280. ISBN 0- 683-30118-7.

[88] National Instruments Corporation: [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<http://www.ni.com/vision/software/vdm/>.

[89] Й. Й. Білинський, А. О. Мельничук, О. А. Ярмач, Ю. І. Павлишен, «Оцінка точності визначення оператором діагностичних параметрів на узд-зображенні органів черевної порожнини», Вісник Хмельницького національного університету, №4, с. 236–239, 2011.

[90] Й. Й. Білинський, О. І. Нікольський, та А. Б. Гуральник, «Алгоритм комп'ютерної діагностики 2d ультразвукових зображень дисплазії кульшового суглоба» на I Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПРН-2019, Вінниця, 2019, с. 150–153.

[91] Й. Й. Білинський, та А. Б. Гуральник, «Розробка програмного забезпечення для діагностування дисплазії кульшового суглоба» на XIII міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)». Вінниця, 2016. Режим доступу: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/13050/Bilynsky__Huralnyk.PDF?sequence=1&isAllowed=y.

[92] M. Sezgin & B. Sankur. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging* 13 (1): (2004) 146–165. doi:10.1117/1.1631315

[93] Я. Б. Куценко, А. Я. Вовченко, К вопросу ультразвуковой диагностики нарушения формирования тазобедренного сустава у детей первого года жизни. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2010, No. 4 Київ. – 2010 – с. 116–118.

[94] І. Ю. Поздникин, В. Е. Басков, Помилки діагностування і початку консервативного лікування дітей з вродженим вивихом стегна. *ФГБУ «НИДОИ им. Г. И. Турнера»*. Санкт-Петербург, 2017, с. 42–51.

[95] А. И. Корольков, С. Д. Шевченко, Т. В. Спилютина, Т. А. Ермак, А. Я. Вовченко, Я. Б. Куценко, Проблемні питання ультразвуко-

вої діагностики патології тазостегнових суглобів у дітей у перші пів року життя. *Дитяча радіологія*. Харків, 2012, с. 40–45.

[96] Forrest N. Iandola, Song Han, Matthew W. Moskewicz, Khalid Ashraf, William J. Dally, and Kurt Keutzer, "SqueezeNet: Alexnet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5mb model size," arXiv:1602.07360, 2016.

[97] (2000) «Digital selection and analogue amplification coexist in a cortex-inspired silicon circuit». 405: 947–951

[98] Вікіпедія. Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/PSNR>

[99] Vladimir G. Krasilenko, Alexander I. Nikolsky, Victor I. Yatskovsky, K. V. Ogorodnik, and Sergey Lischenko «Family of new operations equivalency of neuro-fuzzy logic: optoelectronic realization and applications», Proc. SPIE 4732, Photonic and Quantum Technologies for Aerospace Applications IV, (1 August 2002); <https://doi.org/10.1117/12.477429>

[100] Going deeper with convolutions / Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich // ArXiv. — 2014. — Access mode: <https://arxiv.org/pdf/1409.4842.pdf>

[101] Deep Learning for Identifying Metastatic Breast Cancer / D. Wang, A. Khosla, R. Gargeya, H. Irshad, and A. H. Beck. // ArXiv. —2016. — Access mode: <https://arxiv.org/pdf/1606.05718.pdf>

[102] IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Volume 8 Issue 6 June 1986 pp 679–698
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>

Наукове видання

**Йосип Йосипович Білінський
Олександр Іванович Нікольський
Катерина Юріївна Дмитрієва
Артем Борисович Гуральник**

**МЕТОД І УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ЗАСІБ
ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ
КУЛЬШОВОГО СУГЛОБА**

Монографія

Редактор С. Малішевська
Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до друку 03.02.2022
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,24.
Наклад 95 пр. Зам № В2022-01

Вінницький національний технічний університет,
ІРВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

press.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/659>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>