

## **РЕЦЕНЗІЯ**

старшого наукового співробітника відділу захворювань суглобів у дорослих ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України»,  
доктора медичних наук, професора

### **БАБКА АНДРІЯ МИКОЛАЙОВИЧА**

на дисертаційну роботу **Зубкова Олександра Сергійовича** на тему:

**«Використання навігаційної системи під час складного  
ендопротезування кульшового суглоба для точного відновлення  
центру ротації та підвищення післяопераційної функціональності  
суглоба»**

представлену до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді на  
здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 14.01.21  
«Травматологія та ортопедія» (галузь знань 22 «Охорона здоров'я»,  
спеціальність 222 «Медицина»).

### **Актуальність теми**

Проблематика підвищення ефективності первинного тотального ендопротезування кульшового суглоба (ТЕП КС) у пацієнтів зі складними вродженими чи набутими деформаціями залишається ключовою у сучасній ортопедо-травматологічній практиці. Враховуючи зростання питомої ваги диспластичних та посттравматичних артрозів, вимушених ятрогенних змін та демографічний тренд старіння населення, кількість так званих «складних» первинних ТЕП КС стабільно зростає. Класична методика «free-hand» не забезпечує відтворюваної точності відновлення центру ротації та орієнтації компонентів, що тягне за собою підвищення відсотку ранніх ревізій, дислокацій, асептичної нестабільності та

імпіджмент-синдрому. В роботі обґрунтовується використання навігаційної системи змішаної реальності як доступної альтернативи високовартісним роботизованим платформам. Враховуючи викладене, тема є своєчасною, має високу теоретичну та прикладну значущість і напрямку корелює зі стратегічними напрямками розвитку високоточної хірургії в Україні.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами**

Дисертаційна робота є самостійною науково-дослідною роботою автора виконана на базі ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій базуються на достатній кількості клінічних спостережень (у дисертаційній роботі проаналізовані результати клініко-інструментального обстеження 119 пацієнтів яким на базі ДУ «Інститут травматології та ортопедії Національної академії медичних наук України» в період з 2021 по 2025 рік виконано 151 оперативне втручання: тотальне ендопротезування кульшового суглоба. У 87 пацієнтів виконано тотальне ендопротезування одного кульшового суглоба, у 32-х - двох кульшових суглобів. З них: 96 пацієнтам виконано 122 оперативних втручання по заміні кульшового суглоба без застосування навігації, 23-м пацієнтам виконано 29 оперативних втручань по заміні кульшового суглоба із застосуванням навігаційної системи. Встановлено, що застосування навігаційної системи змішаної реальності при тотальному

ендопротезуванні кульшового суглоба у пацієнтів зі складною анатомією дозволяє значно підвищити точність позиціонування компонентів ендопротеза, порівняно з класичним методом «freehand». У дослідній групі частка правильного розташування ацетабулярного компонента в межах безпечної зони становила 93,10%, проти 72,13% у контрольній групі ( $p=0,032$ ). Розроблено і впроваджено експериментальну навігаційну систему на основі гарнітури HoloLens 2, яка поєднує 3D-моделювання, комп'ютерну томографію та змішану реальність. Запропоновано уніфікований протокол синхронізації фізичного тіла пацієнта з віртуальною 3D-моделлю, що дозволяє хірургу точно візуалізувати анатомічні орієнтири в режимі реального часу. Математичне моделювання у середовищі SolidWorks показало, що зміщення центру ротації кульшового суглоба в латеральному напрямку призводить до істотного зростання навантаження на медіальний виросток великогомілкової кістки: при зміщенні на 2 мм — 21,735 Нм, на 4 мм — 44,033 Нм, на 6 мм - 69,975 Нм, а при зміщенні на 8 мм — 120,25 Нм, що у десятки разів перевищує нормальні значення. Це підтверджує необхідність точного відновлення центру ротації під час ендопротезування для запобігання вторинній патології колінного суглоба. Передопераційне планування з урахуванням індивідуального нахилу таза виявилось критичним фактором точності установки ацетабулярного компонента. Було встановлено, що при нахилі таза до  $40^\circ$  значно змінюється візуальна геометрія таза, що вимагає корекції кутів імплантації і підбору типу ендопротеза. Нехтування цим фактором збільшує ризик асептичної нестабільності та передчасного зносу протеза. Інтраопераційне використання навігаційної системи змішаної реальності дозволяє компенсувати зміну положення таза під час операції завдяки

накладанню віртуальної 3D-моделі на реальні анатомічні орієнтири. Це дозволяє уникнути похибки позиціонування під час усіх етапів установки імплантатів, пов'язаних з його ротацією, без застосування додаткових фіксаторів. і Результати функціональної оцінки лікування за шкалою Harris Hip Score були вищими у групі з використанням навігації:  $93.13 \pm 5.99$  проти  $86.23 \pm 9.90$  у контрольній групі. За шкалою SF-36 також зафіксовано перевагу —  $79,1 \pm 4,5$  у дослідній групі проти  $76,0 \pm 4,0$  у пацієнтів без навігації. Обидві різниці статистично значущими ( $p < 0,05$ ).

Запропонована система не лише демонструє високу точність, а й є доступною, безпечною, та адаптованою для практичного використання в ортопедичних центрах третинного рівня. Вона не потребує складних роботизованих платформ може бути рекомендована для широкого впровадження в практику при ендопротезуванні пацієнтів зі складною анатомією кульшового суглоба. Усі наукові положення, висновки і рекомендації, що впливають із отриманих результатів, обґрунтовані та достовірні.

**Наукова новизна:** Дисертантом вперше розроблена навігаційна система на основі змішаної реальності з програмним забезпеченням, для ендопротезування кульшового суглоба при важких анатомічних змінах, та значних дефектах кульшового суглоба, що дозволяє встановити компоненти з більш високою точністю та відновити центр ротації. Вперше проведено комплексне біомеханічне та математичне моделювання впливу зміщення центру ротації кульшового суглоба при ТЕПКС, на навантаження в колінному суглобі з використанням 3Dмоделі нижньої кінцівки. Продемонстровано, що навіть незначні зміщення ЦР (2-8 мм) в медіальному або латеральному напрямках істотно впливають на розподіл

навантаження колінному суглобі, що призводить до вторинного ураження останнього. Після проведеного експериментального дослідження було поглиблено знання доцільності включення індивідуальної орієнтації таза в алгоритми передопераційного шаблонування з метою оптимального визначення положення центру ротації кульшового суглоба. Удосконалено підхід до різних варіантів відновлення опорної та кінематичної функції кульшового суглоба. Удосконалено підхід до передопераційного планування ТЕПКС шляхом інтеграції сучасних методів 3D-візуалізації та комп'ютерного моделювання з урахуванням індивідуальної анатомічної варіабельності пацієнтів. На підставі отриманих результатів запропоновано новий підхід до хірургічної тактики при складному ендопротезуванні кульшового суглоба, орієнтований на персоніфіковане передопераційне планування та інтраопераційний контроль з використанням змішаної реальності, що відкриває нові перспективи в хірургії великих суглобів.

**Практичне значення отриманих результатів та їх впровадження в практику.** Практичне значення одержаних у дисертації результатів полягає у впровадженні в клінічну практику інноваційного підходу до виконання тотального ендопротезування кульшового суглоба з використанням навігаційної системи на основі технологій змішаної реальності. Запропонована методика дозволяє в реальному часі візуалізувати анатомічні орієнтири, контрольні площини та орієнтацію імплантатів у просторі, що забезпечує більш точне позиціонування компонентів ендопротеза згідно з індивідуальними анатомо-біомеханічними особливостями пацієнта. Розроблена і протестована система візуальної навігації дозволяє зменшити похибки в установці ацетабулярного компонента за кутами нахилу та антеверсії, що, у свою

чергу, сприяє зниженню ризику вивихів, імпінджменту, надмірного зносу поліетиленової вкладки, а також дозволяє відновити центр ротації кульшового суглоба з високим ступенем точності. Результати дослідження підтверджені даними порівняльного аналізу до- та післяопераційних біомеханічних параметрів, функціональних шкал оцінки стану пацієнтів (Harris Hip Score, SF-36), а також статистично достовірними відмінностями на користь групи, оперованої із застосуванням навігації. Отримані результати можуть бути безпосередньо впроваджені в практику ортопедичних клінік для підвищення якості та безпеки хірургічних втручань, а також використані в навчальному процесі закладів післядипломної медичної освіти для підготовки фахівців з ортопедії та травматології. Використання MR-навігації відкриває перспективи для стандартизації складних втручань, індивідуалізації хірургічного планування та інтеграції з іншими цифровими технологіями в ортопедичній хірургії.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.**

Результати дисертаційної роботи Зубкова Олександра Сергійовича, повністю висвітлені в опублікованих наукових працях, зокрема, в 3 наукових працях, з них: 2 статті у провідних фахових виданнях, що наведені в переліку затверджених ДАК МОН України та включених до наукометричних і реферативних баз, 1 стаття у науковому виданні, проіндексованому у базах даних Scopus.

**Список публікацій за темою дисертації:**

1. Zubkov, O., & Torchynskyi, V. (2024). Effect of pelvic tilt on changing the centre of rotation of the hip joint in preoperative planning. Bulletin of

Medical and Biological Research, 6(1), 24-33.  
<https://doi.org/10.61751/bmbr/1.2024.24>

2. Зубков О., Торчинський В. (2024). Інтеграція технологій змішаної реальності в техніку ендопротезування кульшового суглоба. TERRA ORTHOPAEDICA, (1(120), 27-33. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-120-1-27-33>

3. Zubkov O, Torchynskyi V. Effect of changes in the centre of rotation after hip arthroplasty on knee joint function. Salud, Ciencia y Tecnología [Internet]. 2024 Sep. 17 [cited 2024Oct.4];4:.574. DOI: <https://doi.org/10.56294/saludcyt2024.574>

#### **Апробація матеріалів дослідження:**

1. Конференція молодих вчених 24 листопада 2023 року «Holonens 2 в ендопротезуванні кульшового суглоба»

2. Онлайн семінар «Загальні аспекти ендопротезування кульшового суглоба» 06.07. 2023

3. Фахова школа «Особливості ендопротезування кульшового суглоба» 18.04.2024р. «Іноваційні підходи в ендопротезуванні кульшового суглоба за допомогою систем навігації: комплексний аналіз переваг та недоліків»

4. Вчена рада ДУ «ІТО НАМН України» від 23.04.2024р.

#### **Структура та обсяг дисертації**

Робота складається зі 160 сторінок машинописного тексту і містить вступ, шість розділів, висновки, практичні рекомендації та список літератури (116 джерел). Ілюстровано 21 рисунком та 12 таблицями. Структура відповідає вимогам МОН України, розділи логічно взаємопов'язані, дані презентовано наочними схемами та графіками.

## **Аналіз змісту розділів дисертації**

У **вступі** ґрунтовно викладено актуальність, сформульовано мету та завдання, акцентовано на науковій новизні та практичній значущості. Автор чітко окреслює проблемне поле та вказує на дефіцит доступних навігаційних рішень.

**Систематичний огляд літератури** охоплює 116 джерел останніх 10 років, містить порівняльний аналіз механічних, оптичних та роботизованих систем, а також технологій MR. Коректно визначено прогалини знань щодо впливу зміщення ЦР на біомеханіку колінного суглоба. Побудовано логічний місток до вибору власної методики.

**Розділ 2. Матеріали і методи** Детально описано дизайн проспективного когортного дослідження (119 пацієнтів, 151 оперативне втручання: тотальне ендопротезування кульшового суглоба. З них 96 пацієнтів без застосування навігаційної системи, 23 пацієнти із застосуванням навігаційної системи. У 87 пацієнтів проаналізовано результати тотального ендопротезування одного кульшового суглоба, у 32-х – обох кульшових суглобів, з них 118 без навігаційної системи, 29 з застосуванням навігаційної системи. Одним із параметрів виборки були операції виконані ендопротезами з безцементним типом фіксації, а також з значними деформаціями кульшового суглоба. Розподіл пацієнтів за віком та статтю представлено в таблиці 2.1. Середній вік пацієнтів склав 59,73р. Жінки 54,17%, чоловіки 45,83%.. Чітко наведені критерії включення/виключення, алгоритм КТ-планування, протокол використання HoloLens 2, та статистичні методи.

## **Розділ 3. Математичне моделювання**



Наведено оригінальну 3D-модель нижньої кінцівки у SolidWorks із симуляцією медіо-латеральних зміщень ЦР (2–8 мм). Доведено, що зміщення центру ротації кульшового суглоба в латеральному напрямку призводить до істотного зростання навантаження на медіальний виросток великогомілкової кістки: при зміщенні на 2 мм — 21,735 Н×м, на 4 мм — 44,033 Н×м, на 6 мм — 69,975 Н×м, а при зміщенні на 8 мм — 120,25 Н×м, що у десятки разів перевищує нормальні значення. Це підтверджує необхідність точного відновлення центру ротації під час ендопротезування для запобігання вторинній патології колінного суглоба.

#### **Розділ 4. Розробка навігаційної системи**

Автор описує архітектуру MR-платформи: комбінація Unity 2020.3 + MRTK + Vuforia SDK, алгоритм ICP-синхронізації. Наведено *in vitro* валідацію на 3D-друкованих моделях та симуляційні випробування. Розділ демонструє високу інженерну складову роботи.

#### **Розділ 5. Порівняльний аналіз результатів лікування**

Відзначено достовірне покращення рентгенметрії: інклінація, антеверсія та зміщення ЦР у дослідної групи. Частка імплантацій у безпечній зоні підвищилася до 93%. Функціональні індекси Harris Hip Score та SF-36 статистично кращі в дослідній групі.

#### **Розділ 6. Реабілітація**

Хоча розділ має оглядовий характер, автор акцентує на адаптації протоколів ЛФК з урахуванням точного відновлення кінематичної осі, що є цінним для практичної охорони здоров'я.

**Висновки** сформульовано повноцінно і відповідають на поставлені завдання, мають теоретичне значення і повністю витікають із проведених досліджень.

### **Недоліки дисертації щодо змісту та оформлення**

Дисертаційна робота являє собою самостійне та завершене наукове дослідження, у якому чітко сформульовані й успішно вирішені поставлені мета та завдання. У процесі роботи було дотримано логічної послідовності етапів наукового пошуку, що забезпечило можливість здійснення якісного порівняльного аналізу отриманих результатів. Отримані у дослідженні дані є переконливими та не викликають сумнівів щодо їх достовірності.

Під час аналізу тексту дисертації було виявлено окремі стилістичні недоліки та певні неточності у формулюванні окремих положень, однак ці зауваження носять несуттєвий характер і не знижують загальний високий рівень наукової новизни та практичної значущості представленої роботи.

Питання до здобувача

1. Які методи компенсації Ви передбачаєте у разі інтраопераційного зміщення маркерів на шкірі чи кісткових реперів?
2. Чи плануєте адаптувати MR-систему для контролю довжини кінцівок та балансування та м'язів абдукторів?
3. Які технічні кроки потрібні для масштабування системи у регіональних лікарнях з обмеженим бюджетом?

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Зубкова Олександра Сергійовича на здобуття наукового ступеня доктор філософії за темою «Використання навігаційної

системи під час складного ендопротезування кульшового суглоба для точного відновлення центру ротації та підвищення післяопераційної функціональності суглоба» виконана в ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України» під науковим керівництвом доктора медичних наук, Торчинського Віктора Петровича є закінченою, самостійною роботою, яка містить нове рішення актуальної проблеми – точність відновлення центру ротації в кульшовому суглобі та коректне положення компонентів ендопротеза при складному первинному ендопротезуванні кульшового суглоба. Висновки роботи достовірні, обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення і повністю витікають із проведених досліджень. Матеріали дисертації висвітлені в опублікованих працях. Таким чином за своєю актуальністю, науковою новизною, теоретичним, практичним значенням, методичним рівнем дисертаційна робота Зубкова Олександра Сергійовича відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Зубков О. С., заслуговує присудження ступеня доктора філософії з галузі знань «Охорона здоров'я» за спеціальністю «Медицина».

Офіційний рецензент

Старший науковий співробітник

відділу захворювань суглобів у дорослих

ДУ «ІТО НАМН України»,

доктор медичних наук, професор

Андрій БАБКО