

Додаткові протоколи МРТ-обстеження передньої хрестоподібної зв'язки – стандарт діагностики чи примха дослідників? (Огляд)

Коструб О.О., Котюк В.В., Подік В.А., Мазевич В.Б.,
Третьяков Р.А., Смірнов Д.О., Засаднюк І.А.
ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, м. Київ

Резюме. Стандартні протоколи МРТ-дослідження колінного суглоба при підозрі на ушкодження передньої хрестоподібної зв'язки (ПХЗ) передбачають проведення томографії у трьох взаємно перпендикулярних площинах – корональній, сагітальній, аксіальній. Сучасні методи лікування (особливо рефіксація ПХЗ, пластика окремих пучків ПХЗ) та реабілітації потребують більш точної діагностики не лише самого факту ушкодження, але і його чіткої локалізації, ступеня та давності. Особливо важко оцінити характер та ступінь ушкодження ПХЗ у гострий період та при часткових її ушкодженнях. Для покращення діагностики ушкоджень ПХЗ ми пропонуємо ввести у стандарт її МРТ-дослідження додаткове застосування косих сагітальних (кососагітальних) та косих корональних (косокорональних) зрізів, орієнтованих під кутом нахилу волокон ПХЗ зі зменшенням до 0-2 мм міжзрізовим інтервалом на зону власне передньої хрестоподібної зв'язки. З метою зменшення тривалості дослідження можна обмежитись невеликою кількістю зрізів у додаткових проекціях лише на область власне ПХЗ.

Ключові слова: огляд; МРТ; додаткові проекції; додаткові зрізи; косі зрізи; передня хрестоподібна зв'язка.

Вступ

Ушкодження передньої хрестоподібної зв'язки (ПХЗ) – одна з провідних травм спортсменів. Цю травму діагностують щороку у близько 68,6 осіб на 100 000 населення [1]. Традиційно вважається, що вирішальну крапку може поставити МРТ-дослідження. Однак, незважаючи на розвиток та удосконалення методів та способів як інструментальної, так і мануальної діагностики, їхня точність щодо ушкоджень ПХЗ сьогодні часто не задовольняє ортопедів-травматологів та пацієнтів. Чому ми досі не завжди можемо чітко прогнозувати об'єм хірургічного втручання (дебридмент, пластика ПХЗ, пластика окремих пучків ПХЗ, рефіксація ПХЗ)? Особливо важко оцінити характер та ступінь ушкодження ПХЗ у гострому періоді після травми та при часткових її ушкодженнях. Ортопеди-травматологи знайомі з тим, що інформативність МРТ у різних діагностичних центрах відрізняється і, на жаль, МРТ часто не ставить вирішальну крапку у встановленні діагнозу, як цього очікують пацієнти. Це пов'язано з тим, що МРТ-діагностика має низку особливостей та залежить як від технічних факторів – обладнання, програмного забезпечення, так і від людського фактору – укладка пацієнта, вибір оптимального протоколу дослідження, аналіз отриманих зображень тощо. Високі

цифри чутливості (86,79%) та специфічності (73,68%) МРТ (що, втім, усе ще далекі від 100%) у порівнянні з даними артроскопії [2] досягаються не у всіх медичних центрах, і лише за цілої низки умов. До того ж вони стосуються лише самого факту правильності діагнозу, а не деталей та особливостей ушкодження, які можуть впливати на тактику лікування. Це можна порівняти з комп'ютерною томографією при складних переломах, коли вона виконується не з метою діагностики, а з метою вибору оптимальних хірургічних доступів, фіксаторів і т. ін. Так, за даними Р. Ben-Galin та ін. (2006), частота хибно позитивних діагнозів ушкодження ПХЗ за результатами МРТ може сягати 47% випадків [3], а за даними К. J. Tsai та ін. (2004), – 33% [4]. Це спричиняє високу кількість непотрібних операцій, при яких виявляється, що діагноз “ушкодження ПХЗ” за висновками МРТ-дослідження був хибним [3]. А за даними деяких мета-аналізів, на фоні незначного зростання чутливості МРТ його специфічність щодо ушкоджень ПХЗ зменшується, що може бути пов'язано саме з вимогами щодо необхідності більш деталізованих даних про ушкодження, а не лише констатування цього факту. На жаль, сьогодні і в Україні МРТ-дослідження рідко є вирішальним у діагностиці внутрішньосуглобової патології, тому, окрім удосконалення вміння ортопедів-травматологів аналізувати власне МРТ-зображення, ви-

никає потреба в удосконаленні як самої техніки проведення МРТ-досліджень, так і методів оцінки отриманих МРТ-зображень.

Артроскопія – “золотий стандарт” діагностики ушкодження ПХЗ [5, 6]. Але чи так це має бути в XXI сторіччі? Артроскопія – це інвазивна та досить економічно затратна процедура. МРТ-діагностика разом із клінічним оглядом пацієнта за певних умов за інформативністю може дуже наблизитись до чутливості та специфічності артроскопії. Пацієнти та лікарі покладають великі надії на МРТ-дослідження, особливо у сумнівних випадках, зокрема при гострих або часткових ушкодженнях як на “золотий стандарт” неінвазивного методу обстеження. Але часто результати МРТ-дослідження все одно не є вирішальними та не дозволяють зробити остаточний висновок щодо стану ПХЗ. Чому так відбувається? Адже, за даними досліджень, чутливість та специфічність МРТ-діагностики мали б наблизитись до таких показників при артроскопії.

Обговорення

Традиційно ПХЗ оцінюють за трьома зрізами – сагітальним, корональним та фронтальним. Чутливість та специфічність навіть такого дослідження може значною мірою коливатись залежно не лише від якості апарату МРТ, але й від обраного режиму томографії, міжзрізових інтервалів і т. ін. Але й сьогодні частина ортопедів-травматологів продовжує оцінювати ПХЗ на МРТ лише за сагітальними зрізами, що значно зменшує точність діагностики [7]. Так, на сагітальних зрізах зв'язка видається довшою і здається, що оцінити її цілісність за ними легше. Але ПХЗ потрібно оцінювати за всіма трьома стандартними зрізами завжди! Відносно високий відсоток виявлення повних ушкоджень ПХЗ за даними стандартних МРТ-досліджень стосується оцінки цієї зв'язки лише за всіма трьома проекціями.

Чому ще 10-15 років тому питання МРТ-діагностики розривів ПХЗ здавалося вирішеним, а сьогодні ми знову не задоволені його результатами? По-перше, покращились наші знання про анатомію ПХЗ та роль різних її структурних елементів. Так з'явилась концепція ПХЗ у вигляді стрічки [8, 9], була уточнена кількість та роль її пучків [10, 11, 12] та роль ПХЗ взагалі [13, 14]. Покращилось розуміння значення ПХЗ для різних видів спорту, тому при лікуванні спортсменів високого рівня з підвищеними вимогами до стабільності колінного суглоба вже недостатньо знати про “часткове” ушкодження ПХЗ. З метою планування лікування нам потрібно чітко розуміти об'єм ушкодження, в якому пучку локалізується, точну локалізацію по довжині зв'язки, давність травми. Це своєю чергою стимулюється ще більше розвитком нових технологій та інструментарію для пластики чи шва ПХЗ. Тому дослідження минулих років уже

не задовольняють сучасних ортопедів. Стандартні протоколи МРТ-дослідження, на жаль, у багатьох випадках лишають сумніви щодо ступеня пошкодження ПХЗ, а особливо при її справді часткових розривах, і можуть потребувати уточнення діагнозу під час лікувально-діагностичної артроскопії. Утім, як лікарі, так і пацієнти очікують від МРТ більшої точності та вирішальної ролі у постановці діагнозу.

За даними опублікованих досліджень, частота часткових розривів ПХЗ становить від 10 до 43% всіх ушкоджень ПХЗ. Однак аналізуючи висновки МРТ в Україні, ми можемо припускати гіпердіагностику часткових розривів у пацієнтів з інтактними ПХЗ та з повними її розривами. Так, залежно від діагностичного центру частота часткових розривів ПХЗ за висновками МРТ коливається від 30 до 83% всіх її ушкоджень, що дуже часто не відповідає дійсності та спростовується під час артроскопії. Часткові ушкодження ПХЗ також мають неабияку важливість. Так, вони з часом призводять до повних розривів у більш ніж 50% випадків та можуть спричинити нестабільність колінного суглоба у частини спортсменів [15]. У спортсменів високого класу, особливо тих, що займаються видами спорту з різкою зміною напрямку руху та ротаційними рухами, навіть часткові незначні розриви ПХЗ нерідко призводять до зниження функціональних можливостей та спортивних результатів.

При стандартних МРТ-дослідженнях у трьох взаємно перпендикулярних площинах відносно непогано можна діагностувати повні розриви ПХЗ за умови суворого дотримання техніки дослідження, якості магнітно-резонансного томографа та програмного забезпечення. Хоча за результатами частини досліджень клінічне обстеження виявилось настільки ж інформативним щодо ушкоджень ПХЗ, як і МРТ у традиційних стандартних режимах та протоколах [6], або навіть більш інформативним [16, 17]. Тому є потреба в удосконаленні способів візуалізації ПХЗ на МРТ. Точність стандартного МРТ-дослідження у виявленні часткових розривів ПХЗ, а особливо визначення їх ступеня, ще більш обмежена [18-29].

Додаткові спеціальні протоколи МРТ-дослідження ПХЗ покликані покращити діагностику ушкоджень ПХЗ. Вони не є надбанням сьогодення та були запропоновані давно. Але раніше у більшості випадків могло вистачати і стандартних зрізів, тому дуже мало які діагностичні центри рутинно використовували додаткові зрізи. Сьогодні ж, враховуючи сучасні вимоги щодо деталізації ушкодження ПХЗ, ці додаткові зрізи, що до цього застосовувались поодинокими центрами та у наукових дослідженнях, мають стати стандартом діагностики, принаймні для пацієнтів, у попередньому діагнозі яких значиться “ушкодження ПХЗ”. Адже сьогодні є можливість проводити високорезольвентне хірургічне лікування залежно від характеру та точної локалізації ушкодження ПХЗ.

Серед наявних варіантів додаткових спеціальних протоколів МРТ-дослідження ПХЗ ми хочемо виділити та запропонувати як найбільш оптимальні наступні.

1. Флексійна техніка – дослідження ПХЗ зі згинанням травмованого колінного суглоба під кутом близько 17° та сагітальними зрізами вздовж ПХЗ [30-33] (рис. 1). Перевагами флексійної техніки є розширен-

ня ненапруженої у згинанні ПХЗ із можливістю оцінки більшої кількості волокон [32] та усунення перетискання ПХЗ дахом міжвиросткової западини (вирізки), що є однією з основних проблем у діагностиці часткових розривів ПХЗ за стандартними зрізами.

2. Косі корональні (косокорональні, паракорональні) зрізи – спеціалізоване дослідження ПХЗ із зображеннями, отриманими уздовж ходу волокон ПХЗ із ко-

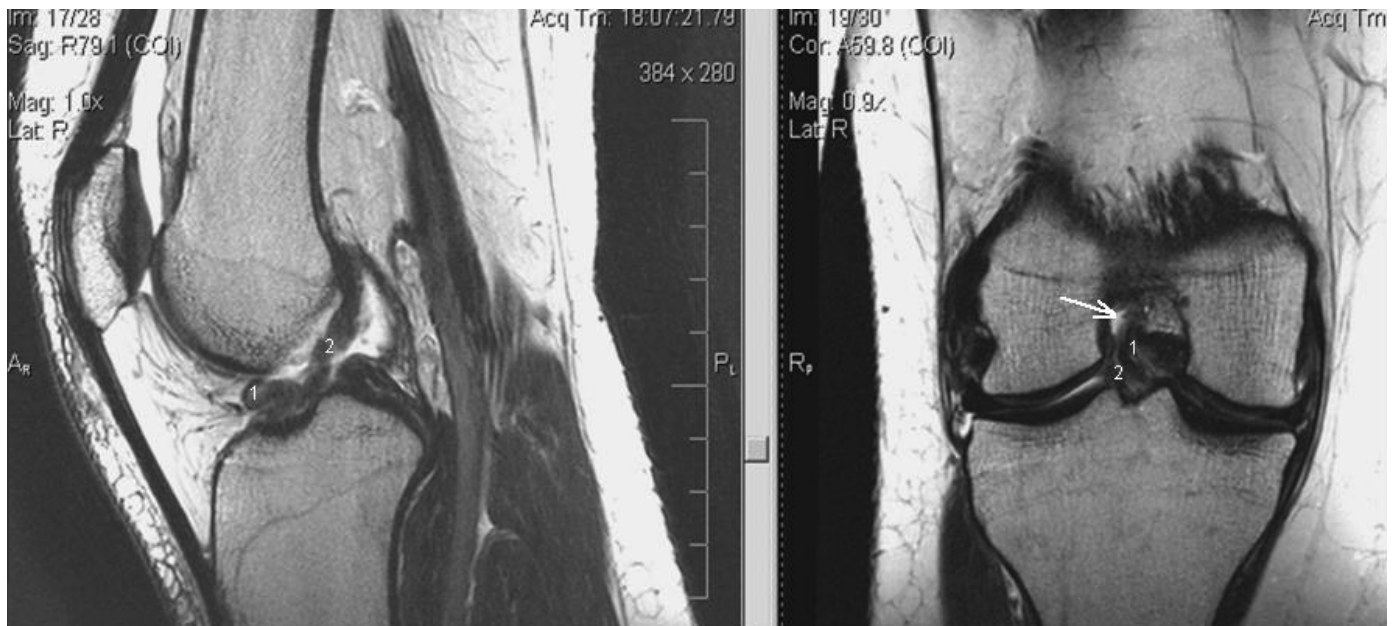


Рис. 1. Часткове ушкодження ПХЗ на томографі 3 Тесла. Флексійна техніка. Ушкоджений антеромедіальний пучок ПХЗ, що завернувся вперед. Цілий постеролатеральний пучок ПХЗ. Стрілкою відзначено гіперінтенсивну ділянку рідини між латеральним виростком стегна та надірваним пучком ПХЗ

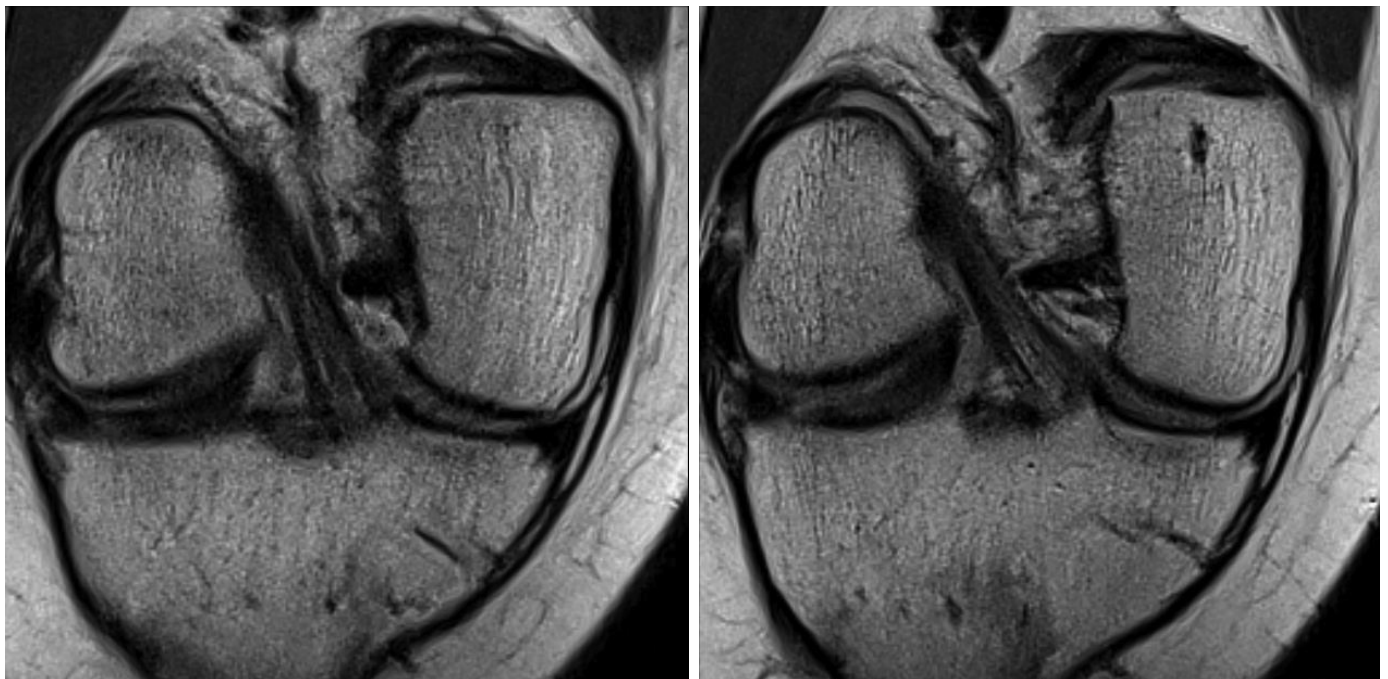


Рис. 2. Нормальна ПХЗ на косих корональних (косокорональних) зрізах. Візуалізуються окремо антеромедіальний та постеролатеральний пучки. Томограф 1,5 Тесла

рональними зрізами (томограмами), одержаними під кутом нахилу ПХЗ (рис. 2) [34-36].

3. Косі сагітальні (кососагітальні, парасагітальні) зрізи – спеціалізоване дослідження ПХЗ із зображеннями, отриманими уздовж ходу волокон ПХЗ із сагітальними зрізами (томограмами), одержаними під кутом нахилу ПХЗ (рис. 3) [37]. Таке сагітальне косе дослідження добре показує часткові розриви завдяки його подвійній ангуляції, що дозволяє розташувати площину дослідження уздовж ходу волокон ПХЗ.



Рис. 3. Відрив проксимальної частини ПХЗ на косих сагітальних (кососагітальних) зрізах на низькопольному томографі 0,4 Тесла. Правильна орієнтація зрізів робить більш інформативною МРТ навіть на низькопольних томографах

4. Застосування більш тонких зрізів 2 мм (а ще ліпше 1 мм) [34] у спеціальних проекціях або хоча б у стандартних. Це важко назвати спеціальним протоколом дослідження, але параметри товщини зрізів і міжзрізових інтервалів дуже важливі при діагностиці ушкоджень ПХЗ та можуть бути корисні навіть у стандартних проекціях. Утім, із точки зору раціонального співвідношення тривалості дослідження та його інформативності більш доцільно робити більш часті зрізи саме на зону інтересу – у нашому випадку на ПХЗ. На рис. 4 представлено детальну МРТ-візуалізацію нормальної ПХЗ у стандартній сагітальній проекції зі зменшеним до 0,5 мм міжзрізовим інтервалом на високопольному томографі 3 Тесла.

За нашими даними, найбільш інформативними були косі паракорональні зрізи, хоча, за результатами інших

досліджень, вони не засвідчили переваг перед стандартними корональними [38]. З одного боку, це вимагає проведення більш детальних досліджень із різними дослідниками, що проводять МРТ та оцінюють МРТ-знімки (адже точність може залежати як від правильного вибору кутів дослідження, так і від адекватності оцінки зображень). З іншого боку, це може вказувати на те, що косі паракорональні зрізи мають не заміняти собою стандартні корональні, а доповнювати їх за найменшої підозри на розрив ПХЗ. Іншими причинами різниці результатів можуть бути обрані досліджувані параметри та суб'єктивна оцінка МРТ діагностом МРТ-центра чи ортопедом-травматологом. Адже для діагноста МРТ-центра для встановлення діагнозу може бути достатньо стандартного МРТ-дослідження, а для ортопеда-травматолога більш точна візуалізація ушкодження при одному і тому ж діагнозі може змінити тактику лікування. Так, і на стандартних зрізах, і на додаткових діагност МРТ-центру може правильно встановити часткове ушкодження ПХЗ, у той час як розуміння розміру, точної локалізації, давності та інших параметрів цього ушкодження дозволяє ортопеду-травматологу більш раціонально спланувати подальше лікування. Навіть два розриви 50% волокон ПХЗ можуть мати різний ступінь стабільності та різний прогноз залежно від їх локалізації (за довжиною зв'язки та за шириною, за окремими пучками), термінів відновлення після травми та характеру проведеного лікування, анатомічних особливостей пацієнта (нахил суглобової поверхні великогомілкової кістки та інші), характеру навантажень, що очікується, тощо. Потрібно правильно розуміти роль МРТ та інших методів діагностики. Так, метою МРТ є не тільки і не стільки діагностика розриву ПХЗ, а часто саме виключення можливості її ушкодження або встановлення діагнозу в сумнівних випадках, якими саме і є часткові розриви, адже при повному розриві ПХЗ у багатьох випадках це можна встановити і за результатами мануальних тестів під час клінічного огляду. Ортопед-травматолог, окрім точного діагнозу, має добре бачити всі характеристики ушкодження, адже при частковому розриві ПХЗ залежно від його локалізації та відсотку ушкоджених волокон, а також від виду спорту пацієнта та його рівня підготовки тактика лікування може принципово відрізнятись. Косі парасагітальні зрізи незначно поступались за інформативністю (чутливістю та специфічністю) косим паракорональним, утім, у майже 70% випадків ортопедам-травматологам легше було оцінювати стан ПХЗ саме за такими зрізами. Звісно, коріння цього може бути й у хибній традиції оцінювати ПХЗ лише за сагітальними зрізами, якої потрібно позбуватись. Але враховуючи додаткову інформативність від косих парасагітальних зрізів, а також те, що лікувати пацієнтів доведеться саме ортопедам-травматологам, ми вбачаємо необхідність у дослідженні цих зрізів.

В ідеальній ситуації хотілося б рутинно застосовувати всі наведені вище додаткові протоколи, робити

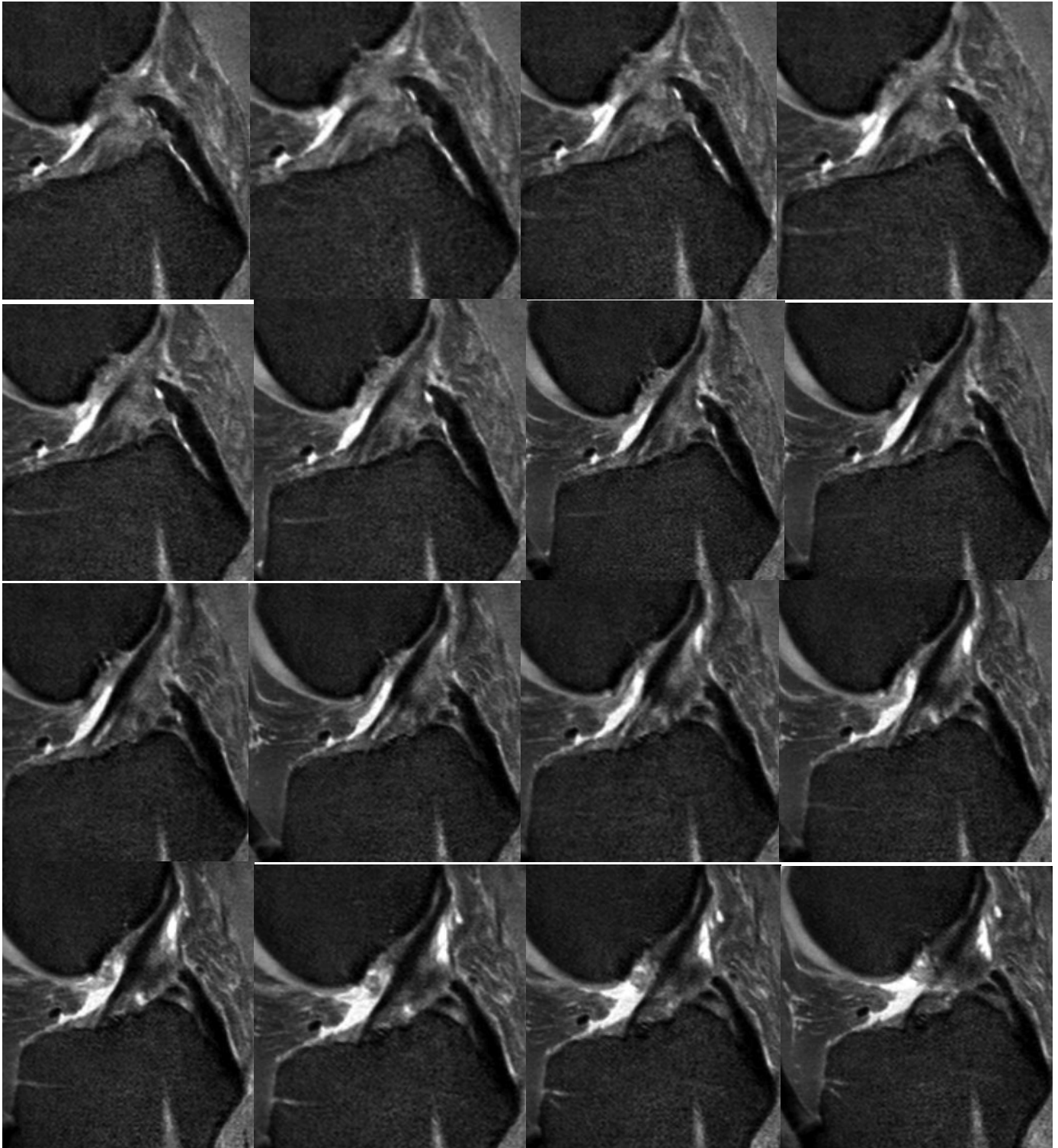


Рис. 4. Детальна МРТ візуалізація нормальної ПХЗ у стандартній сагітальній проекції із зменшеним до 0,5 мм міжзрізовим інтервалом на високопольному томографі 3 Тесла

мінімальні міжзрізові інтервали в усіх площинах та на всю ширину суглоба, але, враховуючи економічну складову питання та час обстеження, це тягне за собою суттєве збільшення тривалості та, відповідно, вартості дослідження. З одного боку, нерационально заради економії на дослідженні проводити непотрібну операцію, а з іншого – значне подорожчання дослідження може

привести до зменшення відсотку пацієнтів, які на нього погодяться, а особливо тих, хто зможе провести його вчасно. Тому ми пропонуємо включити до стандартного МРТ-дослідження при підозрі на ушкодження ПХЗ кососагітальні та косокорональні зрізи з орієнтацією площини зрізу паралельно ходу волокон ПХЗ та з малим міжзрізовим інтервалом – 0-2 мм. Для змен-

шення тривалості дослідження можна обмежитись невеликою кількістю зрізів у додаткових проекціях лише в ділянці власне ПХЗ. Флексійна техніка також має свої переваги, але з економічних міркувань ми пропонуємо лишити її як додатковий метод дослідження у сумнівних випадках, адже вона передбачає зміну укладки пацієнта та повторне проведення стандартного дослідження, що потребує суттєво більше часу, а переваг щодо чутливості та інформативності перед косокорональними та кососагітальними зрізами не має.

Висновки

Ми рекомендуємо включати до стандартного обстеження пацієнтів з ушкодженням або підозрою на ушкодження ПХЗ косокорональні та кососагітальні зрізи з малим міжзрізовим інтервалом (0-2 мм) та кількістю зрізів, достатньою для покриття зони ПХЗ. Ми рекомендуємо застосовувати косокорональні та кососагітальні зрізи з малим міжзрізовим інтервалом як стандартне МРТ-дослідження ПХЗ на додаток до трьох стандартних взаємно перпендикулярних зрізів. Це лише незначно збільшує тривалість дослідження, але дозволяє ортопеду-травматологу та діагносту МРТ-центру краще оцінити ступінь та характер ушкодження ПХЗ.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

- Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, Stuart MJ, Krych AJ. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1502-7. doi: 10.1177/0363546516629944.
- Orlando Júnior N, de Souza Leão MG, de Oliveira NH. Diagnosis of knee injuries: comparison of the physical examination and magnetic resonance imaging with the findings from arthroscopy. *Rev Bras Ortop.* 2015;50(6):712-719. doi:10.1016/j.rboe.2015.10.007.
- Ben-Galim P, Steinberg EL, Amir H, Ash N, Dekel S, Arbel R. Accuracy of magnetic resonance imaging of the knee and unjustified surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:100-104. doi:10.1097/01.blo.0000203471.50808.b7.
- Tsai KJ, Chiang H, Jiang CC. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament rupture. *BMC Musculoskelet Disord.* 2004;5:21. Published 2004 Jul 8. doi:10.1186/1471-2474-5-21.
- Vaz CE, Camargo OP, Santana PJ, Valezi AC. Accuracy of magnetic resonance in identifying traumatic intraarticular knee lesions. *Clinics (Sao Paulo).* 2005;60(6):445-450. doi:10.1590/S1807-59322005000600003.
- Siddiqui MA, Ahmad I, Sabir AB, Ullah E, Rizvi SA, Rizvi SW. Clinical examination vs. MRI: evaluation of diagnostic accuracy in detecting ACL and meniscal injuries in comparison to arthroscopy. *Pol Orthop Traumatol.* 2013;78:59-63.
- Fitzgerald SW, Remer EM, Friedman H, Rogers LE, Hendrix RW, Schafer ME. MR evaluation of the anterior cruciate ligament: value of supplementing sagittal images with coronal and axial images. *AJR Am J Roentgenol.* 1993;160(6):1233-1237. doi:10.2214/ajr.160.6.8498224.
- Śmigielski R, Zdanowicz U, Drwiega M, Ciszek B, Ciszowska-Lyson B, Siebold R. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(11):3143-3150. doi:10.1007/s00167-014-3146-7.
- Siebold R. Flat ACL anatomy: fact no fiction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(11):3133-3135. doi:10.1007/s00167-015-3818-y.
- Tran TD, Tran QL. A cadaveric study on the anatomy of anterior cruciate ligament in Vietnamese adults. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2018;14:22-25. doi:10.1016/j.asmart.2018.05.001.
- Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;454:35-47. doi:10.1097/BLO.0b013e31802b4a59.
- Otsubo H, Akatsuka Y, Takashima H, Suzuki T, Suzuki D, Kamiya T, Ikeda Y, Matsumura T, Yamashita T, Shino K. MRI depiction and 3D visualization of three anterior cruciate ligament bundles. *Clin Anat.* 2017;30(2):276-283. doi: 10.1002/ca.22810.
- Chen T, Wang H, Warren R, Maher S. Loss of ACL function leads to alterations in tibial plateau common dynamic contact stress profiles. *J Biomech.* 2017;61:275-279. doi:10.1016/j.jbiomech.2017.07.024.
- Prado M, Nazario S, Bergamima JSP, Nasralla MLS, Neto EN, Felipe LA, Pletsch AHM. Anterior Cruciate Ligament: Anatomy and Biomechanics. *J Health Sci.* 2019;21(2):166-169.
- Noyes FR, Moar LA, Moorman CT 3rd, McGinniss GH. Partial tears of the anterior cruciate ligament. Progression to complete ligament deficiency. *J Bone Joint Surg Br.* 1989;71(5):825-833.
- Kostov H, Arsovski O, Kostova E, Nikolov V. Diagnostic assessment in anterior cruciate ligament (ACL) tears. *Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki).* 2014;35(1):209-218.
- Navali AM, Bazavar M, Mohseni MA, Safari B, Tabrizi A. Arthroscopic evaluation of the accuracy of clinical examination versus MRI in diagnosing meniscus tears and cruciate ligament ruptures. *Arch Iran Med.* 2013;16(4):229-232.
- Gentili A, Seeger LL, Yao L, Do HM. Anterior cruciate ligament tear: indirect signs at MR imaging. *Radiology.* 1994;193(3):835-840. doi:10.1148/radiology.193.3.7972834.
- Lawrance JA, Ostlere SJ, Dodd CA. MRI diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament. *Injury.* 1996;27(3):153-155. doi:10.1016/0020-1383(95)00220-0.
- Borić I, Pecina M, Bojanić I, Haspl M, Roić G. Comparison of conventional spin-echo and fast spin-echo magnetic resonance imaging with fat suppression [correction for suppression] in cruciate ligament injury. *Croat Med J.* 2004;45(2):195-201.
- Tung GA, Davis LM, Wiggins ME, Fadale PD. Tears of the anterior cruciate ligament: primary and secondary signs at MR imaging. *Radiology.* 1993;188(3):661-667. doi:10.1148/radiology.188.3.8351329.
- Miller TT, Gladden P, Staron RB, Henry JH, Feldman F. Posterolateral stabilizers of the knee: anatomy and injuries assessed with MR imaging. *AJR Am J Roentgenol.* 1997;169(6):1641-1647. doi:10.2214/ajr.169.6.9393184.
- Johnson DL, Warner JJ. Diagnosis for anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med.* 1993;12(4):671-684.
- Ha TP, Li KC, Beaulieu CF, Bergman G, Ch'en IY, Eller DJ, Cheung LP, Herfkens RJ. Anterior cruciate ligament injury: fast spin-echo MR imaging with arthroscopic correlation in 217 examinations. *AJR Am J Roentgenol.* 1998 May;170(5):1215-9. doi: 10.2214/ajr.170.5.9574587.

25. Roychowdhury S, Fitzgerald SW, Sonin AH et al. Normal and abnormal anatomy of the anterior cruciate ligament at axial MR imaging of the knee. *Radiol.* 1996;201(Suppl S):1633.
26. Roychowdhury S, Fitzgerald SW, Sonin AH, Peduto AJ, Miller FH, Hoff FL. Using MR imaging to diagnose partial tears of the anterior cruciate ligament: value of axial images. *AJR Am J Roentgenol.* 1997;168(6):1487-1491. doi:10.2214/ajr.168.6.9168712.
27. Ng AW, Griffith JF, Hung EH, Law KY, Yung PS. MRI diagnosis of ACL bundle tears: value of oblique axial imaging. *Skeletal Radiol.* 2013;42(2):209-217. doi:10.1007/s00256-012-1372-y.
28. Irizarry JM, Recht MP. MR imaging of the knee ligaments and the postoperative knee. *Radiol Clin North Am.* 1997;35(1):45-76.
29. Murakami Y, Sumen Y, Ochi M, Fujimoto E, Adachi N, Ikuta Y. MR evaluation of human anterior cruciate ligament autograft on oblique axial imaging. *J Comput Assist Tomogr.* 1998;22(2):270-275. doi:10.1097/00004728-199803000-00021.
30. Nakanishi K, Horibe S, Shiozaki Y, Ishida T, Narumi Y, Ikezoe J, Nakamura H. MRI of normal anterior cruciate ligament (ACL) and reconstructed ACL: comparison of when the knee is extended with when the knee is flexed. *Eur Radiol.* 1997;7(7):1020-4. doi:10.1007/s003300050244.
31. Niitsu M, Ikeda K, Fukubayashi T, Anno I, Itai Y. Knee extension and flexion: MR delineation of normal and torn anterior cruciate ligaments. *J Comput Assist Tomogr.* 1996;20(2):322-327. doi:10.1097/00004728-199603000-00030.
32. Niitsu M, Ikeda K, Itai Y. Slightly flexed knee position within a standard knee coil: MR delineation of the anterior cruciate ligament. *Eur Radiol.* 1998;8:113-115. <https://doi.org/10.1007/s003300050349>.
33. Pereira ER, Ryu KN, Ahn JM, Kayser F, Bielecki D, Resnick D. Evaluation of the anterior cruciate ligament of the knee: comparison between partial flexion true sagittal and extension sagittal oblique positions during MR imaging. *Clin Radiol.* 1998;53(8):574-578. doi:10.1016/s0009-9260(98)80148-7.
34. Katahira K, Yamashita Y, Takahashi M, Otsuka N, Koga Y, Fukumoto T, Nomura K. MR imaging of the anterior cruciate ligament: value of thin slice direct oblique coronal technique. *Radiat Med.* 2001;19(1):1-7.
35. Staebli HU, Adam O, Becker W, Burgkart R. Anterior cruciate ligament and intercondylar notch in the coronal oblique plane: anatomy complemented by magnetic resonance imaging in cruciate ligament-intact knees. *Arthroscopy.* 1999;15(4):349-359. doi:10.1016/s0749-8063(99)70051-4.
36. Gokalp G, Demirag B, Nas OF, Aydemir MF, Yazici Z. Contribution of thin slice (1 mm) oblique coronal proton density-weighted MR images for assessment of anteromedial and posterolateral bundle damage in anterior cruciate ligament injuries. *Eur J Radiol.* 2012;81(9):2358-2365. doi:10.1016/j.ejrad.2011.09.008.
37. Ghasem Hanafi M, Momen Gharibvand M, Jaffari Gharibvand R, Sadoni H. Diagnostic Value of Oblique Coronal and Oblique Sagittal Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Tears. *J Med Life.* 2018;11(4):281-285. doi:10.25122/jml-2018-0015.
38. Duc SR, Zanetti M, Kramer J, Käch KP, Zollikofer CL, Wentz KU. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament tears: evaluation of standard orthogonal and tailored paracoronal images. *Acta Radiol.* 2005;46(7):729-733. doi:10.1080/02841850500215907.

Additional Anterior Cruciate Ligament MRI Examination Protocols: a Standard of Diagnosis or a Whim of Researchers? (Review)

Kostrub O.O., Kotiuk V.V., Podik V.A., Mazevykh V.B., Tretiakov R.A., Smirnov D.O., Zasadniuk I.A. SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

Summary. *Standard MRI protocols of the knee joint in case of suspected anterior cruciate ligament (ACL) injury involve tomography in three mutually perpendicular planes – coronal, sagittal, and axial. Modern methods of treatment (especially refixation of the ACL and reconstruction of separate ACL bundles) and rehabilitation require more accurate diagnosis not only of the fact of injury, but also its clear location, degree and term. It is especially difficult to assess the nature and extent of ACL damage in the acute period and in cases of partial injury. Therefore, we propose to introduce into the standard of ACL MRI examination the additional use of oblique sagittal and oblique coronal sequences (images) oriented at an angle of ACL fibers with reduced to 0-2 mm interslice interval to improve the diagnosis of ACL injury. To reduce the duration of the study, it is possible to limit yourself to a small number of slices (images) in additional projections only in the area of the ACL.*

Key words: *review; MRI; additional sequences; additional images; oblique images; anterior cruciate ligament.*

Дополнительные протоколы МРТ-обследования передней крестообразной связки – стандарт диагностики или прихоть исследователей? (Обзор)

Коструб А.А., Котюк В.В., Подик В.А., Мазевич В.Б., Третьяков Р.А., Смирнов Д.А., Засаднюк И.А. ГУ "Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины", г. Киев

Резюме. *Стандартные протоколы МРТ-исследования коленного сустава при подозрении на повреждение передней крестообразной связки (ПКС) предусматривают проведение томографии в трех взаимно перпендикулярных плоскостях – корональной, сагиттальной, аксиальной. Современные методы лечения (особенно рефиксация ПКС, пластика отдельных пучков ПКС) и реабилитации требуют более точной диагности-*

ки не только самого факта повреждения, но и его четкой локализации, степени и давности. Особенно трудно оценить характер и степень повреждения ПКС в острый период и при частичных ее повреждениях. Поэтому для улучшения диагностики повреждений ПКС мы предлагаем ввести в стандарт ее МРТ-исследования дополнительное применение косых сагиттальных (кососагиттальных) и косых коронарных (косокоронарных) срезов, ориентированных под углом наклона волокон ПКС с уменьшенными до 0-2 мм межсрезовыми интервалами в зоне собственно передней крестообразной связки. Для уменьшения продолжительности исследования можно ограничиться небольшим количеством срезов в дополнительных проекциях только на область собственно ПКС.

Ключевые слова: обзор; МРТ; дополнительные проекции; дополнительные срезы; косые срезы; передняя крестообразная связка.

Відомості про авторів:

Коструб Олександр Олексійович – доктор медичних наук, професор, завідувач відділом спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: akostrub@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7925-9362>.

Котюк Віктор Володимирович – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: kotyuk_v@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8837-8603>.

Подік Володимир Анатолійович – молодший науковий співробітник відділу спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: podikvolodymyr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4644-9159>.

Мазевич Вадим Борисович – науковий співробітник відділу діагностики ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: vadim.doctor.trm@gmail.com.

Третьяков Роман Анатолійович – лікар-рентгенолог відділу діагностики ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-6373>.

Смірнов Дмитро Олексійович – кандидат медичних наук, лікар ортопед-травматолог відділу спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: sporttrauma@gmail.com.

Засаднюк Іван Андрійович – кандидат медичних наук, науковий співробітник відділу спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. E-mail: zasadnyuk@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1099-4454>.

Information about authors:

Kostrub Olexandr Oleksiiovych – D.Med.Sc., professor, head of the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: akostrub@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7925-9362>.

Kotiuk Viktor Volodymyrovych – Ph.D. in Medicine, senior researcher at the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: kotyuk_v@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8837-8603>.

Podik Volodymyr Anatoliiovych – junior researcher at the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: podikvolodymyr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4644-9159>.

Mazevych Vadym Borysovych – researcher at the Department of Functional Diagnosis and Roentgenology, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: vadim.doctor.trm@gmail.com.

Tretiakov Roman Anatoliiovych – roentgenologist at the Department of Functional Diagnosis and Roentgenology, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-6373>.

Smirnov Dmytro Oleksiiovych – Ph.D. in Medicine, orthopedic traumatologist at the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: sporttrauma@gmail.com.

Zasadnyuk Ivan Andriiovych – Ph.D. in Medicine, researcher at the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: zasadnyuk@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1099-4454>.

Сведения об авторах:

Коструб Александр Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом спортивной и балетной травмы ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: akostrub@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7925-9362>.

Котюк Виктор Владимирович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела спортивной и балетной травмы ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: kotyuk_v@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8837-8603>.

Подик Владимир Анатольевич – младший научный сотрудник отдела спортивной и балетной травмы ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: podikvolodymyr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4644-9159>.

Мазевич Вадим Борисович – научный сотрудник отдела диагностики ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: vadim.doctor.trm@gmail.com.

Третьяков Роман Анатольевич – врач-рентгенолог отдела диагностики ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-6373>.

Смирнов Дмитрий Алексеевич – кандидат медицинских наук, врач ортопед-травматолог отдела спортивной и балетной травмы ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: sporttrauma@gmail.com.

Засаднюк Иван Андреевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела спортивной и балетной травмы ГУ “Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины”, ул. Бульварно-Кудрявская, 27, Киев, 01601, Украина. E-mail: zasadnyuk@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1099-4454>.

Для листування: Котюк Віктор Володимирович, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник, відділ спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. Тел. +38(068)3214287. E-mail: kotyuk_v@ukr.net.

For correspondence: Kotiuk Viktor V., Ph.D. in Medicine, senior researcher, the Department of Sports and Ballet Injuries, SI “Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine”, 27 Bulvarno-Kudriavska St., Kyiv, 01601, Ukraine. Tel. +38(068)3214287. E-mail: kotyuk_v@ukr.net.

Для кореспонденції: Котюк Віктор Володимирович, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник, відділ спортивної та балетної травми ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, вул. Бульварно-Кудрявська, 27, Київ, 01601, Україна. Тел. +38(068)3214287. E-mail: kotyuk_v@ukr.net.