

СТАНДАРТИЗОВАНА ОЦІНКА ЯКІСНИХ ТА КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МР-ТРАКТОГРАФІЇ КОРТИКО-СПІНАЛЬНОГО ТРАКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФУЗІЙНОЇ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Робак К.О., Чувашова О.Ю.

Відділ нейрорадіології та радіонейрохірургії

ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України», м. Київ

РЕЗЮМЕ. Мета. Визначити якісні та кількісні характеристики кортико-спінального тракту в нормі у неврологічно здорових осіб за допомогою МР-трактографії та дифузійно-тензорної томографії.

Матеріали та методи. МРТ-дослідження з побудовою МР-трактограм проводилося 34 здоровим особам. Загальна кількість змодельованих КСТ – 68. Дослідження проводилося на томографі Philips Intera 1,5 T (Філіпс, Нідерланди). Середній вік хворих – 30 років, вікові межі – від 9 до 66 років.

Результати. Нами визначені можливі варіанти початку КСТ, особливості формування його основного пучка та хід тракту від рухової кори до внутрішньої капсули. Були вивчені кількісні параметри реконструйованих КСТ із визначенням діапазонів норми для кількісних показників дифузії ФА та ВКД.

Висновки. Стан тракту, який може бути оцінений із використанням діапазонів норми для кількісних параметрів, та особливості формування його основного пучка слід враховувати на етапі передопераційного планування та під час вибору підходу хірургічного втручання у пацієнтів із внутрішньомозковими пухлинами. **Ключові слова:** дифузійна магнітно-резонансна томографія, дифузійно-тензорна томографія, МР-трактографія, кортико-спінальний тракт.

ВСТУП

У науковій літературі досить широко висвітлені та вивчені такі анатомічні функціональні зони кори, як первинна моторна кора, первинна сенсорна кора, зорова кора, ділянки Верніке та Брока й основні провідні пучки білої речовини (наприклад кортико-спінальний тракт, мозолясте тіло) [3, 4]. У функціональному плані головний мозок розглядається як інтегрований мульти-мережевий орган (integrated multi-networked organ) [7], де складні нейрокогнітивні функції мозку залежать від динамічної взаємодії декількох ділянок, що працюють як одна єдина велика мережа [8]. Ця мережа є результатом незліченних з'єднань різних ділянок головного мозку, що генетично зумовлені і тому мають відмінності (варіабельність) у різних індивідуумів [10, 11]. Зміни, що виникають унаслідок росту патологічного об'ємного процесу, змінюють стан функціональної анатомії і потребують індивідуального поглибленого вивчення у кожному конкретному випадку.

Одним із методів для дослідження провідних шляхів є дифузійна магнітно-резонансна томографія (ДМРТ) [1, 9, 12, 13], яка дозволяє визначити стан провідних пучків білої речови-

ни за допомогою дифузійно-тензорної томографії (ДТТ) та магнітно-резонансної трактографії [1, 9, 12, 13]. Тракти реконструйовані за допомогою ДТТ – це складні математичні об'єкти. Кортико-спінальний тракт (КСТ) належить до одного з основних нейронних шляхів між моторною корою та спинним мозком та є посередником довільних рухів [5, 6]. Точна ідентифікація КСТ та оцінка його стану при патологічних процесах має важливе діагностичне та прогностичне значення у клінічній неврології та нейрохірургії [1, 2, 9, 12, 13].

Детальне вивчення варіантів розташування КСТ за даними МР-трактографії серед здорових осіб дозволить знизити ймовірність отримання помилкових графічних зображень, зокрема кортико-спінальних трактів, як таких що мають найбільшу функціональну значущість. Різниця між нормальними значеннями дифузії у КСТ порівняно із КСТ за наявності пухлинного ураження може бути маркером ураження тракту, його пухлинної інфільтрації. Крім того, траєкторія КСТ у місцях його проходження крізь задню ніжку внутрішньої капсули, у ніжці мозку та стовбурі мозку незмінна, легко передбачувана, але ділянка початку тракту та його шлях на рівні семіовального

центру та променистого вінця мають відмінності (варіабельні) не тільки у різних осіб, але й між правим та лівим КСТ у однієї і тієї ж особи.

МЕТА

Визначити якісні та кількісні характеристики кортико-спінального тракту в нормі у неврологічно здорових осіб за допомогою МР-трактографії та дифузійно-тензорної томографії.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

МРТ-дослідження з побудовою МР-трактограм проводили 34 умовно здоровим особам, які мали певні скарги, але МР-картина головного мозку в усіх обстежених осіб відповідала віковій нормі. У кожної особи окремо реконструювали правий та лівий кортико-спінальні шляхи. Загальна кількість змодельованих КСТ – 68. Дослідження проводилося на МР-томографі Philips Intera 1,5 T (Філіпс, Нідерланди). Середній вік хворих – 30 років, вікові межі – від 9 до 66 років. Дослідження включало стандартну МРТ та імпульсну послідовність ДТЗ (DwiSE) з використанням технології паралельного сканування SENSE [1]. Обробку даних, побудову та реконструкцію МР-трактограм проводили на автоматичній станції Dell Precision Workstation 690. Тракти моделювалися в довільному кольорі. Оцінка параметрів КСТ за даними ДТТ здійснювалась шляхом вимірювання показників дифузії: фракційної анізотропії (ФА) та вимірюваного коефіцієнта дифузії (ВКД), та обчислення індексу асиметрії.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У дослідженні ми визначали такі варіанти початку змодельованих КСТ у ділянці моторної

кори: переважно КСТ починався в ділянці заднього відділу верхньої лобової звивини та медіальної третини передцентральної звивини – 22,1% (15 спостережень) (рис. 1), наступними за частотою спостережень були ділянки заднього відділу верхньої лобової звивини, медіальної третини передцентральної звивини, середньої третини передцентральної звивини та її крючка в однаковій кількості спостережень – 16,2% (11) (рис. 2). Інші ділянки відходження волокон тракту спостерігали значно рідше: середня та латеральна третини передцентральної звивини 7,3% (5 випадків), медіальна та середня третини передцентральної звивини 5,9% (4), симетричні відділи перед- та зацентральної звивин (медіальні, середні або латеральні відповідно) 5,9% (4), задній відділ середньої лобової звивини та середня третина передцентральної звивини 4,4% (3), крючок та

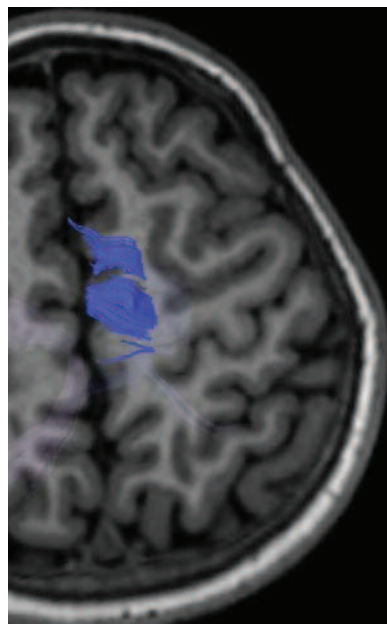


Рис. 1. Пацієнт М., 10 років. МР-трактограма. КСТ (синім) починається в ділянці заднього відділу верхньої лобової звивини та медіальної третини передцентральної звивини

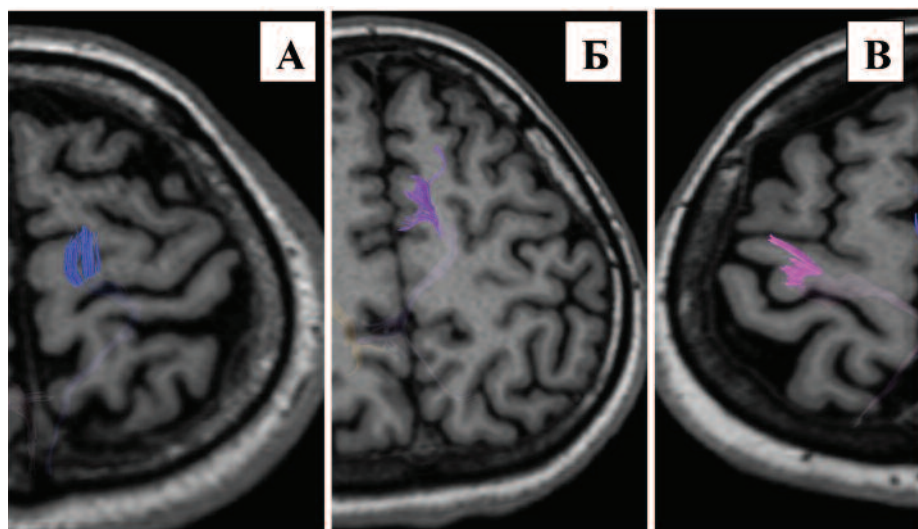


Рис. 2. Варіанти розташування початку КСТ у різних осіб. МР-трактограми: **А** – КСТ (синім) починається від медіальної третини передцентральної звивини, **Б** – КСТ (бузковим) починається від заднього відділу верхньої лобової звивини, **В** – КСТ (рожевим) починається від середньої третини передцентральної звивини та її крючка

латеральна третина передцентральної звивини 4,4% (3 випадки).

Відповідно залежно від місця відходження КСТ ми візуалізували різні варіанти форми траєкторії тракту протягом від його початку і до рівня внутрішньої капсули. Коли тракт починався від медіальних відділів, то, прямуючи донизу, його хід відхилявся латерально відповідно розташуванню внутрішньої капсули, тобто траєкторія його була подібна до дуги опуклістю назовні. Дугоподібну траєкторію спостерігали у 36 (52,9%) пацієнтів. У випадках, коли тракт мав початок від середніх або латеральних відділів, хід тракту відхилявся медіально і його траєкторія наближалась до прямої, що відмічали у 28 (41,2%) спостереженнях. У 4 (5,9%) пацієнтів траєкторія тракту була звивиста (рис. 3).

Під час співставлення варіантів траєкторії КСТ у однієї і тієї ж особи в більшій кількості спостережень (28, 82,3%) ми відзначали різні за формою траєкторії правого та лівого кортико-спінальних трактів. У переважній кількості

випадків візуалізували поєднання дугоподібної траєкторії та прямої (24 спостереження, 70,6%), значно рідше один із трактів мав звивисту траєкторію (4, 11,7%) або траєкторії трактів були подібні, тобто мали дугоподібну траєкторію (4, 11,7%) або обидва тракти мали прямий шлях (2 випадки, 5,9%) (рис. 4). Звертає на себе увагу, що дугоподібну траєкторію частіше мав правий КСТ, а пряму – лівий КСТ. Отже, правий кортико-спінальний тракт частіше починався в медіальних відділах зони рухової (моторної) кори і, відповідно, мав дугоподібну траєкторію (47,1%, 32 випадки), тоді як траєкторія лівого КСТ частіше наближалась до прямої (38,2%, 26 випадків).

Також були певні особливості у формуванні основного пучка тракту: тракт міг починатися від зони моторної кори одним (30 спостережень, 44,1%) або декількома пучками (15 спостережень, 22%), або тракт мав початок широкою та пласкою групою волокон, що за формою нагадувала віяло (віялоподібне відходження волокон) (23 спостереження, 33,9%) (рис. 5).

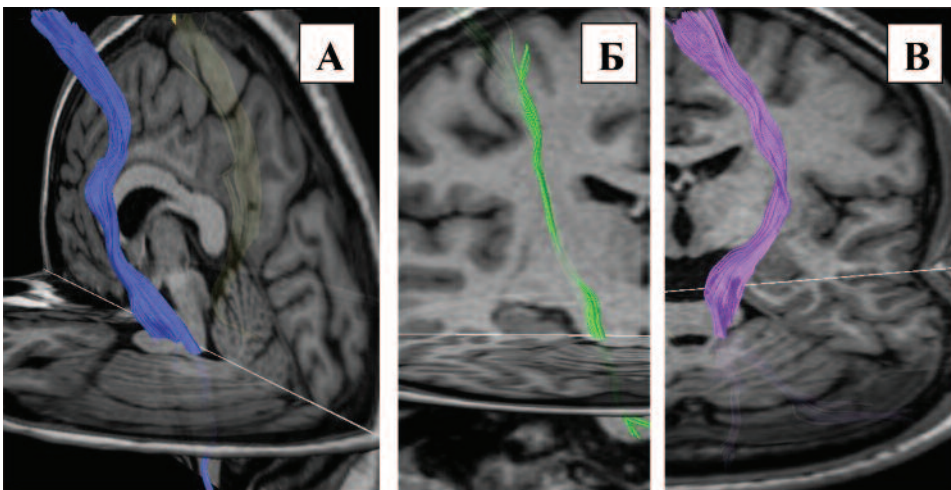


Рис. 3. МР-трактограми демонструють варіанти траєкторії тракту в різних осіб: **А** – звивиста (КСТ синім), **Б** – пряма (КСТ зеленим), **В** – дугоподібна (КСТ рожевим)

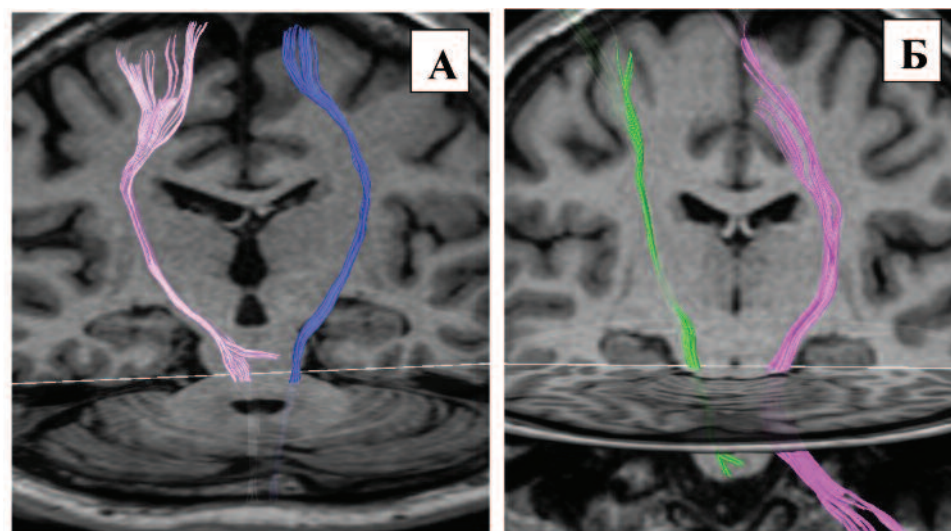


Рис. 4. МР-трактограми. У однієї і тієї ж особи спостерігається поєднання різних за формою траєкторій: **А** – Пацієнт М., 63 роки. Траєкторії обох КСТ дугоподібні; **Б** – Пацієнтка С., 39 років. Поєднання трактів із прямою траєкторією (зеленим) та дугоподібною (рожевим).

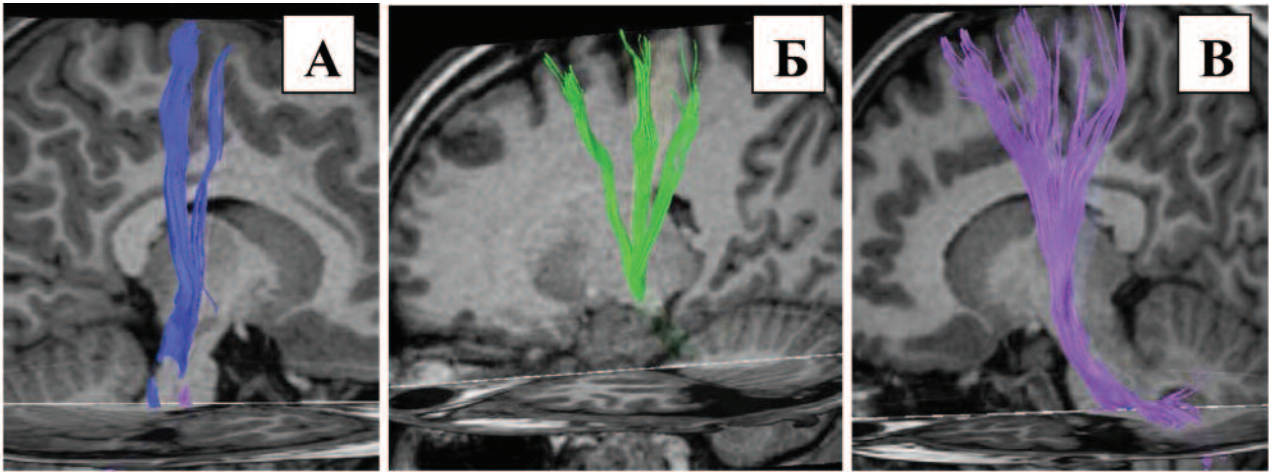


Рис. 5. МР-трактограми демонструють варіанти формування основного пучка КСТ у різних осіб: **А** – два пучки, **Б** – три пучки, **В** – віялоподібний

У випадках, коли тракт починався кількома пучками (15 спостережень, 22%), останні утворювали єдиний тракт (зливалися) або на рівні променистого вінця (7, 46,7%), або на рівні внутрішньої капсули (8, 53,3%). Якщо пучків волокон у тракті виявляли декілька, то переважно — два пучки (10 спостережень, 66,7%), значно рідше — три (3, 20%), і ще рідше більшу кількість пучків (2, 13,3%). Також у однієї й тієї ж особи правий та лівий КСТ виявляли як різними (21 випадок, 61,7%), так і однаковими за розміром (13, 38,3%).

Під час визначення кількісних характеристик КСТ вимірювали такі показники дифузії –

фракційну анізотропію (ФА) та вимірюваний коефіцієнт дифузії (ВКД) (табл. 1). У дослідженні ми зосередилися на цих показниках тому, що вони мають важливе клінічне значення та доступну для більшості лікарів інтерпретацію.

Визначали показники дифузії окремо у правому та лівому кортико-спінальних трактах (табл. 2, 3). Таким чином, ми виявили, що, за нашими даними, показники дифузії у правому та лівому КСТ були подібні.

Визначені можливі варіанти початку КСТ, особливості формування його основного пучка та хід тракту від рухової кори до внутрішньої капсули слід враховувати на етапі пла-

Таблиця 1

Значення ФА та ВКД в КСТ у нашій вибірці здорових осіб

Показник дифузії	max значення ×10 ⁻³ мм ² /с	min значення ×10 ⁻³ мм ² /с	Середнє значення ×10 ⁻³ мм ² /с	Найбільш частий діапазон значень ×10 ⁻³ мм ² /с
ФА	0,651±0,217	0,434±0,152	0,559±0,183	0,540 - 0,610
ВКД	0,975±0,454	0,700±0,236	0,831±0,278	0,750 - 0,880

Таблиця 2

Показники ФА та ВКД у правому КСТ у здорових осіб

Показник дифузії	max значення ×10 ⁻³ мм ² /с	min значення ×10 ⁻³ мм ² /с	Середнє значення ×10 ⁻³ мм ² /с	Найбільш частий діапазон значень ×10 ⁻³ мм ² /с
ВКД	0,975±0,454	0,714±0,247	0,852±0,289	0,780 - 0,890
ФА	0,636±0,082	0,480±0,156	0,562±0,177	0,540 - 0,590

Таблиця 3

Показники ФА та ВКД у лівому КСТ у здорових осіб

Показник дифузії	max значення $\times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	min значення $\times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	Середнє значення $\times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$	Найбільш частий діапазон значень $\times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
ВКД	0,956 \pm 0,505	0,700 \pm 0,236	0,809 \pm 0,319	0,740 - 0,860
ФА	0,651 \pm 0,217	0,434 \pm 0,158	0,557 \pm 0,164	0,520 - 0,560

нування оперативного втручання та під час вибору хірургічного доступу у хворих на внутрішньомозкові пухлини. У випадках об'ємних патологічних процесів найбільш доцільним буде така послідовність аналізу даних МР-трактографії з визначенням: точної локалізації тракту; співвідношення та відстані тракту з об'ємним процесом; співвідношення та відстані тракту з певними прилеглими анатомічними структурами.

У свою чергу, вивчаючи кількісні параметри реконструйованих КСТ, можна виявити патологію, яка проявляється асиметрично, зокрема внутрішньомозкові пухлини, інсульт, демієлінізуючий процес тощо. Пацієнти, що мають неврологічний дефіцит, будуть мати помітну різницю з нормальними параметрами ФА, ВКД та значну різницю показників між правим та лівим КСТ.

ВИСНОВКИ

1. Розуміння нормальної анатомії, якісних та кількісних характеристики кортико-спінального тракту є необхідною ланкою діагностичного алгоритму під час дослідження хворих на пухлини головного мозку.

2. Ділянка початку КСТ вельми варіабельна, переважно КСТ починався в ділянці заднього відділу верхньої лобової звивини та медіальної третини передцентральної звивини (22,1%), заднього відділу верхньої лобової звивини (16,2%), медіальної третини передцентральної звивини (16,2%), середньої третини передцентральної звивини та її кінця (16,2%).

3. Траєкторія КСТ може бути різноманітною: дугоподібною (52,9%), прямою (41,2%) або звивистою (5,9%).

4. У однієї і тієї ж особи часто відмічали різні за формою КСТ, найчастіше спостерігалось поєднання дугоподібної траєкторії та прямої (70,6%).

5. Стан тракту, який може бути оцінений із використанням діапазонів норми для кількісних параметрів, та особливості формування його основного пучка у пацієнтів із втягненням тракту в патологічний процес слід враховувати на етапі передопераційного планування та під час вибору підходу хірургічного втручання у пацієнтів із внутрішньомозковими пухлинами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Використання дифузійно-тензорних зображень в неврологічній практиці (огляд літератури) / О.С. Сальнікова, В.І. Рудича, К.О. Робак (та ін.) // Променева діагностика, променева терапія. — 2007. — № 2. — С. 35-39.
2. Чувашова О.Ю. Изменения проводящих трактов головного мозга при злокачественных опухолях головного мозга / О.Ю. Чувашова, К.О. Робак // Лучевая диагностика, лучевая терапия. — 2014. — № 1. — С. 49-54.
3. Чувашова О.Ю. Особливості фМРТ дослідження сенсомоторної кори мозку при внутрішньомозкових пухлинах із застосуванням активної та пасивної рухової стимуляції / О.Ю. Чувашова // Зб. наук. праць співробітників НМАПО ім. П.А. Шупика. — 2009. — Вип. 18. — № 1. — С. 209-216.
4. Чувашова О.Ю. Функціональна магнітно-резонансна томографія в оцінці змін рухової зони кори головного мозку та діагностичному супроводі нейрохірургічних втручань з приводу внутрішньочерепних пухлин / О.Ю. Чувашова // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора. медич. наук: К., 2010. — С. 40.
5. Assessing a standardised approach to measuring corticospinal integrity after stroke with DTI / C. Park, N. Kou, M-H. Boudrias, E.D. Playford, N.S. Ward // Neurolmage: clinical. — 2013. — N2. — P. 521-533.
6. Assessment of corticospinal tract (CST) damage in acute stroke patients: Comparison of tract-specific analysis versus segmentation of a CST template / P. Vargas, M. Gaudron, R. Vala-brègue

(et al.) // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. — 2013. — N 37. — P. 836-845.
7. de Benedictis A. Brain hodotopy: from esoteric concept to practical surgical applications / A. de Benedictis, H. Duffau // *Neurosurgery*. — 2011. — V. 68, N 6. — P. 1709-1723.
8. Bressler S.L. Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles / S.L. Bressler, V. Menon // *Trends. Cogn. Sci.* — 2010. — V. 14, N 6. — P. 277-290.
9. Glioblastoma Multiforme: Utilization of Advanced MRI Techniques for Preoperative Planning / D. Raghavan, J. Boxerman, J. Rogg, R. Cosgrove // *Medicine & Health Rhode Island*. — 2012. — V. 95, N 2. — P. 42-43.
10. Network structure of cerebral cortex shapes functional connectivity on multiple time scales /

C.J. Honey, R. Kötter, M. Breakspear, O. Sporns // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. — 2007. — V. 104, N 24. — P. 10240-10245.
11. Passingham R.E. The anatomical basis of functional localization in the cortex / R.E. Passingham, K.E. Stephan, R. Kötter // *Nat. Rev. Neurosci.* — 2002. — V. 3, N 8. — P. 606-616.
12. Role of diffusion tensor magnetic resonance tractography in predicting the extent of resection in glioma surgery / A. Castellano, L. Bello, C. Michelozzi (et al.) // *J. Life Sciences & Medicine Neuro-Oncology*. — 2011. — V. 14, N 2. — P. 192-202.
13. Tractography in the study of the human brain: a neurosurgical perspective / D. Fortin, C. Aubin-Lemay, A. Boré (et al.) // *Can. J. Neurol. Sci.* — 2012. — V. 39, N 6. — P. 747-756.

СТАНДАРТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МР-ТРАКТОГРАФИИ КОРТИКО-СПИНАЛЬНОГО ТРАКТА С ПОМОЩЬЮ ДИФфуЗИОННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Робак К.О., Чувашова О.Ю.

ГУ «Институт нейрохирургии им. акад.

А.П. Ромоданова НАМН Украины»,

отдел нейрорадиологии и радионейрохирургии,
г. Киев, Украина

A STANDARDIZED ASSESSMENT OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE MR-TRACTOGRAPHY OF CORTICOSPINAL TRACT BY USING DIFFUSION MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Robak K., Chuvashova O.

Department of neuroradiology

and radioneurosurgery, the State institution

"Institute of neurosurgery. n. acad.

A Romodanov NAMS of Ukraine", Kiev, Ukraine

РЕЗЮМЕ. Цель. Определить качественные и количественные характеристики кортико-спинального тракта в норме у неврологически здоровых лиц с помощью МР-трактографии и диффузионно-тензорной томографии.

Материалы и методы. МРТ-исследования с построением МР-трактограмм проводилось 34 здоровым лицам. Общее количество смоделированных КСТ — 68. Исследование проводилось на томографе Philips Intera 1,5 T (Филипс, Нидерланды). Средний возраст больных — 30 лет, возрастной диапазон — от 9 до 66 лет.

Результаты. Нами определены возможные варианты начала КСТ, особенности формирования его основного пучка и ход тракта от двигательной коры до внутренней капсулы. Были изучены количественные параметры реконструированных КСТ с определением диапазонов нормы для количественных показателей диффузии FA и VKD.

Выводы. Состояние тракта, которое может быть оценено с использованием диапазонов нормы для количественных параметров, и особенности формирования его основного пучка следует учитывать в предоперационном планировании и при выборе подхода хирургического вмешательства у пациентов с внутримозговыми опухолями.

Ключевые слова: диффузионная магнитно-резонансная томография, диффузионно-тензорная томография, МР-трактография, кортико-спинальный тракт.

SUMMARY. Aim. To determine the qualitative and quantitative characteristics of normal corticospinal tract in neurologically healthy individuals by using MR-tractography and diffusion tensor imaging.

Materials and methods. MRI with MR tractography have been conducted to 34 healthy persons. The total number of simulated CST — 68. The study has been conducted on tomograph Philips Intera 1.5 T (Philips, The Netherlands). The average age of patients — 30 years, age range — from 9 to 66 years.

Results. We have identified options for the beginning of the CST, features of formation of its main beam and the course of the motor cortex to the internal capsule. Quantitative parameters of reconstructed CST have been studied with determination of the range standards for quantitative diffusion indicators FA and ADC.

Conclusions. Path conditions that can be evaluated by using range standards for quantitative parameters, and features of formation of its main beam, should be considered in preoperative planning and in choosing of surgical approach in patients with intracerebral tumors.

Keywords: diffusion magnetic resonance imaging, diffusion tensor imaging, MR-tractography, corticospinal tract.