

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-4-95-115>

## Нормальная анатомия проводящих путей головного мозга: что нужно знать нейрорентгенологу (обзор литературы)

А. С. Филатов\*, Е. И. Кремнева, М. С. Матросова,  
В. В. Трубицына, Л. А. Добрынина, М. В. Кротенкова

ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва

### The Normal Anatomy of the Brain Pathways: What the Neuroradiologist Needs to Know (Literature Review)

A. S. Filatov\*, E. I. Kremneva, M. S. Matrosova,  
V. V. Trubitsyna, L. A. Dobrynina, M. V. Krotenkova

Research Center of Neurology, Moscow

#### Реферат

С помощью диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии (ДТ-МРТ) можно визуализировать большинство проводящих путей головного мозга, количественно оценить их целостность и даже предположить ведущий механизм повреждения (демиелинизация или ишемия). Однако использование данного метода затруднительно без хороших знаний анатомии. В статье приводятся имеющиеся в литературе сведения о строении и функциях основных проводящих путей головного мозга.

**Ключевые слова:** диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография, проводящие пути головного мозга.

#### Abstract

Diffusion-tensor magnetic resonance imaging (DT-MRI) allows imaging of most brain pathways, quantifying their integrity and even suggesting a leading mechanism of damage (demyelination or ischemia). However, it is difficult to use this technique without a good knowledge of the anatomy. This article provides an overview of the literature on the structure and function of the main brain pathways.

**Key words:** Diffusion-Tensor Magnetic Resonance Imaging, Brain Pathways.

\* **Филатов Алексей Сергеевич**, аспирант, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва.

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: fil4tovmd@gmail.com

**Filatov Alexey Sergeevich**, Postgraduate, Radiologist of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.  
Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: fil4tovmd@gmail.com

## Актуальность

Проводящие пути (ПП) центральной нервной системы (ЦНС) — это группы нервных волокон, связывающие различные отделы головного и спинного мозга и характеризующиеся общностью строения и функций. В зависимости от величины, формы и направления совокупности нервных волокон, формирующих ПП, называют путями или трактами (*tractus*), пучками (*fasciculi*), волокнами (*fibrae*), спайками (*commissurae*), петлями (*ansae*, *lemnisci*) или лучистостями (*radiationes*).

Важным шагом в изучении анатомии белого вещества головного мозга стало открытие Джозефа Клингера, описавшего в 1935 г. технику фиксации препаратов мозга в 10 %-ном растворе формалина на протяжении 3 нед, с последующей их заморозкой при  $-16^{\circ}\text{C}$  на тот же срок. Будучи гидрофильной молекулой, формалин не способен проникнуть через гидрофобные миелиновые оболочки аксонов, благодаря чему растущие кристаллы льда постепенно

раздвигают нервные волокна, не нарушая при этом их целостности [3].

Внедрение в клиническую практику метода магнитно-резонансной томографии (МРТ), а именно высокопольных 1,5-теслового (1985) и 3-тесловых (1998) сканеров, дало возможность исследовать анатомию головного мозга и ПП *in vivo* [14]. При рутинном МРТ-исследовании головного мозга можно проследить некоторые тракты, в частности, на срединных срезах в сагиттальной плоскости прослеживается мозолистое тело, передняя и задняя спайки, тело и ножки свода мозга (рис. 1). Однако большинство ПП в стандартных МРТ-режимах трудноразличимы.

В начале 1990-х гг. Питер Бассер и Денис ле Биан впервые использовали метод диффузионно-тензорной МРТ (ДТ-МРТ) для визуализации ПП головного мозга. Данный метод основан на определении направления и выраженности диффузии воды в каждом вокселе изображения. Поскольку белое вещество

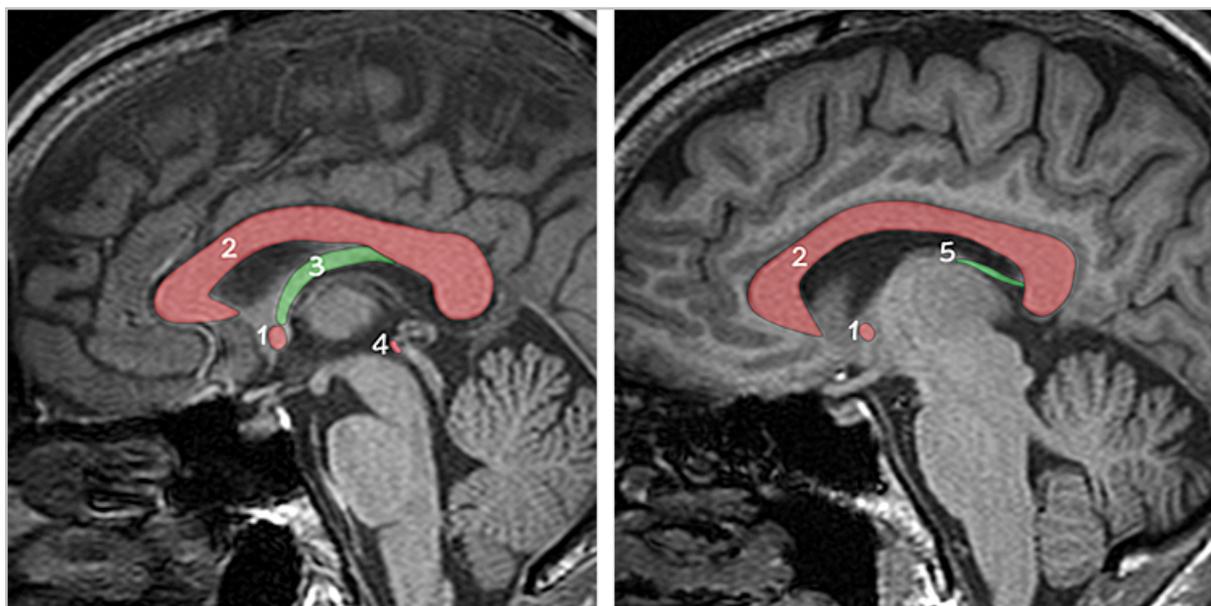


Рис. 1. МР-томограммы; режим T1 MPR, сагиттальная плоскость: 1 — передняя спайка; 2 — мозолистое тело; 3 — тело свода мозга; 4 — задняя спайка; 5 — ножка свода мозга

головного мозга состоит из миллиардов вытянутых аксонов, покрытых миелиновой оболочкой, молекулам воды легче диффундировать вдоль хода волокон ПП, так как миелиновые оболочки препятствуют ее движению в других направлениях. Анализируя выраженность и траекторию преимущественного направления диффузии воды в соседних вокселях, можно визуализировать ход ПП головного мозга путем построения цветowych двумерных карт фракционной анизотропии (ФА) (рис. 2) или трехмерных изображений самих трактов на основании этих карт [6].

ФА является скалярной величиной со значениями от нуля до единицы, которой описывают степень анизотропии диффузии, т.е. выраженность ее распространения в каком-то одном направлении. Если ФА равна 0 — диффузия изотропна, т.е. не ограничена (или одинаково ограничена) во всех направлениях, если ФА равна 1 — диффузия происходит только вдоль одной оси и

полностью ограничена во всех других направлениях. Метод позволяет закодировать цветом воксели с преимущественным направлением диффузии по 3 направлениям: красным — «вправо-влево», зеленым — «вперед-назад», синим — «вверх-вниз» (рис. 2). На основании карт ФА моделируют ПП в трехмерном пространстве, но при этом нужно обязательно помнить, что визуализируемые таким образом ПП — это лишь модель и число «трубочек» в составе трактов не равняется числу аксонов, а лишь пропорционально их общему объему. В нейрорентгенологии визуализируемые ПП, как правило, называют трактами, а метод их построения — МР-трактографией.

С помощью ДТ-МРТ были подробно описаны и дополнены анатомические данные не только для ранее известных пучков, например верхнего продольного, дугообразного, нижнего лобно-затылочного, крючковидного, но также были описаны новые, до этого неизвестные ПП — лобный косой пучок, средний про-

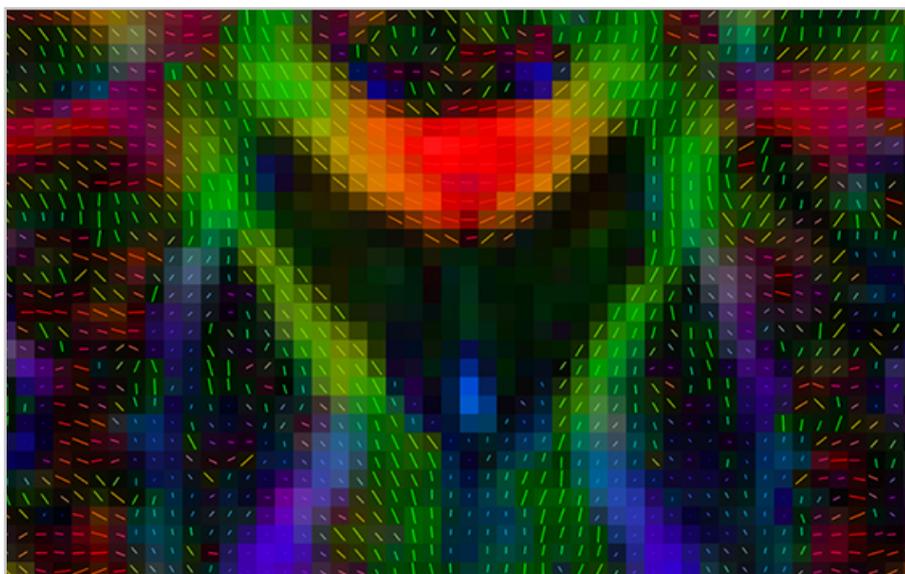


Рис. 2. МР-томограмма; цветовая карта фракционной анизотропии, аксиальная плоскость. Преимущественное направление диффузии воды обозначено цветом и линиями (глифами): красный — «вправо-влево»; зеленый — «вперед-назад»; синий — «вверх-вниз»

дольный пучок. Принципиально изменился подход к хирургическим вмешательствам в функционально значимых областях мозга [6]. Однако использование данного метода затруднительно без хорошего знания анатомии ПП головного мозга.

**Цель:** представить краткое современное описание анатомии и функций основных ПП головного мозга.

### Основные проводящие пути головного мозга

На цветовых картах ФА разные группы ПП, как уже отмечалось выше, закодированы 3 основными цветами: ассоциативные волокна – зеленым цветом, так как они имеют преимущественно переднезаднее направление; комиссуральные волокна – красным цветом, так как их волокна проходят слева направо (или наоборот); проекционные волокна – синим цветом, так как они имеют краниокаудальное и каудокраниальное направления.

#### Ассоциативные волокна

Ассоциативные волокна (рис. 3) бывают короткими и длинными.

Длинные ассоциативные волокна соединяют анатомически удаленные, но функционально связанные участки коры в пределах одного полушария головного мозга. К ним относят: верхний, средний и нижний продольные пучки, нижний лобно-затылочный пучок, крючковидный пучок, поясную извилину и свод мозга [28].

#### Верхний продольный пучок (*superior longitudinal fasciculus*)

Анатомия: в старых учебниках анатомии верхний продольный пучок (*superior longitudinal fasciculus*) описывали как

горизонтально ориентированную группу волокон, соединяющую задние отделы теменной доли с латеральными отделами лобной коры (Dejerine, 1895).

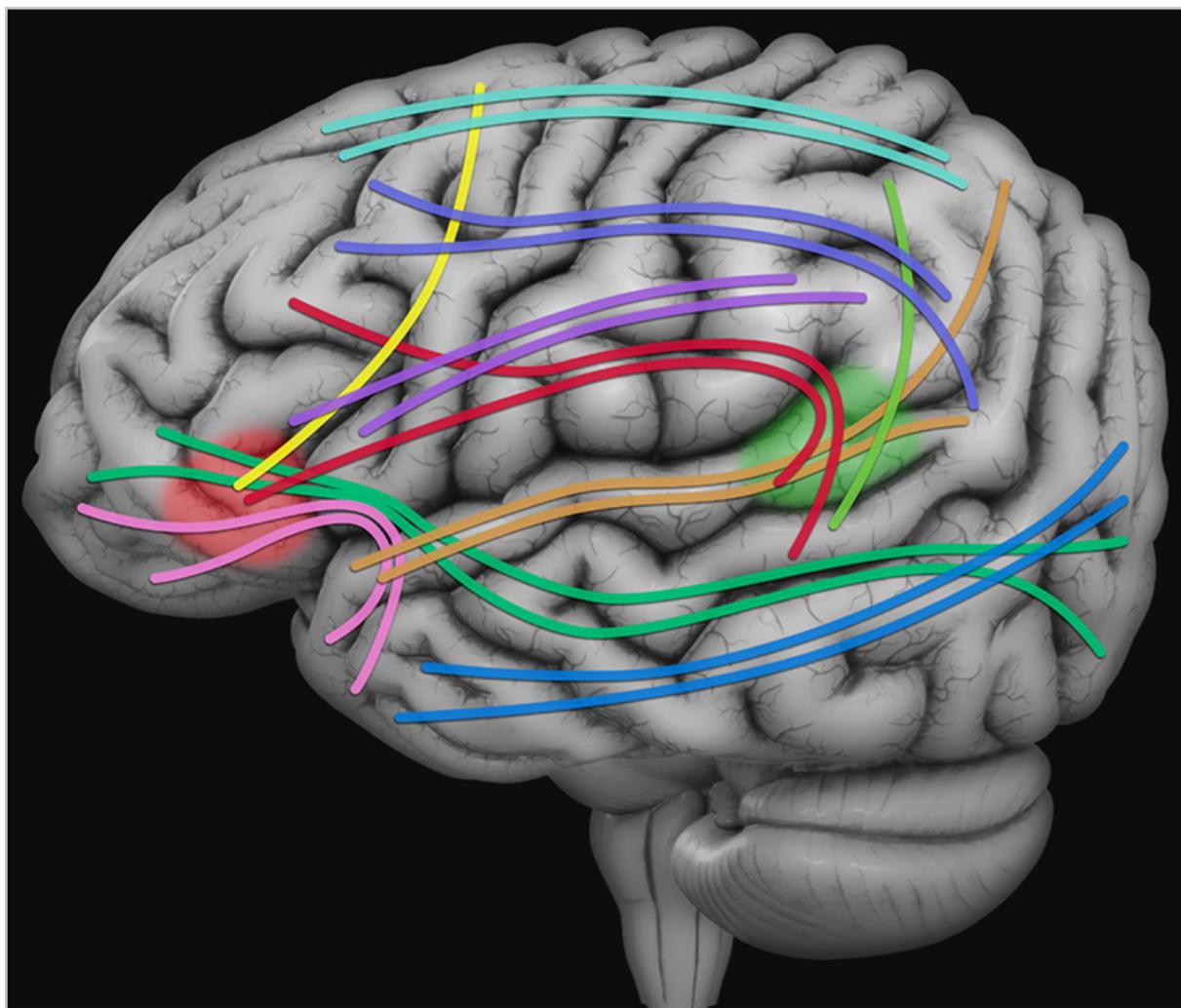
В результате сравнительных трактографических исследований головного мозга людей и обезьян было обнаружено, что верхний продольный пучок состоит из 3 ветвей:

- первая ветвь (SLF-I) соединяет верхнюю теменную долю (поле 5) и предклинье (поле 7) с верхней лобной извилиной (поля 8, 9, 32) и передними отделами поясной извилины (поле 24);
- вторая ветвь (SLF-II) берет начало в передних отделах внутритеменной борозды и в угловой извилине (поля 39, 40) и заканчивается в задних отделах верхней и средней лобной извилин (поля 6, 8, 9);
- третья ветвь (SLF-III) соединяет внутритеменную борозду и нижнюю теменную долю с нижней лобной извилиной (поля 44, 45, 47) [30].

Ряд авторов включают в его состав также дугообразный пучок и височно-теменной компонент, который связывает нижнюю теменную долю с задними отделами верхней височной извилины (SLF TP), выделяя 3 основные группы волокон:

- 1) горизонтальный сегмент, или лобно-теменная часть (SLF-I, SLF-II, SLF-III);
- 2) вертикальный сегмент, или височно-теменная часть (SLF TP);
- 3) лобно-височный сегмент, или дугообразная часть (дугообразный пучок) [18].

Дугообразный пучок (*arcuate fasciculus*) состоит из 2 основных групп волокон:



- — первая ветвь верхнего продольного пучка (SLF-I);
- — вторая ветвь верхнего продольного пучка (SLF-II);
- — третья ветвь верхнего продольного пучка (SLF-III);
- — височно-теменной компонент верхнего продольного пучка (SLF TP);
- — дугообразный пучок;
- — средний продольный пучок;
- — нижний продольный пучок;
- — нижний лобно-затылочный пучок;
- — крючковидный пучок;
- — лобный косой пучок.

Рис. 3. Схематическое изображение ассоциативных проводящих путей на латеральной поверхности полушария большого мозга. Участок верхней височной извилины, обозначенный зеленым цветом, — зона Вернике; участок нижней лобной извилины, обозначенный красным цветом, — зона Брока

- путь STG (superior temporal gyrus pathway), или вентральный сегмент, соединяет задние отделы верхней височной извилины (поля 41 и 42) с нижней лобной извилиной (поля 44 и 45 — зона Брока) [30];
- путь MTG (middle temporal gyrus pathway), или дорсальный сегмент, соединяет среднюю и нижнюю височные извилины (поля 21, 22, 37) с нижними отделами прецентральной извилины (поле 6) и задними отделами средней и нижней лобной извилин (поля 8, 9, 44 и 45) [30].

Функции: относительно поверхностные повреждения дугообразного пучка связывают с возникновением проводниковой (кондуктивной) афазии, когда пациент не может повторить то, что он услышал. Более грубые поражения, затрагивающие всю толщину дугообразного пучка, приводят к транскортикальной афазии (нарушена спонтанная речь, понимание грамматически сложных предложений, возникают проблемы с названием предметов) [4]. Повреждение SLF-I вызывает трудности с выполнением действий, которые опираются на ранее полученный опыт. SLF-II передает информацию о видимом пространстве из теменной доли в префронтальную кору. Его повреждение связывают с расстройствами пространственной памяти, сложностями при фокусировке внимания на нескольких предметах. SLF-III играет важную роль в артикуляционном компоненте речи [23]. Поражение височно-теменного компонента верхнего продольного пучка связывают с развитием синдрома пространственного игнорирования (синдром неглекта) и зрительного угасания (утрата способности воспринимать стимулы одновременно из обоих полей зрения).

#### Средний продольный пучок (middle longitudinal fasciculus)

Анатомия: соединяет угловую извилину (поле 39) с верхней височной извилиной (поле 22) и полюсом височной доли (поле 38). В некоторых случаях выявляются дополнительные волокна, достигающие верхней теменной доли, клина и язычной извилины. Средний продольный пучок проходит медиальнее дугообразного пучка и SLF-II, выше и латеральнее нижнего лобно-затылочного пучка, дорсальнее нижнего продольного пучка [13].

Функции: прямая электростимуляция среднего продольного пучка не приводит к возникновению парафазий. Более того, хирургическая резекция его передней порции не влияет на способность пациента называть предметы. Эти данные опровергают первоначальные предположения, что средний продольный пучок является важной частью речевого центра, по всей видимости, он принимает участие лишь в компенсаторных механизмах [13].

#### Нижний продольный пучок (inferior longitudinal fasciculus)

Анатомия: проходит преимущественно в глубине веретенообразной (фузиформной) извилины и связывает передние отделы височной доли с задними отделами затылочной доли. Latini et al. [21] описали 4 ветви данного пучка:

- 1) веретенообразная ветвь — связывает веретенообразную (фузиформную) извилину с передними отделами височной доли;
- 2) дорсолатеральная затылочная ветвь — связывает верхнюю, среднюю и нижнюю затылочную извилины с передними отделами височной доли;

- 3) язычная ветвь – связывает язычную извилину с передней частью средней височной извилины;
- 4) клиновидная ветвь – связывает клин с передними отделами мезиальной височной доли.

Функции: одни функции нижнего продольного пучка преимущественно симметричны (распознавание предметов), тогда как другие имеют тенденцию к латерализации: в правом полушарии нижний продольный пучок участвует в распознавании лиц, работе зрительной памяти; в левом – отвечает за обработку семантического/лексического материала, анализ эмоций [21]. В недавнем исследовании Ashtari et al. [8] отмечено значимое снижение ряда диффузионных метрик (преимущественно фракционной анизотропии) в левом нижнем продольном пучке у подростков, страдающих шизофренией, по сравнению с пациентами из группы контроля. Кроме того, они обнаружили, что средние показатели ФА были ниже в подгруппе пациентов, имеющих в анамнезе зрительные галлюцинации, что может рассматриваться как структурная основа данного симптома. Аналогичные изменения правого нижнего продольного пучка были выявлены у пациентов с аутизмом.

#### Верхний лобно-затылочный пучок (*superior fronto-occipital fasciculus*)

Был выделен и описан Eichler (1878) при вскрытии пациентов, страдающих агенезией мозолистого тела. Позднее верхний лобно-затылочный пучок был описан у собак и обезьян, а в 1895 г. Dejerine показал, что он присутствует и в неизменном человеческом мозге, однако ни в одном из последующих патологоанатомических исследований дан-

ный пучок выявлен не был. Недавние исследования показали, что в человеческом мозге верхний лобно-затылочный пучок отсутствует, а то, что раньше под ним подразумевали, на самом деле является ошибочным соединением верхней ножки таламуса, терминальной полоски и задней ножки таламуса [9].

#### Нижний лобно-затылочный пучок (*inferior fronto-occipital fasciculus*)

Анатомия: связывает теменную и затылочную доли с нижними отделами лобной доли. При выполнении посмертной диссекции мозга по методу Клингера было обнаружено, что данный пучок состоит из 2 слоев [27]:

- поверхностного – соединяет лобную долю с верхней теменной долькой, верхней и средней затылочной извилинами;
- глубокого – соединяет лобную долю с нижней затылочной извилиной.

По мере того как нижний лобно-затылочный пучок продвигается от затылочной доли к височному стволу, его слои постепенно сближаются, проходя через наружную и самую наружную капсулы прямо над крючковидным пучком. Далее они направляются в лобную долю и заканчиваются преимущественно в пределах нижней лобной извилины, однако часть его волокон достигает префронтальной коры (поля 10, 11).

Функции: исходя из его анатомии, предполагается, что данный пучок играет важную роль в семантической обработке речи (понимании смысла изложенного), выполнении задач, связанных с переключением зрительного внимания, и произвольных движениях [30].

Крючковидный пучок (*uncinate fasciculus*)

Анатомия: напоминает по форме букву J. Волокна крючковидного пучка берут начало из полюса височной доли (поле 38), крючка (поле 35), парагиппокампальной извилины (поля 30, 36) и миндалевидного тела [30]. Далее они делают U-образный изгиб, проходят через наружную капсулу и перед входом в префронтальную область делятся на 3 ветви:

- 1) латеральную – направляется к коре латеральной глазничной извилины, глазничной части нижней лобной извилины (поле 47);
- 2) фронтополярную – достигает полюса лобной доли (поля 10, 11);
- 3) подколенную – направляется к коре подколенной части поясной извилины (поле 25) [11].

Функции: участвует в анализе речевой информации, регуляции эмоционального состояния, принятии решений. Изменения его структуры были описаны при болезни Альцгеймера, лобно-височной деменции, социальном тревожном расстройстве, обсессивно-компульсивном и биполярном расстройствах, шизофрении и других заболеваниях [11]. Кроме того, формирование и миелинизация крючковидного пучка завершается между вторым и третьим десятилетием жизни, что соответствует среднему возрасту дебюта многих вышеуказанных состояний.

Поясной пучок (*cingulum*)

Анатомия: поясной пучок проходит в толще поясной и парагиппокампальной извилин вдоль верхнего края мозолистого тела. Его принято подразделять на 3 сегмента [17]:

- парагиппокампальный;
- ретроспленальный;
- подколенный.

По форме поясной пучок напоминает серп, состоит из нервных волокон различной длины: самые длинные тянутся от миндалевидного тела, крючка (поле 35) и парагиппокампальной извилины (поля 30, 36) до участков орбитофронтальной коры, расположенных ниже колена мозолистого тела (поля 11, 25); более короткие, U-образные, волокна соединяют смежные отделы поясной извилины (поля 23, 24), медиальных отделов верхней лобной извилины (поля 32, 6, 8 и 9), парацентральной дольки (поле 4), предклинья (поле 7), клина (поле 19), язычной (поля 18, 19) и веретенообразной извилин (поля 19, 37) [30].

В 1937 г. Papez предложил схему лимбической системы, согласно которой поясной пучок являлся связующим звеном между передними ядрами таламуса и энторинальной корой. За последние два десятилетия было доказано, что поясной пучок также является важной частью сети пассивного режима работы мозга.

Функции: принимает участие в анализе эмоций, работе памяти. Структурные изменения поясного пучка (как и крючковидного) наблюдаются у пациентов с болезнью Альцгеймера. Снижение ФА коррелируют с атрофией серого вещества и снижением когнитивных функций [10]. Снижение ФА в мозолистом теле и поясном пучке также описаны у пациентов с биполярным расстройством.

Свод мозга (*fornix*)

Анатомия: волокна свода мозга отходят от пирамидных клеток гиппокампа, образуя его лоток (*alveus*). Далее они продвигаются кзади под эпендимальной выстилкой бокового желудочка и образуют

бахромку (*fimbria*) гиппокампа. Под валиком мозолистого тела бахромка переходит в ножку свода мозга. Ножки направляются вверх и впереди, повторяя ход мозолистого тела, однако имеют более крутой уклон вниз. Постепенно сближаясь, они образуют тело свода мозга, которое проходит под нижним краем прозрачной перегородки, вновь разделяясь на уровне отверстий Монро и передней спайки мозга. Волокна, которые огибают переднюю спайку спереди, называются прекомиссуральными — они берут начало от пирамидных клеток гиппокампа и заканчиваются в области перегородки и базальных отделов переднего мозга. Волокна, которые огибают переднюю спайку сзади, называются посткомиссуральными — они отходят от подставки (*subiculum*) гиппокампа и достигают передних отделов таламуса и сосцевидных тел [31].

Функции: свод является важным компонентом лимбической системы, принимает участие в работе эпизодической памяти. Исследования на макаках показали, что его повреждение приводит к расстройствам зрительно-пространственной памяти [12].

Короткие ассоциативные волокна (дугообразные, или U-волокна) проходят либо под корой, соединяя близлежащие извилины, либо непосредственно внутри коры [28].

В лобной доле короткие ассоциативные волокна соединяют дополнительную моторную кору и предополнительную моторную кору с задними отделами нижней лобной извилины — зоной Брока, образуя лобный косо́й пучок (*frontal aslant tract*). Впервые он был описан в 2008 г. Прямая электростимуляция левого лобного косо́го

пучка у правшей приводит к возникновению заикания и в ряде случаев мутизма. Таким образом, было доказано, что лобный косо́й пучок доминантного полушария играет важную роль в инициации и беглости речи [20].

### **Комиссуральные волокна**

#### Мозолистое тело (*corpus callosum*)

Анатомия: мозолистое тело, безусловно, является самой крупной комиссурой головного мозга, состоящей из более чем 200 млн нервных волокон. Оно связывает полушария большого мозга, образуя срединную арку протяженностью около 10 см и разделенную на 4 части: клюв, колено, ствол, валик. Мозолистое тело хорошо визуализируется на срединном сагиттальном срезе даже в стандартных МРТ-режимах, однако в связи с отсутствием четких анатомических границ было предложено делить его на части с помощью специально разработанных геометрических схем. Одной из первых общепризнанных схем стала опубликованная в 1989 г. классификация Witelson, согласно которой мозолистое тело подразделялось на следующие сегменты: передняя 1/3, часть от передней 1/3 до срединной линии, часть от срединной линии до задней 1/3, часть от задней 1/3 до задней 1/5, задняя 1/5. К ее недостаткам можно отнести тот факт, что условные ориентиры были определены по результатам исследований, проведенных на нечеловекообразных приматах.

В 2006 г. Sabine Hofer и Jens Frahm выпустили модификацию данной схемы. Новая классификация была создана уже на основе данных МР-трактографии. Ее авторы делят мозолистое тело на сегменты в соответствии с расположением

нервных пучков и отделов коры, которые они соединяют: I — передняя 1/6 — здесь проходят волокна префронтальной коры; II — от передней 1/6 до срединной линии — волокна премоторной и дополнительной моторной коры; III — от срединной линии до задней 1/3 — волокна первичной моторной коры; IV — от задней 1/3 до задней 1/4 — волокна первичной сенсорной коры; V — задняя 1/4 — волокна височных, теменных и затылочных отделов коры [16].

Главным отличием этих классификаций является расположение волокон первичной моторной и сенсорной коры — если раньше считалось, что они проходят в средней трети мозолистого тела (сегменты II и III), то в новой классификации их сместили ближе к задним отделам (сегменты III и IV). Кроме того,

авторами было показано, что в передних и задних отделах мозолистого тела показатели фракционной анизотропии значимо выше (около 0,8), чем в центральных отделах (0,25–0,5). Эти данные согласуются с результатами гистологических исследований — в передних и задних отделах плотность нервных волокон выше, а их средний диаметр меньше, чем в центральных отделах мозолистого тела [16].

В структуре мозолистого тела выделяют также малые щипцы (*forceps minor*) — это U-образные пучки волокон, которые соединяют медиальные и латеральные поверхности лобных долей через коллено мозолистого тела, и большие щипцы (*forceps major*) — волокна аналогичной формы, соединяющие затылочные доли через валик мозолистого тела [28].

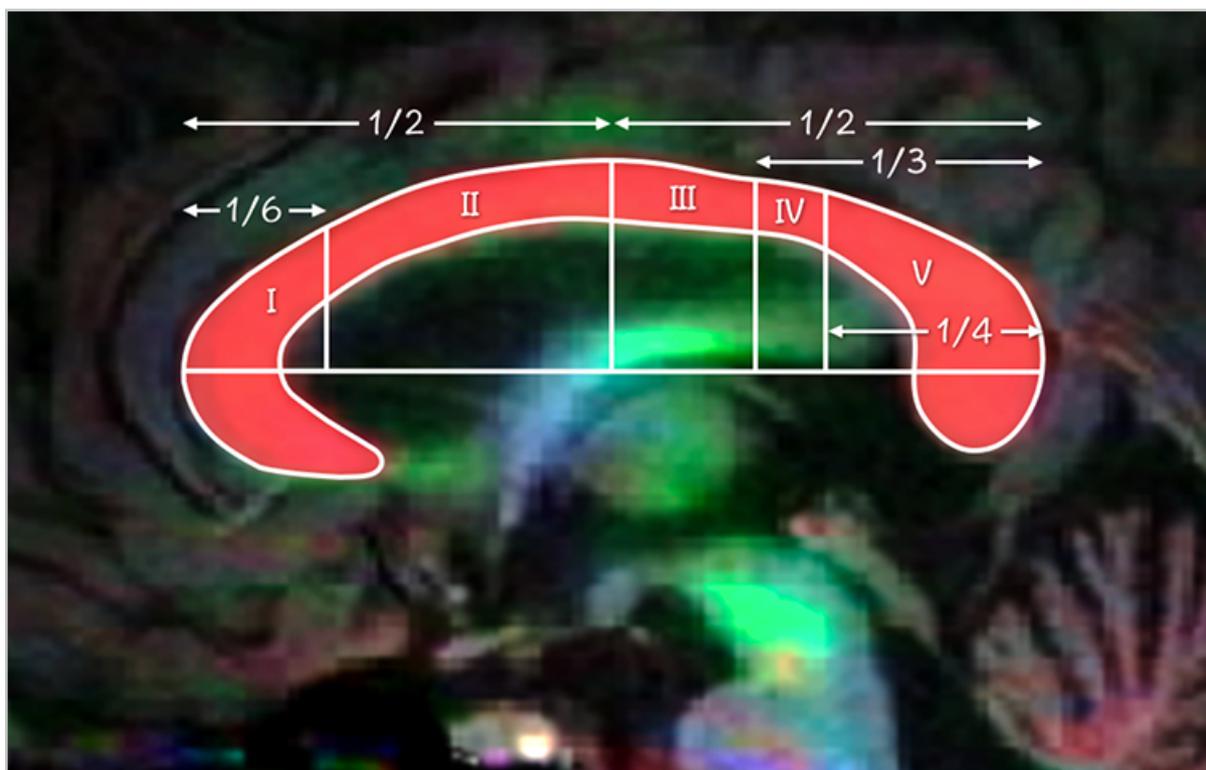


Рис. 4. МР-томограмма, режим T1 MPR + цветовая карта фракционной анизотропии, сагиттальная плоскость, срединный срез. Модифицированная схема сегментарного строения мозолистого тела

Функции: сагиттальное пересечение мозолистого тела приводит к развитию различных «диссоциативных» феноменов — пациенты не способны назвать предмет, вложенный в их левую руку, но при этом узнают его на ощупь и могут выбрать из серии других предметов. В то же время они могут назвать предмет, вложенный в правую руку, но не способны узнать его при ощупывании. При просьбе застегнуть рубашку пациент одной рукой начинает застегивать пуговицы, в то время как другой может начать их расстегивать. Этот симптом близок к феномену «чужой руки». При локальном повреждении передних отделов мозолистого тела часто возникает лобная дисфункция: расторможенность, импульсивность, некритичность к своему состоянию. При локальном повреждении задних отделов мозолистого тела наблюдается игнорирование левого поля зрения, тактильное игнорирование левой руки. Таким образом, можно сделать вывод, что мозолистое тело играет важную роль в слаженной работе полушарий головного мозга [2].

#### Передняя спайка (anterior commissure)

Анатомия: передняя спайка представляет собой компактный пучок белого вещества диаметром около 4 мм, содержащий приблизительно 3,5 млн миелинизированных волокон. По форме она напоминает руль велосипеда, пересекает срединную линию прямо перед колоннами свода мозга и практически на всем протяжении окружена тонким слоем серого вещества. С каждой стороны передняя спайка отдает 2 ветви: передняя ветвь (обонятельная часть) идет через переднее продырявленное вещество до обонятельного бугорка; латеральная ветвь (полушарная часть) «разрезает»

нижнюю поверхность бледного шара, образуя канал Гратиолета, и разветвляется в передних отделах височной доли, включая парагиппокамальную извилину, но часть волокон достигает и затылочной доли [25].

Функции: участвует в межполушарном обмене зрительной, слуховой, обонятельной и вкусовой информации.

#### Задняя спайка (posterior commissure)

Анатомия: задняя спайка пересекает срединную линию на уровне верхней границы водопровода мозга, располагаясь между верхними холмиками четверохолмия и нижней пластинкой ножки эпифиза [28]. Ее волокна связывают: ядра Даркшевича — залегают в периакведуктальном сером веществе; интерстициальные ядра Кахаля — располагаются впереди от комплекса ядер глазодвигательного нерва и тесно связаны с волокнами медиального продольного пучка; ядра задней спайки; ядра претектального поля; ядра крыши среднего мозга, ядра поводка и задних отделов таламуса [24].

Функции: задняя спайка является анатомической основой содружественных движений глаз, содружественной реакции зрачков на свет [24].

#### **Проекционные волокна**

Проекционные волокна (рис. 5) условно можно разделить на 2 группы:

- 1) длинные кортикофугальные волокна — включают в себя корково-мостовые волокна, кортикоретикулярные, кортикобульбарные и кортикоспинальные тракты,
- 2) кортикоталамические/таламокортикальные волокна (так называемые таламические лучистости) — связывают таламус с обширными

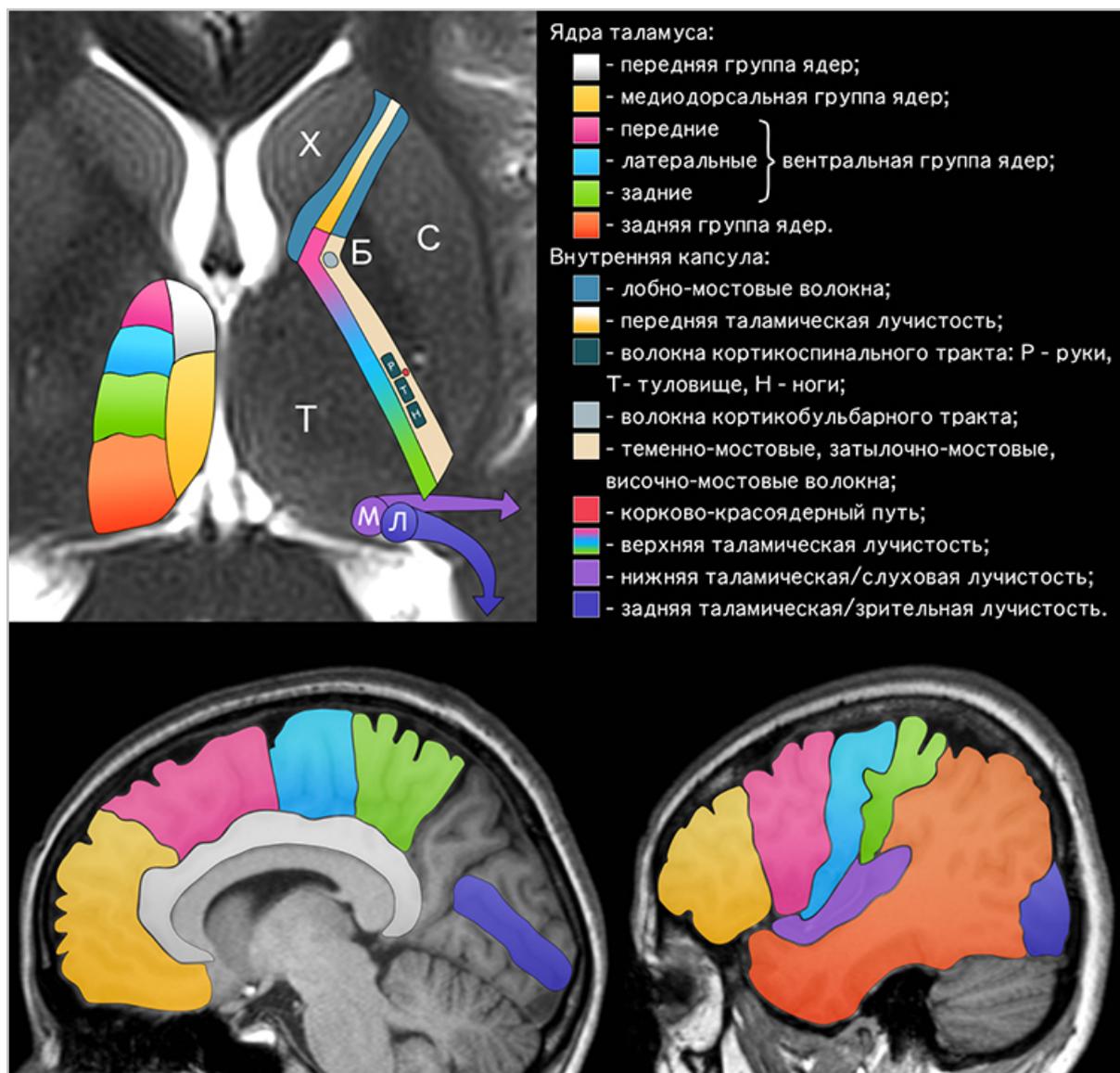


Рис. 5. Схематическое изображение ядер таламуса и основных волокон, проходящих через внутреннюю капсулу: X – головка хвостатого ядра; С – скорлупа; Б – бледный шар; Т – таламус; М – медиальное коленчатое тело; Л – латеральное коленчатое тело

областями коры. Выделяют передние, задние, верхние и нижние таламические лучистости.

Все проекционные волокна проходят через внутреннюю капсулу и, приближаясь к коре, веерообразно разветвляются, образуя лучистый венец. Внутренняя капсула в аксиальной плоскости напоминает римскую цифру V с вершиной

(коленом), направленной в медиальную сторону. Она содержит большую часть проекционных волокон и для наглядности подразделяется на 5 частей:

- 1) переднее бедро – располагается между скорлупой и головкой хвостатого ядра;
- 2) колено – находится между головкой хвостатого ядра и таламусом, при-

- близительно соответствует вершине внутренней капсулы;
- 3) заднее бедро — располагается между чечевицеобразным ядром и таламусом;
  - 4) ретролентиккулярная часть — находится кзади от скорлупы;
  - 5) сублентиккулярная часть — располагается под скорлупой [28].

Переднее бедро внутренней капсулы содержит:

*Лобно-мостовые волокна (frontopontine fibers)*, которые отходят непосредственно от коры лобных долей, проходят через медиальную треть ножек мозга и заканчиваются в ядрах варолиевого моста. От них берут начало мостомозжечковые волокна (*pontocerebellar fibers*), проходящие через среднюю мозжечковую ножку в противоположное полушарие мозжечка [26].

Функции: лобно-мосто-мозжечковый путь участвует в координации произвольных движений [26].

*Передняя таламическая лучистость (anterior thalamic radiation)* содержит волокна, связывающие переднюю и медиодорсальную группу ядер таламуса соответственно с поясной извилиной и префронтальной корой [29].

Функции: связана с процессами познания, работой декларативной памяти [29].

Через колено внутренней капсулы проходят:

*Волокна кортикобульбарного/корково-ядерного пути (corticobulbar/corticostriatal tract)*, берущие начало от коры нижней трети прецентральной извилины (зона иннервации мышц лица и языка), проходят через колено внутренней капсулы, среднюю треть ножек мозга (совместно с волокнами кортикоспи-

нального тракта) и заканчиваются на двигательных ядрах тройничного, лицевого, блуждающего, подъязычного и добавочного нервов. Стоит отметить, что ядро подъязычного нерва и нижняя часть ядра лицевого нерва иннервируются только корой противоположного полушария, тогда как ядра остальных черепных нервов имеют двустороннюю иннервацию [26].

Функции: одностороннее поражение кортикобульбарного пути приводит к различным нарушениям акта глотания; двустороннее поражение путей сопровождается развитием псевдобульбарного синдрома, для которого характерны дизартрия, дисфония, дисфагия, рефлексы орального автоматизма, патологический смех и плач [26].

Заднее бедро внутренней капсулы содержит:

*Волокна кортикоспинального пути (corticospinal tract)* — отходят от пирамидных клеток Беца, расположенных в V слое первичной моторной коры (поле 4), от премоторной и дополнительной моторной коры (поле 6), а также от первичной соматосенсорной коры (постцентральная извилина — поля 1, 2, 3). Кора прецентральной извилины имеет строгую соматотопическую организацию: лицо и язык проецируются на нижнюю треть извилины; рука и кисть занимают ее среднюю треть; шея, туловище и нижние конечности — верхнюю треть. Продвигаясь к внутренней капсуле, волокна кортикоспинального тракта постепенно сближаются и поворачиваются примерно на 90° в медиальном направлении, так как заднее бедро внутренней капсулы и прецентральная извилина расположены практически под прямым углом относительно друг

друга [28]. В процессе этого вращения волокна сохраняют строгую соматотопическую организацию и краниокаудальная ориентация во внутренней капсуле наблюдается в направлении от колена к заднему бедру. Далее кортикоспинальный тракт проходит через среднюю треть ножки мозга, передние отделы варолиева моста. На передней поверхности продолговатого мозга он выступает вперед настолько, что образует с каждой стороны вытянутой формы бугорки, известные как пирамиды. На границе со спинным мозгом кортикоспинальные тракты совершают перекрест, образуя перекрест пирамид (внешне он похож на заплетенную косичку): большая часть волокон (около 85 %) переходит на противоположную сторону, образуя латеральный кортикоспинальный тракт, нисходящий в составе бокового канатика спинного мозга; оставшиеся волокна (около 15 %) образуют передний кортикоспинальный тракт, который в составе переднего канатика спинного мозга достигает иннервируемых сегментов и переходит на противоположную сторону через переднюю белую спайку спинного мозга [1, 26].

Функции: участвует в реализации произвольных целенаправленных движений [5].

*Теменно-мостовые, затылочно-мостовые, височно-мостовые волокна (parieto-pontine, occipito-pontine, temporo-pontine fibers)* — берут начало от коры соответственно теменных, затылочных и височных долей [26]. Теменно-мостовые и затылочно-мостовые волокна проходят через заднее бедро и ретролентиккулярную часть внутренней капсулы. Далее, вместе с височно-мо-

стовыми волокнами, они спускаются через латеральную треть ножек мозга к ядрам варолиева моста. Отсюда начинаются мостомозжечковые волокна (*pontocerebellar fibers*), проходящие через среднюю мозжечковую ножку в противоположное полушарие мозжечка [19].

Функции: достоверно неизвестны.

*Корково-красноядерный путь (cortico-rubral tract)* — начинается от клеток первичной моторной, премоторной и первичной соматосенсорной коры, проходит через заднее бедро внутренней капсулы и заканчивается в ипсилатеральном красном ядре. От красных ядер отходит красноядерно-спинномозговой/руброспинальный путь (*rubrospinal tract*), который переходит на противоположную сторону в области перекреста покрывки, спускается в боковом канатике спинного мозга и заканчивается в верхних шейных сегментах спинного мозга [1, 26].

Функции: считается, что руброспинальный тракт способствует активации мотонейронов мышц сгибателей и угнетению мотонейронов мышц разгибателей [26].

*Верхняя таламическая лучистость (superior thalamic radiation)* — содержит волокна, связывающие вентральную группу ядер с пре- и постцентральной извилинами, вторичной моторной и сенсорной корой [32].

Функции: участвует в контроле произвольных движений в соответствии с получаемой информацией от органов чувств [7].

Ретролентиккулярная часть внутренней капсулы содержит:

*Заднюю таламическую лучистость/зрительную лучистость (posterior thalamic radiation/optic radiation)* — ее волокна отходят от латерального коленчатого тела, проходят через ретролентикакулярную часть внутренней капсулы, огибают нижний и задний рог бокового желудочка и заканчиваются в первичной зрительной коре затылочной доли (поле 17) [1, 7].

Функции: поражение зрительной лучистости в проксимальных отделах приводит к развитию гомонимной гемианопсии (выпадению односторонних полей зрения). При поражении дистальных отделов гемианопсия чаще бывает неполной, поскольку волокна рассредоточены на достаточно большом протяжении [1].

Теменно-мостовые и затылочно-мостовые волокна — см. выше.

Сублентикакулярная часть внутренней капсулы содержит *нижнюю таламическую лучистость/слуховую лучистость (inferior thalamic radiation/auditory radiation)* — ее волокна берут начало от медиального коленчатого тела, проходят через сублентикалярную часть внутренней капсулы и заканчиваются в первичной слуховой коре (поля 41, 42) [7].

Функции: поражение слуховой лучистости приводит к развитию слуховой вербальной агнозии (невозможности воспринимать устную речь), ассоциативной слуховой агнозии (сложности с определением звуков окружающей среды), центральной (корковой) глухоты и в отдельных случаях к появлению слуховых галлюцинаций [22].

Височно-мостовые волокна — см. выше.

## Заключение

С помощью ДТ-МРТ можно не только визуализировать большинство проводящих путей головного мозга, но и количественно оценить их целостность и предположить механизм повреждения при патологии на микроструктурном (клеточном) уровне с помощью построения карт с различными характеристиками диффузии — средней диффузии (MD), фракционной анизотропии (FA), аксиальной (AD) и радиальной диффузиях (RD). Однако в клинической практике в настоящее время более востребованным в силу своей наглядности и красочности является вариант анализа данных ДТ-МРТ — МР-трактографии. В то же время необходимо помнить об ограничениях трактографии:

- Метод хорошо работает на крупных, идущих в одном направлении проводящих путях. Если мы оцениваем крупные проводящие пути, такие, как мозолистое тело или кортико-спинальные тракты, состоящие из однонаправленных, плотно упакованных волокон, всё работает хорошо. Но большинство трактов имеют куда меньшие размеры и куда более вариабельную анатомию — их волокна изгибаются, скручиваются, перекрещиваются между собой. Если проводящие пути перекрещиваются под углом, близким к 90°, значения фракционной анизотропии неизбежно снижаются, что может быть неверно интерпретировано, как локальное истончение/повреждение тракта. Кроме того, молекулы воды в клетках глии и межклеточной жидкости также вносят свой вклад в регистрируемый МР-сигнал. Таким образом, видимые при трактографии «трубочки»

ни в коем случае нельзя отождествлять с реальным количеством аксонов.

- Неоднородности магнитного поля ограничивают информативность анализа диффузионных данных. Отложения гемосидерина в результате внутримозговых кровоизлияний и травм, а также крупные зубные металлоконструкции создают неоднородности магнитного поля, которые в ряде случаев делают невозможным адекватный анализ трактов.

Технологии тоже не стоят на месте. В настоящее время в клиническую практику внедряются аппараты с напряженностью магнитного поля 7 Тл, с мощными градиентами и высокими скоростями сканирования, субмиллиметровым пространственным разрешением изображений; изучаются новые методы обработки данных и подходы к построению проводящих путей ствола и продолговатого мозга [15]. Метод ДТ-МРТ активно развивается, однако, как и прежде, его использование невозможно без хороших знаний анатомии.

### Список литературы

1. Бер М., Фротшер М. Топический диагноз в неврологии по Петеру Дуусу. 5-е изд.: Пер. с англ. М.: Практическая медицина, 2018. С. 77–78, 162–168, 256.
2. Буклина С. Б. Мозолистое тело, межполушарное взаимодействие и функции правого полушария мозга // Журнал неврологии и психиатрии. 2004. Т. 104. № 5. С. 8–14.
3. Горайнов С. А., Кондрашов А. В., Гольдберг М. Ф. и др. Длинные ассоциативные проводящие пути белого вещества головного мозга человека: анализ диссекций 18 полушарий и HARDI-CSD трактографии in vivo // Вопросы нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко. 2017. № 81 (1). С. 13–25.
4. Зырянов А. С., Малютин С. А., Ступина Е. А. и др. Роли отдельных сегментов дугообразного пучка в обеспечении языковой обработки // Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Матер. конф. 19 июня 2019 г. / Под ред. Е.В. Печенковой, М. В. Фаликман. М.: ООО «Буки Веди»: ИППИП, 2019. С. 184–187.
5. Кадыхов А. С., Бархатов Ю. Д. Значение состояния различных проводящих путей головного мозга в восстановлении функций ходьбы у пациентов, перенесших инсульт // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2014. Т. 8. № 3. С. 45–48.
6. Пронин И. Н., Фадеева Л. М., Захарова Н. Е. и др. Диффузионная тензорная магнитно-резонансная томография и трактография // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2008. Т. 2. № 1. С. 32–40.
7. Andreatta R. D. Neuroscience fundamentals for communications sciences and disorders. 1st Edition // Plural Publishing. 2018. P. 220.
8. Ashtari M., Cottone J., Ardekani B. A. et al. Disruption of white matter integrity in the inferior longitudinal fasciculus in adolescents with schizophrenia as revealed by fiber tractography // Arch. of General Psychiatry. 2007. V. 64. № 11. P. 1270–1280.
9. Bao Y., Wang Y., Wang W. et al. The superior fronto-occipital fasciculus in the human brain revealed by diffusion spectrum imaging tractography: an anatomical reality or a methodological artifact? // Frontiers in Neuroanatomy. 2017. V. 11. № 119.
10. Bozzali M., Serra L., Cercignani M. Quantitative MRI to understand Alzheimer's

- disease pathophysiology // *Current Opinion in Neurol.* 2016. V. 29. № 4. P. 437–444.
11. *Briggs R. G., Rahimi M., Conner A. K. et al.* A connectomic Atlas of the human cerebrum – chapter 15: tractographic description of the uncinate fasciculus // *Operative Neurosurg.* 2018. V. 15. P. 450–455.
  12. *Christiansen K., Aggleton J. P., Parker G. D. et al.* The status of the precommissural and postcommissural fornix in normal ageing and mild cognitive impairment: An MRI tractography study // *NeuroImage.* 2016. V. 130. P. 35–47.
  13. *Conner A. K., Briggs R. G., Rahimi M. et al.* A connectomic Atlas of the human cerebrum – chapter 12: tractographic description of the middle longitudinal fasciculus // *Operative Neurosurg.* 2018. V. 15. P. 429–435.
  14. *Edelman R. R.* The History of MR imaging as seen through the pages of radiology // *Radiol.* 2014. V. 273. № 2S. P. 181–200.
  15. *Ford A. A., Colon-Perez L., Triplett W. T. et al.* Imaging white matter in human brainstem // *Frontiers in Human Neuroscience.* 2013. V. 7. № 400.
  16. *Hofer S., Frahm J.* Topography of the human corpus callosum revisited – comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging // *NeuroImage.* 2006. V. 32. № 3. P. 989–994.
  17. *Jones D. K., Christiansen K. F., Chapman R. J. et al.* Distinct subdivisions of the cingulum bundle revealed by diffusion MRI fibre tracking: Implications for neuropsychological investigations // *Neuropsychol.* 2013. V. 51. № 1. P. 67–78.
  18. *Kamali A., Flanders A. E., Brody J. et al.* Tracing superior longitudinal fasciculus connectivity in the human brain using high resolution diffusion tensor tractography // *Brain Structure and Function.* 2014. V. 219. P. 269–281.
  19. *Kamali A., Kramer L. A., Frye R. E. et al.* Diffusion tensor tractography of the human brain cortico-ponto-cerebellar pathways: A quantitative preliminary study // *J. of Magnetic Resonance Imag.* 2010. V. 32. № 4. P. 809–817.
  20. *Kemerdere R., de Champfleure N. M., Deverdun J. et al.* Role of the left frontal aslant tract in stuttering: a brain stimulation and tractographic study // *J. of Neurol.* 2015. V. 263. № 1. P. 157–167.
  21. *Latini F., Martensson J., Larsson E.-M. et al.* Segmentation of the inferior longitudinal fasciculus in the human brain: a white matter dissection and diffusion tensor tractography study // *Brain Research.* 2017. V. 1675. P. 102–115.
  22. *Maffei C., Sarubbo S., Jovicich J.* A missing connection: a review of the macrostructural anatomy and tractography of the acoustic radiation // *Front. in Neuroanatomy.* 2019. V. 13. № 27.
  23. *Makris N., Kennedy D. N., McInerney S. et al.* Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study // *Cerebral Cortex.* 2004. V. 15. № 6. P. 854–869.
  24. *Ozdemir N. G.* The anatomy of the posterior commissure // *Turk. Neurosurg.* 2015. V. 25. № 6. P. 837–843.
  25. *Peltier J., Verchlytte S., Delmaire C. et al.* Microsurgical anatomy of the anterior commissure // *Operative Neurosurg.* 2011. V. 69. № 2. P. 241–247.
  26. *Rea P.* Essential clinical anatomy of the nervous system // Elsevier. 1st ed. 2015. P. 161–168, 171–172, 177.
  27. *Sarubbo S., de Benedictis A., Maldonado I. L. et al.* Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomo-

- mical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle // *Brain Structure and Function*. 2011. V. 218. № 1. P. 21–37.
28. *Standring S. et al.* Gray's Anatomy: The anatomical basis of clinical practice. 41th edition. 2016. P. 391–396;
  29. *Sun C., Wang Y., Cui R. et al.* Human thalamic-prefrontal peduncle connectivity revealed by diffusion spectrum imaging fiber tracking // *Frontiers in Neuroanatomy*. 2018. V. 12. № 24.
  30. *Thiebaut de Schotten M., Dell'Acqua F., Valabregue R. et al.* Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts // *Cortex*. 2012. V. 48. № 1. P. 82–96.
  31. *Thomas A. G., Koumellis P., Dineen R. A.* The fornix in health and disease: an imaging review // *RadioGraphics*. 2011. V. 31. № 4. P. 1107–1121.
  32. *Younes K., Hasan K. M., Kamali A. et al.* Diffusion tensor imaging of the superior thalamic radiation and cerebrospinal fluid distribution in idiopathic normal pressure hydrocephalus // *J. of Neuroimag.* 2019. V. 29. № 2. P. 242–251.
- denko. 2017. No. 81 (1). P. 13–25 (in Russian).
4. *Zyryanov A. S., Malyutina S. A., Stupina E. A. et al.* The contributions of arcuate fasciculus segments to language processing. Cognitive science in Moscow: new research. Conference proceedings 19 June 2019. Ed. by E. V. Pechenkova, M. V. Falikman. 2019. M.: OOO «Buki Vedi», IPPiP, 2019. P. 184–187 (in Russian).
  5. *Kadykov A. S., Barkhatov Yu. D.* The value of various brain pathways impairment in the post-stroke rehabilitation of walking function. *Annals of Clin. and Experim. Neurol.* 2014. V. 8. No. 3. P. 45–48 (in Russian).
  6. *Pronin I. N., Fadeeva L. M., Zakharova N. E. et al.* Diffusion tensor imaging and diffusion tensor tractography. *Annals of Clin. and Experim. Neurol.* 2008. V. 2. No. 1. P. 32–40 (in Russian).
  7. *Andreatta R. D.* Neuroscience fundamentals for communications sciences and disorders. 1st ed. Plural Publishing. 2018. P. 220.
  8. *Ashtari M., Cottone J., Ardekani B. A. et al.* Disruption of white matter integrity in the inferior longitudinal fasciculus in adolescents with schizophrenia as revealed by fiber tractography. *Archives of General Psychiatry*. 2007. V. 64. No. 11. P. 1270–1280.
  9. *Bao Y., Wang Y., Wang W. et al.* The superior fronto-occipital fasciculus in the human brain revealed by diffusion spectrum imaging tractography: an anatomical reality or a methodological artifact? *Front. in Neuroanatomy*. 2017. V. 11. No. 119.
  10. *Bozzali M., Serra L., Cercignani M.* Quantitative MRI to understand Alzheimer's disease pathophysiology. *Current Opinion in Neurol.* 2016. V. 29. No. 4. P. 437–444.

## References

1. *Baehr M., Frotscher M.* Duus' Topical Diagnosis in Neurology. 5th Edition. M.: Prakticheskaya Vizualizatsiya. P. 77–78, 162–168, 256 (in Russian).
2. *Buklina S. B.* Corpus callosum, inter-hemispheric interaction and function of the right hemisphere of the brain. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii*. 2004. V. 104. No. 5. P. 8–14 (in Russian).
3. *Goryaynov S. A., Kondrashov A. V., Gol'dberg M. F. et al.* Long association tracts of the human white matter: An analysis of 18 hemisphere dissections and in vivo HARDI-CSD tractography. *Voprosy neurokhirurgii im. N. N. Bur-*

11. *Briggs R. G., Rahimi M., Conner A. K. et al.* A connectomic Atlas of the human cerebrum — chapter 15: tractographic description of the uncinate fasciculus. *Operative Neurosurg.* 2018. V. 15. P. 450–455.
12. *Christiansen K., Aggleton J. P., Parker G. D. et al.* The status of the precommissural and postcommissural fornix in normal ageing and mild cognitive impairment: An MRI tractography study. *NeuroImage.* 2016. V. 130. P. 35–47.
13. *Conner A. K., Briggs R. G., Rahimi M. et al.* A connectomic Atlas of the human cerebrum — chapter 12: tractographic description of the middle longitudinal fasciculus. *Operative Neurosurg.* 2018. V. 15. P. 429–435.
14. *Edelman R. R.* The History of MR imaging as seen through the pages of radiology. *Radiol.* 2014. V. 273. No. 2S. P. 181–200.
15. *Ford A. A., Colon-Perez L., Triplett W. T. et al.* Imaging white matter in human brainstem. *Front. in Human Neurosci.* 2013. V. 7. No. 400.
16. *Hofer S., Frahm J.* Topography of the human corpus callosum revisited — comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging. *NeuroImage.* 2006. V. 32. No. 3. P. 989–994.
17. *Jones D. K., Christiansen K. F., Chapman R. J. et al.* Distinct subdivisions of the cingulum bundle revealed by diffusion MRI fibre tracking: Implications for neuropsychological investigations. *Neuropsychol.* 2013. V. 51. No. 1. P. 67–78.
18. *Kamali A., Flanders A. E., Brody J. et al.* Tracing superior longitudinal fasciculus connectivity in the human brain using high resolution diffusion tensor tractography. *Brain Structure and Function.* 2014. V. 219. P. 269–281.
19. *Kamali A., Kramer L. A., Frye R. E. et al.* Diffusion tensor tractography of the human brain cortico-ponto-cerebellar pathways: A quantitative preliminary study. *J. of Magnetic Resonance Imag.* 2010. V. 32. No. 4. P. 809–817.
20. *Kemerdere R., de Champfleury N. M., Deverdun J. et al.* Role of the left frontal aslant tract in stuttering: a brain stimulation and tractographic study. *J. of Neurol.* 2015. V. 263. No. 1. P. 157–167.
21. *Latini F., Martensson J., Larsson E.-M. et al.* Segmentation of the inferior longitudinal fasciculus in the human brain: a white matter dissection and diffusion tensor tractography study. *Brain Research.* 2017. V. 1675. P. 102–115.
22. *Maffei C., Sarubbo S., Jovicich J.* A missing connection: a review of the macrostructural anatomy and tractography of the acoustic radiation. *Front. in Neuroanatomy.* 2019. V. 13. No. 27.
23. *Makris N., Kennedy D. N., McInerney S. et al.* Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cerebral Cortex.* 2004. V. 15. No. 6. P. 854–869.
24. *Ozdemir N. G.* The anatomy of the posterior commissure. *Turk. Neurosurg.* 2015. V. 25. No. 6. P. 837–843.
25. *Peltier J., Verclytte S., Delmaire C. et al.* Microsurgical anatomy of the anterior commissure. *Operative Neurosurg.* 2011. V. 69. No. 2. P. 241–247.
26. *Rea P.* Essential clinical anatomy of the nervous system. Elsevier. 1st ed. 2015. P. 161–168, 171–172, 177.
27. *Sarubbo S., De Benedictis A., Maldonado I. L. et al.* Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle. *Brain Structure and Function.* 2011. V. 218. No. 1. P. 21–37.

28. *Standring S. et al.* Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. 41 edition. 2016. P. 391–396.
29. *Sun C., Wang Y., Cui R. et al.* Human thalamic-prefrontal peduncle connectivity revealed by diffusion spectrum imaging fiber tracking. *Front. in Neuroanatomy*. 2018. V. 12. No. 24.
30. *Thiebaut de Schotten M., Dell'Acqua F., Valabregue R. et al.* Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts. *Cortex*. 2012. V. 48. No. 1. P. 82–96.
31. *Thomas A. G., Koumellis P., Dineen R. A.* The fornix in health and disease: an imaging review. *RadioGraphics*. 2011. V. 31. No. 4. P. 1107–1121.
32. *Younes K., Hasan K. M., Kamali A. et al.* Diffusion tensor imaging of the superior thalamic radiation and cerebrospinal fluid distribution in idiopathic normal pressure hydrocephalus. *J. of Neuroimaging*. 2019. V. 29. No. 2. P. 242–251.

### Сведения об авторах

**Филатов Алексей Сергеевич**, аспирант, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: fil4tovmd@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-5706-6997

**Filatov Alexey Sergeevich**, Postgraduate, Radiologist of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.

Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: fil4tovmd@gmail.com  
ORCID.org/0000-0002-5706-6997

**Кремнева Елена Игоревна**, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: kremneva@neuradiology.ru  
ORCID.org/0000-0001-9396-6063

**Kremneva Elena Igorevna**, Ph. D. Med., Senior Researcher of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.

Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: kremneva@neuradiology.ru  
ORCID.org/0000-0001-9396-6063

**Матросова Мария Сергеевна**, аспирант отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: kmari-s@yandex.ru  
ORCID.org/0000-0003-4604-7288

**Matrosova Mariya Sergeevna**, Postgraduate of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.

Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: kmari-s@yandex.ru  
ORCID.org/0000-0003-4604-7288

**Трубицына Виктория Владимировна**, аспирант отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: pobeda-1994@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-7898-6541

**Trubitsyna Viktoriya Vladimirovna**, Postgraduate of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.

Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: pobeda-1994@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-7898-6541

**Добрынина Лариса Анатольевна**, доктор медицинских наук, руководитель 3-го неврологического отделения ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-24-17. Электронная почта: dobrla@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-9929-2725

**Dobrynina Larisa Anatol'evna**, M. D. Med., Head of the 3rd Neurology Department, Research Center of Neurology, Moscow.

Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.

Phone number: +7 (495) 490-24-17. E-mail: dobrla@mail.ru  
ORCID.org/0000-0001-9929-2725

**Кротенкова Марина Викторовна**, доктор медицинских наук, руководитель отделения лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии».  
Адрес: 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80.  
Тел.: +7 (495) 490-22-05. Электронная почта: krotenkova\_mrt@mail.ru  
ORCID.org/0000-0003-3820-4554

**Krotenkova Marina Viktorovna**, M. D. Med., Head of the Department of Neuroradiology, Research Center of Neurology, Moscow.  
Address: 80, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125367, Russia.  
Phone number: +7 (495) 490-22-05. E-mail: krotenkova\_mrt@mail.ru  
ORCID.org/0000-0003-3820-4554

**Финансирование исследования и конфликт интересов.**

*Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.*