



A Review of Brain MRI Findings in Gender Identity Disorder Individuals



Reza Hajmanouchehri¹ MD, Azar Tabesh¹ PhD

¹ Legal Medicine Research Center, Iranian Legal Medicine Organization, Tehran, Iran

*Correspondence to: Azar Tabesh, Email: tabeshazar@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: August 14, 2023

Accepted: November 26, 2023

Online Published: December 31, 2023

Keywords:

Gender identity disorder
Magnetic resonance imaging
Brain

HIGHLIGHTS

1. The volume of gray matter and the surface area of the brain patterns of women and men are different from each other, and men have more volume of gray matter and surface area than women.
2. While direct genetic influences can influence sexual brain differentiation without the involvement of sex hormones, it is assumed that the brain organization that forms gender identity is dependent on hormonal influences during fetal development.

ABSTRACT

Gender identity disorder describes the condition when a person identifies with a gender different from the birth-assigned sex. The cause of this disorder is still unknown, but it is believed that biological variables can play a role in its creation and development. The diagnosis of this disorder is currently based on interviews and clinical criteria, but the presence of biological evidence, especially since it is anatomically and objectively visible, is very effective in confirming the diagnosis and facilitating treatment and patient support. Therefore, the purpose of this study is to review the findings of brain magnetic resonance imaging (MRI) of these patients to obtain a specific brain pattern so that in the future, this disorder can be identified and treated more accurately using this knowledge. The results of this study show that there has been very little research, and in some cases, if an experiment is repeated, contradictory results have been obtained. This is because in these studies, analyzes were done without considering confounding factors and with small sample sizes. Therefore, to achieve a specific pattern of brain morphology changes related to this disorder, there is a need for wider and more comprehensive studies.

How to cite: Hajmanouchehri R, Tabesh A. A review of brain MRI findings in gender identity disorder individuals. Iran J Forensic Med. 2024;29(4):198-214.



مروری بر یافته‌های MRI مغزی در افراد دارای اختلال هویت جنسی

رضا حاج‌منوچهری^۱ MD، آذر تابش^۱ PhD^۱ مرکز تحقیقات پزشکی قانونی، سازمان پزشکی قانونی کشور، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: آذر تابش، پست الکترونیک: tabeshazar@yahoo.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۲۳

پذیرش:

۱۴۰۲/۰۹/۰۵

انتشار برخط:

۱۴۰۲/۱۰/۱۰

واژگان کلیدی:

اختلال هویت جنسی

تصویربرداری رزونانس مغناطیسی

مغز

نکات ویژه

- ۱- حجم ماده خاکستری و مساحت سطح الگوهای مغزی زنان از مردان از یکدیگر متفاوت بوده و مردان دارای حجم ماده خاکستری و مساحت سطح بیشتری نسبت به زنان هستند.
- ۲- درحالی که تأثیرات ژنتیکی مستقیم م‌توانند بر تمایز مغز جنسی بدون دخالت هورمون‌های جنسی تأثیر بگذارند، فرض بر این است که سازما ندهی مغزی که هویت جنسیتی را تشکیل م‌دهد به تأثیرات هورمونی در طول رشد جنین وابسته است.

مقدمه

اختلال هویت جنسی یا به اصطلاح تراجنسیتی وضعیتی را توصیف می‌کند که یک فرد با جنسیتی متفاوت از جنسیت تعیین‌شده در بدو تولد شناسایی می‌شود (۱). برعکس، افراد سالم یا سیسجنندر که ناسازگاری جنسیتی را تجربه نمی‌کنند و هویت یا بیان جنسیتی آن‌ها با جنسیتی که با آن متولد شده‌اند مطابقت دارد (۲).

اگرچه واژه‌های جنس و جنسیت اغلب به جای یکدیگر در گفتار رایج استفاده می‌شوند، اما در پژوهش‌ها بایستی بین این دو واژه تمایز قائل شد. جنس به خصوصیات بیولوژیکی و فیزیولوژیکی یک فرد اشاره دارد، درحالی که واژه جنسیت به

شناسایی روانشناختی فرد به عنوان مرد یا زن و نقش اجتماعی اختصاص داده شده به وی اشاره داشته که بر تأثیرگذاری اجتماعی و فرهنگی تأکید دارد. لذا به دلیل این ناهماهنگی جنسیت روانی و جنس بیولوژیکی، افراد دارای اختلال هویت جنسی اغلب سعی می‌کنند شبیه جنسیت ترجیحی شوند و بسیاری از آن‌ها تحت درمان جایگزینی هورمون (HRT) و جراحی تغییر جنسیت (SRS) قرار می‌گیرند (۱).

مطالعات جمعیتی اخیر میزان شیوع اختلال هویت جنسی را ۴/۶ نفر در هر صد هزار نفر تخمین می‌زند (۳). در ایران در سال ۱۴۰۱ حدود ۸۷۳ نفر (۶۱۱ نفر زن و ۲۶۲ نفر مرد) جهت تشخیص این اختلال به سازمان پزشکی قانونی کشور مراجعه نمودند.

به دلیل پذیرش عمومی پایین اجتماعی در بسیاری از فرهنگ‌ها، بسیاری از افراد با اختلال هویت جنسی از پریشانی روانی شدید رنج می‌برند (۵،۴). به نظر می‌رسد میزان اختلالات روانپزشکی در این افراد در مقایسه با جمعیت عمومی بیشتر باشد که اختلالات عاطفی و اضطرابی شایع‌ترین آن‌ها هستند (۵-۷). با این حال، اختلال هویت جنسی لزوماً با مشکلات روان‌پزشکی همراه نیست و فرض بر این است که این مشکلات عمدتاً در نتیجه پریشانی روانی-اجتماعی تجربه شده رخ می‌دهند (۸). علت این اختلال همچنان ناشناخته است، اما تصور می‌شود متغیرهای بیولوژیکی می‌توانند در توسعه آن نقش داشته باشند (۹،۱۰).

مطالعات متعدد تصویربرداری عصبی وجود دارد که نشان می‌دهد مورفومتری مغز بین دو جنس زن و مرد متفاوت است. بسیاری از نتایج این مطالعات از روش تصویربرداری تانسور انتشار (DTI) و بررسی پارامترهایی چون کسر ناهمسانگردی (FA) و انتشار محوری (AD)، انتشار شعاعی (RD) و میانگین انتشار (MD) حاصل شده است. مطالعات نشان داده است که (AD) مربوط به یکپارچگی آکسون است و (RD) نسبت به تغییرات میلین حساس است (۱۱،۱۲)؛ اما پارامتری که به تغییرات رشدی و اختلالات پاتولوژیکی در دانسیته، اندازه و میلینیزاسیون آکسون‌ها و انسجام فیبرها در یک و کسل حساس است، (FA) است که شاخصی برای ارزیابی یکپارچگی ساختاری ماده سفید محسوب می‌شود (۱۳).

این تفاوت‌ها هم در حجم کل مغز و هم در چندین ساختار جنس دوشکلی وجود دارد. این یک یافته ثابت شده است که حجم مطلق مغز در مردان از زنان حتی پس از اصلاح اندازه بدن (۱۴) بیشتر است (۱۵،۱۶).

به‌عنوان نمونه اینانو و همکاران (۲۰۱۱) در نمونه‌ای متشکل از ۸۵۷ فرد سالم نشان دادند که (FA) و (AD) در مردان در مناطق مختلف مغز بالاتر است، در حالی که (RD) در مناطق مختلف مغز زنان بالاتر است (۱۷). همچنین در این زمینه یک مطالعه برجسته در سال ۱۹۹۵ مستند

کرد که تفاوت‌هایی در اندازه بخشی از مدار مغز قدامی (به‌عنوان مثال، هسته بستر نوار انتهایی) بین مردان و زنان سالم وجود دارد به‌طوری‌که حجم آن در مردان نسبت به زنان بیشتر است (۲۳). با این حال، زنان ماده خاکستری بیشتری دارند، در حالی که مردان نسبت بیشتری از ماده سفید دارند (۱۵،۲۴). اگرچه ساختارهای دوشکلی جنسی مغز با تفاوت‌های هورمونی بین جنس‌ها در طول رشد جنین (۱۸)، بلوغ (۱۹)، یا بزرگسالی (۲۰) مرتبط است، مکانیسم‌های بیولوژیکی خاص زیربنای این تفاوت‌ها باید تعیین شوند.

بر اساس تئوری فعال‌سازی، تأثیرات هورمونی در اواخر دوران پیش از تولد و رشد اولیه مغز پس از تولد، تأثیر جنسی مغز را تعیین می‌کنند. اعتقاد بر این است که وجود یا عدم وجود تستوسترون در نیمه دوم بارداری، مغز ما را به ترتیب به سمت مرد یا زن شکل می‌دهد اگرچه تأثیرات ژنتیکی مستقیم می‌تواند بر تمایز مغز جنسی بدون دخالت هورمون‌های جنسی تأثیر بگذارد، فرض بر این است که سازمان‌دهی مغزی که هویت جنسیتی را تشکیل می‌دهد به تأثیرات هورمونی در طول رشد جنین وابسته است (۲۱). علاوه بر این، از آنجایی که تمایز مغز از نظر جنسی به‌طور موقت از تمایز جنسی اندام تناسلی متمایز می‌شود، هر دو فرآیند می‌توانند به‌طور مستقل تحت تأثیر قرار گیرند که ممکن است منجر به تراجنسیتی شود (۲۲).

لذا در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که آیا هویت روانی تراجنسیتی‌ها در آناتومی و یا عملکرد مغز آن‌ها منعکس می‌شود یا خیر. البته هم آنالیزهای تشریحی پس از مرگ و هم مطالعات تصویربرداری عصبی درون تنی به تفاوت‌های ساختاری بین افراد تراجنسیتی و افراد گروه کنترل در چندین نواحی مغز، به‌ویژه در آن‌هایی که از نظر جنسی دوشکلی هستند، اشاره کرده‌اند (۲۵،۲۶،۲۷،۲۸). لذا این مسئله این سؤال را مطرح می‌کند که آیا وزن یا حجم کلی مغز و آناتومی ساختارهای خاص افراد تراجنسیتی به جنس زمان تولدشان نزدیک‌تر است یا جنس ترجیحی و یا بهتر بگوییم در حد وسط این دو است؟

جنسی و افراد فاقد اختلال صورت گرفته پیوستگی لازم وجود ندارد.

احتمالاً اولین مطالعه در مورد تفاوت‌های آناتومیک بین ترانجسیتی‌ها و مردان و زنان سالم به‌عنوان گروه کنترل توسط ایموری و همکاران (۱۹۹۱) و بر کورپوس کالازوم انجام شده است که البته آن‌ها هیچ تفاوت قابل توجهی در شکل اسپلنیوم کورپوس کالازوم بین دو جنس زن و مرد سالم و افراد دارای اختلال هویت جنسی در تصاویر MRI پیدا نکردند (۳۰).

کورپوس کالازوم بزرگترین مسیر اتصال ساختار ماده سفید در مغز انسان است که دو نیمکره مغزی را به‌صورت هموتوپیکال و هتروتوپیکال متصل می‌کند و اطلاعات بین دو نیمکره از طریق آن منتقل می‌شود. این فرضیه وجود دارد که کورپوس کالازوم و زیربخش‌های خاص این ساختار از نظر اندازه و شکل در دو جنس زن و مرد متفاوت باشند که البته یافته‌ها در این خصوص بسیار متناقض هستند (۳۳، ۳۲، ۳۱).

به‌عنوان مثال برخلاف ایموری و همکاران (۱۹۹۱)، یوکوتا و همکاران (۲۰۰۵) شکل کورپوس کالازوم را در صفحه میانی ساژیتال در MRI با استفاده از توصیفگرهای فوریه مدل‌سازی نموده و با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان خطی با حاشیه نرم، یک پارامتر را در مدل پیدا کرده که مقدار آن پارامتر با دقت تقریباً ۷۴ درصد بین مردان و زنان عادی متفاوت است. علاوه بر این، آن‌ها نشان دادند که مقدار این پارامتر برای افراد دارای اختلال هویت

هیچ مطالعه مستقیمی برای مقایسه وزن کل مغز افراد ترانجسیتی و افراد سالم به‌عنوان گروه کنترل وجود ندارد، اما به نظر می‌رسد وزن مغز ترانجسیتی‌ها بین مردان و زنان قرار دارد (۲۳، ۲۵). به‌عنوان مثال کورث و همکاران (۲۰۲۲) با یک روش طبقه‌بندی چند متغیره توسعه‌یافته (که تخمین احتمالی پیوسته و نه دوتایی را برای مردانه یا زنانه بودن مغزها ارائه می‌دهد) به این مسئله که مغز زنان ترانجسیتی بین مردان و زنان سالم قرار دارد، اشاره کردند (۵۷).

مطالعات متعددی ویژگی‌های مورفومتریک افراد ترانجسیتی و گروه کنترل را از نظر الگوهای ماده خاکستری و سفید و ضخامت کورتیکال مقایسه کرده‌اند که در بخش‌های زیر ارائه می‌شوند. اگرچه تعداد این مطالعات اندک است، اما بیشترین بخش از مطالعات در این زمینه تحقیقاتی را تشکیل می‌دهند. البته به‌طور کلی، یافته‌های مربوط به تفاوت‌های ساختاری مغز بین افراد مستقل و ترانجسیتی بسیار ناهمگن است و در بسیاری از موارد به دلیل عوامل مخدوش‌کننده مانند گرایش جنسی، عوامل ژنتیکی، عوامل هورمونی و حجم نمونه‌های کوچک تفسیر آن‌ها دشوار است (۲۹).

ماده سفید

بعضی از مطالعات انجام شده نشان می‌دهد بین ترک‌های ماده سفید مغز افراد دارای اختلال هویت جنسی و افراد فاقد اختلال تفاوت‌هایی وجود دارد. این ترک‌های شامل کورپوس کالازوم، سینگولوم، فاسیکلوس طولی فوقانی، فاسیکلوس فرونتال-اکسیپیتال تحتانی و مسیر قشری نخاعی و فورسپس مینور است.

این نتایج در برخی مطالعات با استفاده از روش تصویربرداری تانسور انتشار (DTI) و بررسی پارامترهایی مثل کسر ناهمسانگردی (FA) که شاخص انسجام ماده سفید و سازمان‌دهی آکسونی است، صورت گرفته است. البته در بعضی دیگر از مطالعات این نتایج نقض شده است؛ فلذا به‌طور کلی می‌توان گفت بین مطالعاتی که تاکنون در خصوص تفاوت ماده سفید میان افراد دارای اختلال هویت

جدول ۱- مقایسه میانگین دسته‌ای از ناهمسانگردی کسری در چهار فاسیکول که تفاوت‌های جنسی را نشان می‌دهند

Superior longitudinal fasciculus(anterior; right)	فاسیکلوس طولی فوقانی (قدامی؛ راست)	FC<FtM<MC
Superior longitudinal fasciculus(posterior; right)	فاسیکلوس طولی فوقانی (خلفی؛ راست)	FC<FtM=MC
Forceps minor(right)	فورسپس مینور	FC<FtM<MC
Corticospinal tract(right)	مسیر قشری نخاعی	FC<FtM<MC

منبع: رامتی و همکاران (۲۰۱۱)

آن‌ها در مطالعه اول که مقایسه الگوی ماده سفید در تراجنسیتی‌های FtM قبل از شروع درمان هورمونی با افراد بدون اختلال جنسی بود با تحلیل کل مغز با روش آمار مکانی مبتنی بر ترکت (TBSS) نشان دادند که در مردان گروه کنترل مقادیر FA به‌طور قابل توجهی بالاتر از زنان گروه کنترل در قسمت‌های قدامی و خلفی فاسیکلوس طولی فوقانی راست، فورسپس مینور و مسیر قشری نخاعی است (شکل ۱).

همچنین در FtM ها مقادیر FA بیشتری در قسمت قدامی

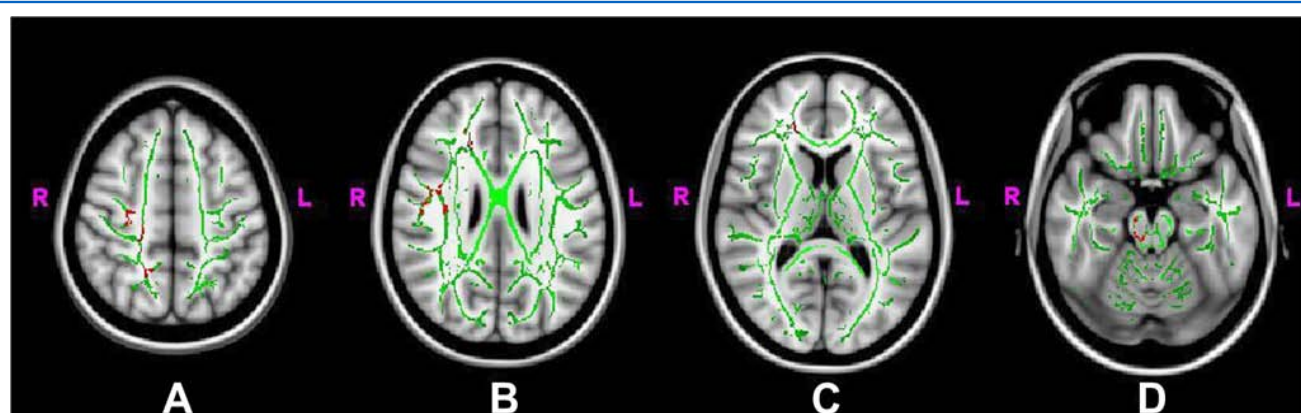
جنسی مرد به زن (MtF) و زن به مرد (FtM) به جنسیت ذهنی آن‌ها نزدیک‌تر است تا به جنسیت فیزیکی (۳۴). پل و همکاران (۲۰۰۶) و ساویک و آروور (۲۰۱۱) نیز در مطالعات خود هیچ تفاوتی در حجم ماده سفید بین دو جنس زن و مرد و افراد دارای اختلال هویت جنسی در تصاویر MRI پیدا نکردند (۳۵،۳۶).

FA در زنان نسبت به مردان کنترل راست فاسیکلوس طولی فوقانی (SLF) در قسمت خلفی (A) و قسمت قدامی (B) کمتر است. زنان گروه کنترل نیز مقادیر کمتری از FA مردانه را در فورسپس مینور (C) و دستگاه قشر نخاعی (D) نشان می‌دهند. اسکلت گروهی مورد استفاده برای مطالعه تضاد بین گروهی سبز است. رنگ قرمز، خوشه‌های کاهش معنی‌دار FA را در زنان نسبت به مردان کنترل نشان می‌دهد. اما رامتی و همکاران (۲۰۱۱) در دو مطالعه جداگانه که از داده‌های تصویربرداری تانسور انتشار (DTI) برای ارزیابی ناهمسانگردی کسری (FA) فیبرهای ماده سفید در افراد دارای اختلال هویت جنسی، مردان سالم MC و زنان سالم FC گروه کنترل استفاده می‌شد موارد دیگری را گزارش نمودند. در این مطالعه هر دو دسته از تراجنسیتی‌های FtM و MtF مورد بررسی قرار گرفتند که همگی به گرایش‌های همجنس‌گرایانه و عدم انطباق جنسیتی اعتراف کرده بودند (۲۷،۲۸).

▼ جدول ۲- مقایسه میانگین دسته‌ای از ناهمسانگردی کسری در شش فاسیکول که تفاوت‌های جنسی را نشان می‌دهند

Superior longitudinal fasciculus(anterior; right)	فاسیکلوس طولی فوقانی (قدامی؛ راست)	FC<FtM<MC
Superior longitudinal fasciculus(right)	فاسیکلوس طولی فوقانی (راست)	FC<MtF<MC
Forceps minor(right)	فورسپس مینور	FC<MtF<MC
Inferior frontooccipital fasciculus (right)	فاسیکلوس فرونتال-اکسیپیتال تحتانی	FC<MtF<MC
Superior longitudinal fasciculus(Left)	فاسیکلوس طولی فوقانی (چپ)	FC<MtF<MC
Corticospinal tract(right)	مسیر قشری نخاعی	FC<MtF<MC
Cingulum	سینگولوم	FC<MtF<MC

منبع: رامتی و همکاران (۲۰۱۱)



FA در زنان نسبت به مردان کنترل راست فاسیکلوس طولی فوقانی (SLF) در قسمت خلفی (A) و قسمت قدامی (B) کمتر است. زنان گروه کنترل نیز مقادیر کمتری از FA مردانه را در فورسپس مینور (C) و دستگاه قشر نخاعی (D) نشان می‌دهند. اسکلت گروهی مورد استفاده برای مطالعه تضاد بین گروهی سبز است. رنگ قرمز، خوشه‌های کاهش معنی‌دار FA را در زنان نسبت به مردان کنترل نشان می‌دهد.

▲ شکل ۱- نقشه تفاوت‌های جنسی ناهمسانگردی کسری (AF) (۲۷)

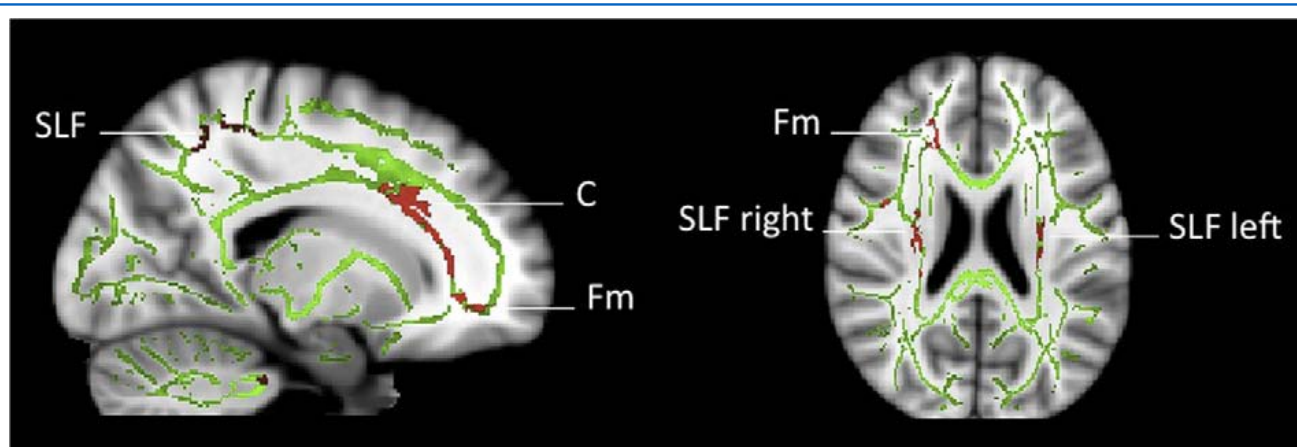
در طول رشد مغز تراجنسیتی‌های MtF برخی از مسیرهای ماده سفید، فرآیند مردانه‌سازی را تکمیل نمی‌کنند. در تراجنسی‌های FtM، نیز الگوی ریزساختار ماده سفید به مردان نزدیک‌تر است که تصور می‌شود که این بخش‌های الیافی مردانه یا به‌طور ناقص زنانه شده‌اند. البته یک اختلال برای مطالعه رامتی و همکاران وجود دارد و آن اینکه این افراد گرایش همجنس‌گرایانه داشتند؛ بنابراین مشخص نیست گرایش جنسی در این تشخیص تا چه حدی نقش داشته باشد.

جدای از این دو مطالعه صورت گرفته یک مطالعه دیگری توسط کرانز و همکاران (۲۰۱۴) صورت گرفته است که ریزساختار ماده سفید را در افراد دارای اختلال هویت جنسی (هر دو دسته از تراجنسیتی‌های MtF و FtM درمان‌نشده با هورمون) با تصویربرداری تشدید مغناطیسی با وزن انتشار (DW-MRI) روش آمار مکانی مبتنی بر ترک (TBSS) و بررسی پارامترهای MD، AD، FA و RD مورد تحلیل قرار دادند (۳۷). نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد که الگوی ریزساختار ماده سفید در تراجنسیتی‌های MtF و FtM بین زنان و مردان قرار می‌گیرد. زنان با هویت جنسی زنانه و پس‌از آن زنان با هویت جنسی مردانه (FtM) دارای بالاترین MD بودند. در مردان با هویت جنسی زنانه (MtF) و به دنبال

و فاسیکلوس طولی فوقانی (خلفی، راست)، فورسپس مینور و مسیر قشری نخاعی در مقایسه با زنان (گروه کنترل) وجود دارد؛ اما در مقایسه با مردان (گروه کنترل)، مقادیر FA کمتری را فقط در مسیر قشری نخاعی دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که قبل از درمان جنسی متقابل هورمونی، ریزساختار ماده سفید فاسیکل‌های انجمنی در ترانس‌های FtM درمان‌نشده بیشتر شبیه افراد با هویت جنسی مشابه است تا افراد با جنس بیولوژیکی یکسان.

رامتی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه دوم خود که به بررسی الگوی ماده سفید در تراجنسیتی‌های مرد به زن MtF قبل از شروع درمان هورمونی پرداختند نشان دادند که در مردان (گروه کنترل) مقادیر FA به‌طور قابل‌توجهی در فاسیکلوس طولی فوقانی چپ و راست، در فاسیکلوس فروتواکسیپیتال تحتانی راست، سینگولوم چپ، فورسپس مینور و دستگاه قشر نخاعی بیشتر از زنان است؛ اما این مقادیر در تراجنسیتی‌های MtF بین محدود افراد کنترل زن و مرد قرار می‌گیرد. به جز فاسیکلوس جلویی اکسیپیتال تحتانی (راست)، مقادیر FA تراجنسیتی MtF برای همه فاسیکول‌ها به‌طور قابل‌توجهی با گروه کنترل مرد و زن متفاوت است (شکل ۲).

لذا محققین دو مطالعه فوق به این نتیجه رسیدند که



FA به‌طور دوطرفه در زنان گروه کنترل نسبت به مردان گروه کنترل در فاسیکلوس طولی فوقانی (SLF) کمتر است. زنان گروه کنترل نیز مقادیر FA پایین‌تر از مردان گروه کنترل را در فورسپس مینور (Fm) و سینگولوم (C) نشان می‌دهند. اسکلت گروهی مورد استفاده برای مطالعه کنتراست بین گروهی سبز است. رنگ قرمز، خوشه‌های کاهش معنی‌دار FA را در زنان نسبت به مردان گروه کنترل نشان می‌دهد.

▲ شکل ۲- نقشه تفاوت‌های جنسی سازه‌بند و محوری ناهمسانگردی کسری (AF) [۲۸]

آن تنها ۵۲ درصد از اندازه موجود در مردان سالم گروه کنترل و ۴۶ درصد از مردان همجنس‌گرا بود. البته اگرچه میانگین حجم (BNST) در تراجنسیتی‌ها حتی کمتر از گروه زن بود، البته این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود (۲۳).

گارسیا-فالگوئراس و سواب (۲۰۰۸) نیز سومین و چهارمین هسته بینابینی هیپوتالاموس قدامی (INAH4) را در ۴۲ نفر (۱۴ مرد سالم گروه کنترل، ۱۱ زن سالم گروه کنترل، ۱۱ فرد MtF، ۱ فرد FtM و ۵ فرد غیرتراجنسیتی که به دلیل سرطان پروستات اخته شده بودند) پس از مرگ بارنگ آمیزی تیونین، نوروپتید و سیناپتوفیزین مورد بررسی قرار دادند. بارزترین تفاوت‌ها در زیر هسته (INAH3) یافت شد که حجم آن در مقاطع تیونین

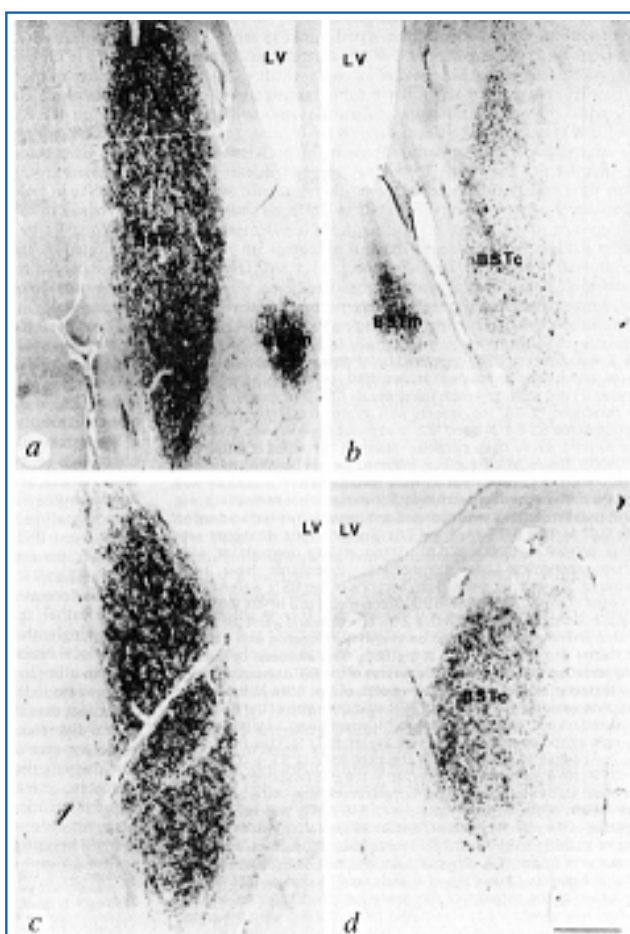
آن مردان با هویت جنسی مرد کمترین MD یافت شد؛ اما در مطالعه آن‌ها هیچ تفاوتی در ناهمسانگردی کسری (FA) در بین افراد دارای اختلال هویت جنسی و گروه‌های کنترل دیده نشد که در نتیجه با نتایج رامتی و همکاران در تضاد است. با این حال، هر دو مطالعه نشان‌دهنده انحراف الگوهای ریزساختار ماده سفید در تراجنسیتی‌ها از جنس بیولوژیکی به سمت مقادیر جنس مورد نظر هستند.

لذا با توجه به کل مطالعات صورت گرفته همچنان به صورت قاطع نمی‌توان به یک الگوی خاص جهت ریزساختار ماده سفید در تراجنسیتی‌ها اشاره نمود.

ماده خاکستری

بخش مرکزی هسته بستر الیاف انتهایی (BNST) و سومین هسته بینابینی هیپوتالاموس قدامی (INAH3) دو قسمت از ساختار مغز است که در زنان و مردان متفاوت گزارش شده است. هر دو این ساختارها در مردان بزرگتر از زنان و حاوی نورون‌های سوماتوستاتین بیشتری هستند (۳۹،۳۸). هسته بستر الیاف انتهایی (BNST) یک ساختار لیمبیک پیش‌مغز ناهمگن و پیچیده است که نقش مهمی در کنترل پاسخ‌های خودکار، عصبی غدد درون‌ریز و رفتاری دارد و تصور می‌شود از نزدیک با آمیگدال، هیپوکامپ و قشر پیش‌فرونتال داخلی مرتبط است (۴۰). سومین هسته بینابینی هیپوتالاموس قدامی (INAH3) نیز یکی از چهار گروه سلولی ناحیه پیش‌اپتیک-قدامی هیپوتالاموس است که در رفتار جنسی و مادری و ترشح گنادوتروپین نقش دارد (۴۱).

به نظر می‌رسد در افراد دارای اختلال هویت جنسی این دو ساختار بیشتر شبیه هویت جنسی مطلوب فرد باشد تا جنسیت فیزیکی وی. اولین مطالعه در این خصوص توسط ژو و همکاران (۱۹۹۵) صورت گرفته است. وی نشان داد که حجم (BNST) در مردان سالم ۴۴ درصد بیشتر از زنان سالم است اما بین مردان دگرجنس‌گرا و مردان همجنس‌گرا از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از طرفی حجم کمتری از (BNST) در تراجنسیتی‌های MtF یافت شد. اندازه



▲ شکل ۳- حجم (TSNB) در مرد سالم (a)، زن سالم (b)، مرد همجنس‌گرا (c) و تراجنسیتی مرد به زن (d) بر اساس یافته ژو و همکاران (۵۹۹۱)

در مردان گروه کنترل ۱،۹ برابر بیشتر از زنان بود و حاوی ۲،۳ برابر سلول بود. از طرفی حجم و تعداد نورون‌های (INAH3) در افراد MtF شبیه به زنان گروه کنترل است اما در فرد FtM شبیه به مردان گروه کنترل بود (۲۵).

کروبیجور و همکاران (۲۰۰۰) تعداد نورون‌های بیان‌کننده اوماتوستاتین در (BNST) را در ۴۲ نفر تعیین نمودند و دریافتند صرف‌نظر از گرایش جنسی، مردان تقریباً دو برابر زنان نورون سوماتوستاتین دارند. از طرفی تعداد نورون‌ها در (BNST) تراجنسیتی‌های MtF مشابه زنان بود. در مقابل، تعداد نورون یک تراجنسیتی FtM مشابه مردان بود. آن‌ها با مقایسه نتایج با افراد اخته شده دارای سرطان پستان و وضعیت زنان در پیش و پس‌اقدامی به این نتیجه رسیده بودند که درمان هورمونی یا تغییرات سطح هورمون جنسی در بزرگسالی نمی‌تواند بر تعداد نورون‌های (BNST) تأثیر بگذارد (۲۶).

به گفته نویسندگان، به نظر می‌رسد الگوی مشاهده‌شده مستقل از تغییرات در سطح هورمون‌های جنسی و گرایش جنسی باشد، اما درواقع نمی‌توان به‌طورقطع بیان کرد که آیا این تفاوت‌ها منعکس‌کننده تفاوت‌های اولیه بین افراد دارای اختلال هویت جنسی و افراد سالم است یا ناشی از درمان هورمونی است. لذا این مطالعات باید به‌طور دقیق‌تری صورت گیرد.

پس به‌طور کلی سه مطالعه مذکور بیانگر آن است که در افراد دارای اختلال هویت جنسی MtF، اندازه و تعداد نورون BNST و INAH3 شبیه به زنان کنترل است. ممکن است این وارونگی جنسی در تراجنسیتی‌های FtM نیز وجود داشته باشد، اما از آنجاکه تاکنون، داده‌ها فقط برای دو نفر در دسترس است بایستی بررسی بیشتری صورت پذیرد.

یکی از سابکوریکال‌های دیگر پوتامن است. در این خصوص چندین مطالعه در دسترس است. لودرز و همکاران (۲۰۰۹) الگوی کلی ماده خاکستری را در تراجنسیتی‌های MtF گزارش کردند که شبیه مردان سالم کنترل است، آن‌ها با روش تحلیل مبتنی بر وکسل (VBA) داده‌های تصاویر تانسور انتشار ۲۴ فرد MtF را با ۳۰ زن و ۳۰ مرد

به‌عنوان گروه کنترل مقایسه نموده و نشان دادند که زنان حجم پوتامن بالاتری نسبت به مردان دارند و پوتامن راست تراجنسیتی‌های MtF زنانه شده است، به این معنی که حجم پوتامن آن‌ها به ترتیب در محدوده میانگین زنان و مردان کنترل است (۴۲).

مطالعه ساویک و آرور (۲۰۱۱) نتایج متفاوتی را به همراه داشت آن‌ها هیچ تفاوتی در حجم پوتامن بین هر زنان و مردان گروه کنترل پیدا نکردند؛ اما حجم پوتامن در تراجنسیتی‌های MtF کمتر از مردان و زنان بود. به‌عبارت‌دیگر در مقایسه با هر دو گروه کنترل مرد و زن، در تراجنسیتی‌های MtF حجم ماده خاکستری، در ناحیه‌ای که شکنج زاویه‌ای راست و قسمت خلفی شکنج تمپورال فوقانی و قشر فرونتال اینسولار تحتانی را پوشش می‌دهد، افزایش و حجم ماده خاکستری در پوتامن و تالاموس کاهش یافته است (۳۶).

از طرفی شواهد مطالعه زوبرا-الورزا و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد حجم پوتامن (راست) مردان سالم گروه کنترل نسبت به زنان سالم بیشتر است؛ اما FtM ها حجم بیشتری از پوتامن راست نسبت به زنان دارند؛ اما حجم پوتامین راست MtF ها تفاوتی با گروه کنترل مردان ندارد. در نتیجه در FtM ها شواهدی از مردانه شدن پوتامن راست وجود دارد. در سایر بخش‌های خاکستری مانند تالاموس، کودیت، پالیدوم، هیپوکامپ و آمیگدال نیز تفاوتی دیده نشد (۴۳). مطالعه دیگری توسط فیلینت و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفت که در آن وضعیت پوتامن و اینسولا قبل و بعد از درمان هورمونی در مقایسه با مردان و زنان سالم بررسی شد.

همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد حجم اینسولا و پوتامن قبل از درمان هورمونی در MtF ها کمتر از زنان سالم گروه کنترل است درحالی‌که بعد از درمان با هورمون حجم اینسولای راست در MtF ها کاهش یافته و کمتر از زنان سالم گروه کنترل می‌گردد. همچنین حجم پوتامن قبل از درمان هورمونی در MtF ها بیشتر از مردان سالم گروه کنترل است در صورتی‌که بعد از درمان با هورمون حجم

حجم پوتامن در MtF ها در محدوده مابین گروه کنترل زنان و مردان و در دو مطالعه دیگر حجم پوتامن در MtF ها در یکی بالاترین میزان در گروه‌های جنسی و در دیگری در پایین‌ترین میزان در گروه‌های جنسی ذکر شده است و در یک مطالعه با گروه کنترل مردان برابر است.

اما بررسی تغییرات در حجم ماده خاکستری محدود به (INAH3)، (BNST) و پوتامن نمی‌باشد. به‌عنوان مثال یکی دیگر از حوزه‌های مورد علاقه در مطالعه اختلال هویت جنسی، شکنج پیش‌مرکزی، محل نمایش سوماتوتوپیک بدن است. مطالعات منظوری و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که حجم این ناحیه بین FtM ها که تستوسترون مصرف نمی‌کنند، مشابه حجم این ناحیه در زنان سالم است (۵۹). خراشاد و همکاران (۲۰۲۱) نیز حجم شکنج پیش‌مرکزی کمتری را در FtM ها نسبت به مردان سالم گزارش می‌کنند (۶۱، ۶۰).

یافته‌های لودرز و همکاران (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که تنوع ماده خاکستری منطقه‌ای در MtF ها بیشتر شبیه الگوی موجود در مردان است تا زنان. آن‌ها تفاوت‌هایی در حجم ماده خاکستری بین MtF ها و زنان و مردان گروه کنترل در ۲۲ منطقه (۱۲ ناحیه در نیمکره راست و ده

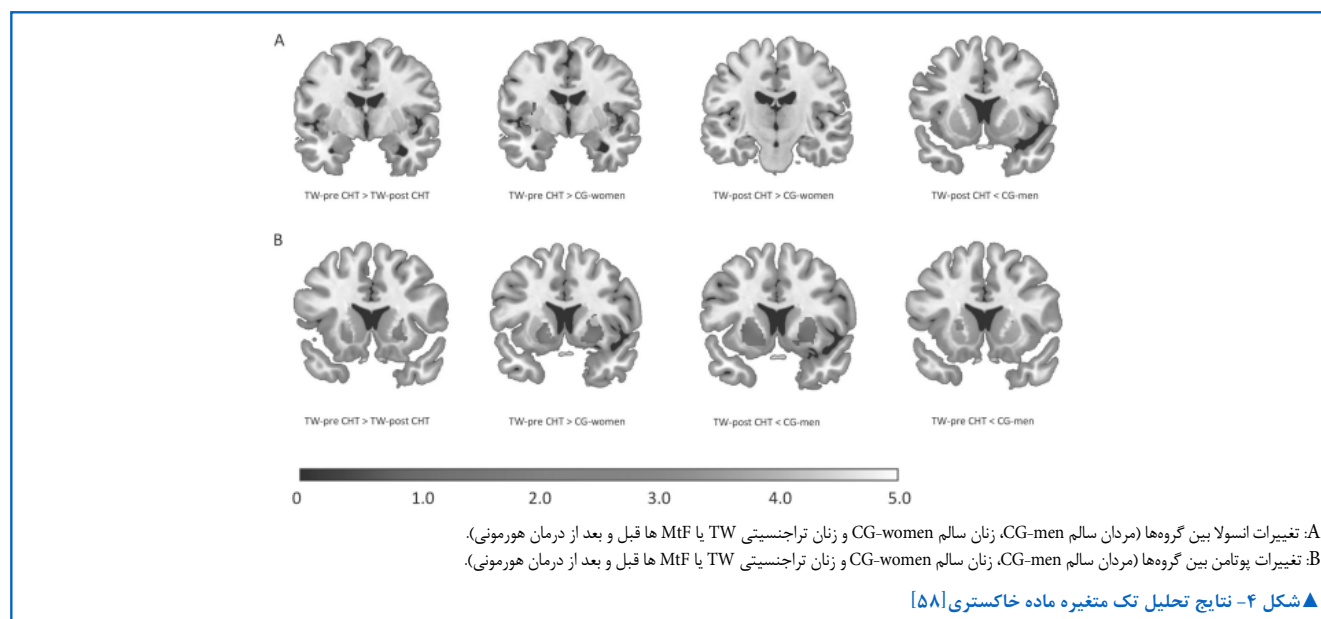
اینسولا و پوتامن در MtF ها کاهش یافته و از مردان سالم گروه کنترل کمتر می‌شود (۵۸).

کلمنس و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی وضعیت تالاموس، پوتامن، مخچه، شکنج زاویه‌ای، شکنج پیش‌مرکزی و مقایسه آن بین افراد سالم با افراد دارای اختلال هویت جنسی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که پوتامن (هم پوتامن راست و هم پوتامن چپ) تنها منطقه‌ای است که حجم آن در MtF نسبت به FtM ها و سپس زنان سالم افزایش یافته است (۲۹).

پس همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد حجم پوتامن در FtM ها در محدوده مابین گروه کنترل زنان و مردان قرار دارد اما در خصوص MtF ها یافته‌های بسیار متناقض است. به طوریکه از میان ۵ مطالعه صورت گرفته در دو مطالعه

▼ جدول ۳- مقایسه نتایج مطالعات صورت گرفته در خصوص حجم پوتامن در گروه‌های مختلف جنسی

لودرز و همکاران (۲۰۰۹)	FC > MtF > MC
ساویک و آرو (۲۰۱۱)	FC=MC > MtF
زوبرا-الورزا و همکاران (۲۰۱۳)	MtF=MC > FtM > FC در خصوص فقط پوتامن راست
فیلینت و همکاران (۲۰۲۰)	FC > MtF > MC قبل درمان با هورمون
کلمنس و همکاران (۲۰۲۱)	MtF > MC > FtM > FC



ساختاری بین افراد تراجنسیتی و افراد کنترل به جای هویت جنسی، به جنسیت بیولوژیکی وابسته بود (۴۴).

فوکو و همکاران (۲۰۲۲) نیز به شناسایی تفاوت‌های حجم ماده خاکستری ۲۱ فرد FtM و ۲۱ زن سالم دگرجنس‌گرا که از نظر جنسیت و سن همسان بودند، پرداختند. آن‌ها نشان دادند که FtM ها در مقایسه با زنان سالم، در مناطقی با افزایش حجم ماده خاکستری (مانند شکنج سینگولیت خلفی راست و قطب اکسیپیتال چپ) و در مناطقی با کاهش حجم ماده خاکستری (شکنج میانی تمپورال چپ) مواجه هستند. شکنج سینگولیت خلفی و نواحی اطراف آن ساختارهای خط میانی مغزی نامیده می‌شوند که شامل پردازش خودارجاعی در حوزه‌های عاطفی، صورت و اجتماعی است. ضخامت بیشتر و کم‌فعالی مناطق خط میانی مغز در طول حالت استراحت در FtM ها به‌عنوان نشانگرهای بیولوژیکی برای ادراک ناخوشایند از بدن خود فرض شده است (۴۸).

از طرفی زویرا-الورزا و همکاران (۲۰۱۳) افزایش ناحیه اکسیپیتال را در زنان تراجنسیتی در مقایسه با مردان سیسجندر نشان داده‌اند. همانند شکنج سینگولیت خلفی، ناحیه پس‌سری نیز در ساختارهای خط میانی مغز درگیر است؛ بنابراین، نواحی سینگولیت و اکسیپیتال خلفی بزرگتر ممکن است از طریق تغییر ادراک بصری در مردان ترنسجندر و همچنین زنان ترنس، به حساسیت به پردازش خود ارجاعی کمک کند (۵۶).

اما یافته‌هایی که به حجم ماده خاکستری در افراد دارای اختلال هویت جنسی تاکنون اشاره شد، مبتنی بر نمونه‌های کوچک بود. تنها مطالعه مولر و همکاران (۲۰۲۱) مبتنی بر یک نمونه بزرگ ۸۰۳ نفری شامل ۲۱۴ FtM، ۱۷۲ MtF، ۲۲۱ مرد دگرجنس‌گرا سالم MC و ۱۹۶ زن دگرجنس‌گرا سالم FC صورت گرفته است. در این مطالعه سه معیار اصلی آناتومیکی مورد تحلیل قرار گرفت: (۱) حجم ماده خاکستری (کورتیکال و سابکورتیکال، GMV)، (۲) مساحت سطح کورتیکال (CSA) و (۳) ضخامت کورتیکال (CTH) با استفاده از رویکرد منطقه موردعلاقه (ROI).

ناحیه در نیمکره چپ) مانند لوب فرونتال به‌صورت دوطرفه در شکنج فوقانی فرونتال نزدیک به خط وسط، در قطب فرونتال در شکنج ارییتال راست و به‌صورت دوطرفه در سراسر لوب‌های تمپورال اکسیپیتال و خلفی و همچنین در لوب پاریتال، نزدیک سولیکوس داخل پاریتال و نزدیک‌تر به خط وسط (سمت چپ) مشاهده نمودند.

اثرات گروه اضافی بر حجم ماده خاکستری منطقه‌ای به‌صورت ساب پینه‌ای در هر دو نیمکره در خط وسط مغز شناسایی شدند. این نواحی بخشی از عقده‌های قاعده‌ای (هسته کودیت و پوتامن) و سیستم لیمبیک (شکنج سابکالوزال، اجسام پستانی، آمیگدال، تالاموس و هیپوتالاموس) را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، تفاوت‌های گروهی در سطح پایه لوب تمپورال راست و لوب فرونتال چپ نیز وجود داشت. یافته‌ها نشان داد که به‌طور کلی حجم ماده خاکستری در زنان سالم همواره بیشتر از مردان سالم است. همچنین حجم ماده خاکستری در MtF ها هیچ‌گاه کمتر از مردان سالم نمی‌باشد (در مناطقی برابر مردان سالم و در مناطق دیگر بیشتر از مردان سالم می‌باشد) (۴۲).

سیمون و همکاران (۲۰۱۳) حجم ماده خاکستری را در ۱۷ تراجنسیتی MtF و FtM و مردان و زنان کنترل مورد تحلیل قرار داده و ۴ خوشه را شناسایی نموده که در آن‌ها حجم ماده خاکستری منطقه‌ای تراجنسیتی‌ها با گروه کنترلی که هویت جنسیتی خود را به اشتراک می‌گذاشتند تفاوت معنی‌داری نداشت، اما با آن‌هایی که جنسیت بیولوژیکی خود را به اشتراک می‌گذاشتند متفاوت بود. به‌عبارت دیگر، در ناحیه شکنج اکسیپیتال میانی و تحتانی راست، شکنج دوکی شکل و زبانی، شکنج گیجگاهی تحتانی راست، حجم ماده خاکستری منطقه‌ای در آن دسته از افراد که دارای هویت جنسی زنانه بودند (تراجنسیتی‌های MtF و افراد کنترل زن) بیشتر بود. در حالی که حجم ماده خاکستری منطقه‌ای در شکنج پیش و پس مرکزی چپ، سینگولیت خلفی چپ، شکنج کلکارین و پرکونوئوس، در افراد دارای هویت جنسی مردانه (تراجنسیتی‌های FtM و افراد کنترل مرد) بیشتر بود. بالاین حال، اکثریت تفاوت‌های

برای کاهش تعداد مقایسه‌ها، بر اساس یافته‌های قبلی و بر اساس علایق مطالعاتی خاص بخش‌های محدودی برای بررسی انتخاب شدند که در مساحت سطح کورتیکال شامل شکنج پاریتال تحتانی، شکنج پیش‌مرکزی، شکنج پس‌مرکزی، شکنج دوکی‌شکل، IFG، پارس‌ارییتال، IFG، پارس‌اپرکولاریس، IFG پارس‌تریانگولاریس، شکنج فرونتال فوقانی، قطب فرونتال، شکنج فرونتال میانی منقاری، شکنج فرونتال میانی کودال و اینسولا است و در حجم ماده خاکستری شامل مخچه، بطن، تالاموس، پوتامن و کودیت بودند.

تحلیل‌های آماری بر روی مقادیر میانگین برای هر ROI نشان داد که ۵ الگو برای حجم ماده خاکستری و ۴ الگو برای مساحت سطح کورتیکال وجود دارد.

۵ الگو برای حجم ماده خاکستری به شرح زیر است: در الگوی شماره ۱ ($MC > FC = FtM$) است یعنی الگوی مغزی (به‌عنوان مثال، در شکنج پیش و پس مرکزی، شکنج فرونتال فوقانی، شکنج پاریتال تحتانی و شکنج دوکی‌شکل) در FtM ها مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است و مثل زنان دگر جنس‌گرا متفاوت از مردان دگر جنس‌گرا است. در الگوی شماره ۲ ($MC > FC = MtF = FtM$) است یعنی الگوی مغزی (به‌عنوان مثال، در شکنج منقاری فرونتال میانی و تالاموس) در MtF شبیه به هویت جنسی آن‌ها است در صورتی که در FtM ها شبیه به جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است.

در الگوی شماره ۳ ($MC > MtF > FC = FtM$) است که شبیه به الگوی ۱ است با این تفاوت که الگوی مغزی MtF بین MC و FC قرار دارد، در حالی که FtM ها مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است (به‌عنوان مثال اینسولا).

در الگوی شماره ۴ ($MC > FC > FtM$) است که نشان می‌دهد اندازه‌های آناتومی مغز (به‌عنوان مثال، قطب فرونتال و پارس‌اپرکولاریس) در FtM ها حتی نسبت به FC ها پایین‌تر است. بنابراین یک فنوتیپ متمایز از هویت جنسیتی و جنسیت بیولوژیکی زمان تولد را نشان می‌دهد.

در نهایت، در الگوی ۵ ($MC = MtF > FC = FtM$) است که نشان می‌دهد الگوی مغزی (به‌عنوان مثال، در مخچه

و پارس-تریانگولاریس) افراد دارای اختلال هویت جنسی مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است.

۴ الگو برای مساحت سطح کورتیکال به شرح زیر است: مشابه الگوهای حجم ماده خاکستری، در الگوی شماره ۱ مساحت سطح ($MC > FC = FtM$) است یعنی الگوی مغزی (به‌عنوان مثال، شکنج میانی فرونتال کودیت) در FtM ها مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است.

در الگوی شماره ۲ ($MC > FC = MtF = FtM$) است یعنی الگوی مغزی (به‌عنوان مثال، در فرونتال فوقانی، پاریتال تحتانی، منقاری پیشانی میانی، پارس‌اپرکولاریس و شکنج دوکی‌شکل) در MtF شبیه به هویت جنسی آن‌ها است در صورتی که در FtM ها شبیه به جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است.

در الگوی شماره ۳ ($MC > MtF > FC = FtM$) است که شبیه به الگوی ۱ است با این تفاوت که الگوی مغزی MtF بین MC و FC قرار دارد، در حالی که FtM ها مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است (به‌عنوان مثال اینسولا و پارس‌تریانگولاریس).

در الگوی شماره ۴ ($MC > FC > FtM$) است که نشان می‌دهد اندازه‌های آناتومی مغز (به‌عنوان مثال، قطب فرونتال، پارس‌ارییتال و شکنج پس مرکزی) در FtM ها حتی نسبت به FC ها پایین‌تر است؛ بنابراین یک فنوتیپ متمایز از هویت جنسیتی و جنسیت بیولوژیکی زمان تولد را نشان می‌دهد.

با توجه به فنوتیپ‌های بالا به‌طور خلاصه می‌توان گفت در حجم ماده خاکستری و مساحت سطح الگوهای مغزی زنان از مردان از یکدیگر متفاوت بوده و مردان دارای حجم ماده خاکستری و مساحت سطح بیشتری نسبت به زنان هستند، علاوه بر آن الگوی مغزی FtM ها به جز در یک مورد مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان است. در صورتی که الگوی مغزی MtF ها در مناطق مختلف ماده خاکستری از نظر حجم و مساحت سطح متفاوت بوده و گاهی مورد مشابه جنسیت بیولوژیکی زمان تولدشان و گاهی مشابه هویت جنسی‌شان و یا بین این دو قرار دارد (۵۵).

پس به‌طور خلاصه به نظر می‌رسد افراد تراجنسیتی به‌جای

همچنین یافته‌ها حاکی از کاهش حجم تالاموس چپ، هیپوکامپ راست و هسته کودیت راست در این گروه نسبت به گروه کنترل است (۶۳).

ضخامت کورتیکال

چهار مطالعه در خصوص ضخامت کورتیکال در افراد دارای اختلال هویت جنسی انجام شده است. مطالعه اول مربوط به لودر و همکاران (۲۰۱۲) است که نشان دادند در تراجنسیتی‌های MTF در مقایسه با مردان سالم (گروه کنترل)، هم در نواحی نیمکره چپ (به‌عنوان مثال، قشر فرونتال و اربیتوفرونتال، سولیکوس مرکزی، نواحی پریسیلین، شکنج پارامرکی) و هم در نواحی نیمکره راست (شکنج پیش و پس از مرکزی، قشر پاریتال، قشر تمپورال، پرکونئوس، شکنج دوکی‌شکل، زبانی و اربیتوفرونتال) قشرهای ضخیم‌تری وجود دارد (۴۵).

مطالعه بعدی مربوط به زوبرا-الورزا و همکاران (۲۰۱۳) است که یافته‌های آن‌ها نشان می‌داد که اولاً ضخامت کورتیکال زنان سالم گروه کنترل نسبت به مردان سالم در ناحیه فرونتال و پاریتال بیشتر است (قبل از این مطالعه سوول و همکاران ۲۰۰۷ و رزنه‌هان و همکاران ۲۰۱۰ نیز مدعی شده بودند ضخامت کورتیکال در مردان فقط در نواحی کوچکی از ناحیه تمپورال قدامی و اربیتوفرونتال در نیمکره راست ضخیم‌تر از زنان است که با نتیجه فوق تناقضی ندارد (۴۶، ۴۷))، ثانیاً ضخامت کورتیکال در FtM ها بیشتر شبیه زنان گروه کنترل است و نسبت به مردان در ناحیه تمپورال و پاریتال ضخیم‌تر است؛ اما ضخامت کورتیکال MtF ها با زنان گروه کنترل تفاوتی ندارد، اما نسبت به مردان سالم گروه کنترل در نواحی اربیتوفرونتال، اینسولار و پس‌سری داخلی ضخیم‌تر است. پس به‌طور کلی یافته‌ها حاکی از آن است که ضخامت کورتیکال در FtM ها دارای الگوی هستند که بیشتر با جنسیت بیولوژیکی آن‌ها مطابقت دارد؛ اما در MtF ها نشانه‌هایی از زنانه شدن ضخامت کورتیکال وجود دارد (۴۳).

یافته‌های منظوری و همکاران (۲۰۱۷) که با استفاده از

اینکه صرفاً به سمت هر دو انتهای طیف زن و مرد سوق داده شوند، با فنوتیپ مغزی منحصربه‌فرد خود ظاهر می‌شوند. یافته‌های مربوط به مخچه نیز کاملاً متناقض است ساویک و آرور (۲۰۱۱) دریافتند که تراجنسیتی‌های MtF نسبت به زنان گروه کنترل ماده خاکستری بیشتری در مخچه دارند (۳۶)، درحالی‌که سیمون و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که تراجنسیتی‌های MtF (و FtM) در مقایسه با گروه کنترل، حجم ماده خاکستری کمتری در مخچه دارند. دلیل یافته‌های متناقض ناشناخته است، اما در هر دو مورد، تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از عدم کنترل کافی برای گرایش جنسی شرکت‌کنندگان باشد (۴۹)، زیرا پونستی و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کرده بودند که زنان همجنس‌گرا ماده خاکستری کمتری در بخش وینترال مخچه نسبت به زنان دگرجنس‌گرا دارند. البته نتایج مطالعات در مورد تفاوت‌های جنسی مخچه نیز کاملاً متناقض است. بسیاری از مطالعات، نیمکره مخچه بزرگ‌تری را در مردان در مقایسه با زنان گزارش می‌کنند (۵۰، ۵۱)، اما هنگام تصحیح اندازه کلی مغز، مطالعاتی وجود دارد که تفاوت جنسیتی را گزارش نمی‌کنند (۵۲، ۵۳) یا حتی حجم بالاتر ماده خاکستری را در مخچه زنان گزارش می‌کند (۵۴).

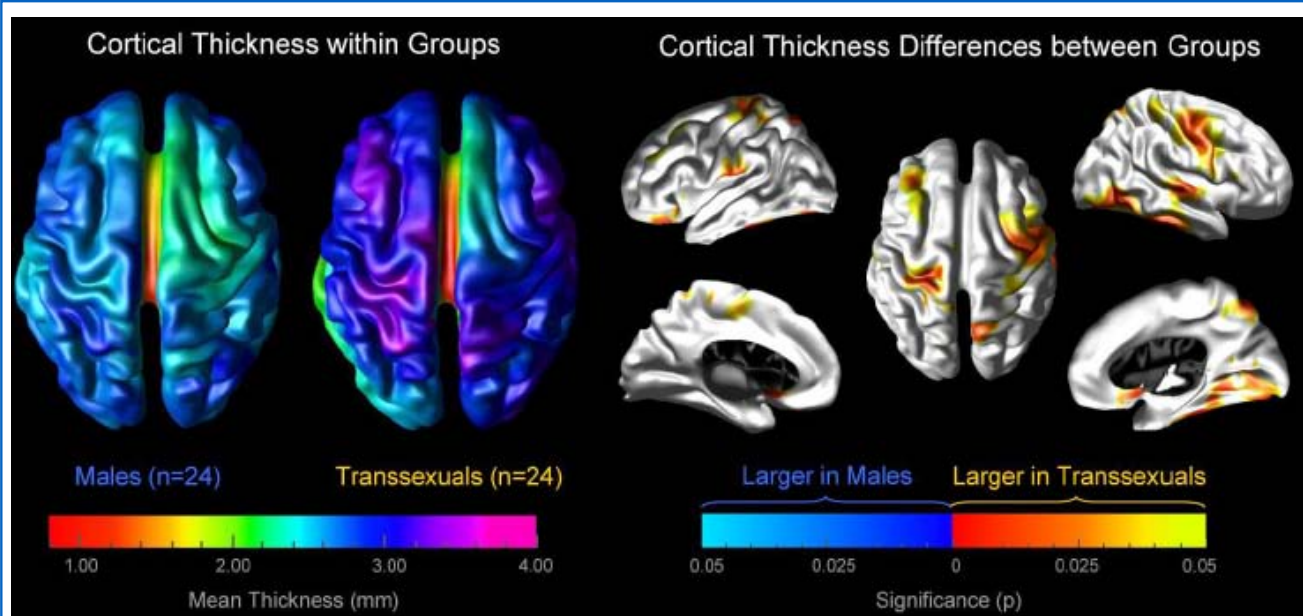
یافته‌های اوحدی و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیانگر آن بود که میانگین حجم هسته قرمز در افراد مبتلا به اختلال هویت جنسی کوچکتر از حجم هسته قرمز گروه کنترل است. حجم هسته قرمز و حجم اینترادورال و پارانشیم مغز زنان و مردان تفاوت معناداری داشت درحالی‌که بین حجم هسته قرمز تراجنسیتی مرد و زنان تفاوت معناداری وجود نداشت. از طرفی حجم هسته قرمز تراجنسیتی‌های زن کمتر از مردان سالم بود. مقایسه مساحت کورپوس کالوزوم، حجم مایع مغزی نخاعی، حجم اینترادورال و پارانشیم مغز گروه دارای اختلال هویت جنسی و گروه کنترل حاکی از آن بود که تفاوت‌های موجود کم و از نظر آماری غیرمعنادار است (۶۲). استارسیویچ و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که حجم ناحیه مغزی به نام هسته اکومبنس در سمت چپ در گروه تراجنسیتی به‌طور قابل توجهی کمتر از گروه کنترل است.

MtF، ۴۰ نفر FtM (به‌عنوان گروه‌های مورد) و ۸۰ فرد سالم دگرجنس‌گرا و ۶۰ فرد همجنس‌گرا (به‌عنوان گروه‌های کنترل) انجام دادند، نشان دادند که پاریتال، اکسیپیتال، نواحی موتور کورتکس و نواحی حرکتی حسی مخ در زنان ضخیم‌تر از مردان است؛ اما کورتکس فوقانی تمپورال در مردان ضخیم‌تر است.

آن‌ها همچنین مشاهده کردند که ضخامت کورتیکال در FtM ها در قسمت پاریتال تفاوت معنی‌داری با مردان سالم گروه کنترل ندارد؛ اما بخش قدامی قشر تمپورال فوقانی چپ آن‌ها ضخیم‌تر از زنان سالم گروه کنترل است (اما نه از مردان). این مسئله حاکی از آن است که ضخامت کورتیکال در FtM ها دارای الگوی مردانه است. از طرفی با بررسی ضخامت کورتیکال MtF ها مشاهده نمودند که کورتکس پاریتال چپ این افراد ضخیم‌تر از مردان سالم گروه است (اما نه از زنان)؛ اما کورتکس فوقانی تمپورال چپ آن‌ها تفاوت معنی‌داری با زنان و مردان سالم گروه کنترل ندارد.

اطلاعات ۲۸ FtM و ۷۸ مرد و زن سالم به‌عنوان گروه کنترل انجام شد بیانگر آن بود که ضخامت کورتیکال در زنان سالم در قسمت شکنج دوکی شکل چپ و قشر اکسیپیتال جانبی، در پرکونئوس چپ و بخشی از قشر پاریتال فوقانی چپ و در قشر پاریتال فوقانی راست شامل بخشی از شکنج پس‌مرکزی بیشتر از مردان سالم است. همچنین نتایج مشاهدات حاکی از آن بود که در FtM ها قشر میانی فرونتال، پیش‌کونئال-آهیانه و زبانی ضخیم‌تر از گروه کنترل مرد و زن است درحالی‌که در مناطقی که تفاوت‌های جنسی آناتومیک میان زنان و مردان سالم وجود داشت، FtM از الگوهای جنسیتی زمان تولد پیروی می‌کردند. همچنین در FtM ها اتصالات عملکردی ضعیف‌تری در سینگولیت قدامی پریجنوال تا قشر اینسولار و محل اتصال جداری تمپورو در مقایسه با هر دو گروه کنترل گزارش گردید (۵۹).

در مطالعه دیگری که منظوری و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های MRI و Rs-Fmri مربوط به ۲۷ نفر



پائل سمت چپ: نقشه‌های مغز میانگین ضخامت قشر مغز را نشان می‌دهد. در تراجنسیتی‌های MTF و در مردان سالم گروه کنترل، به‌طور جداگانه. سطوح مغز با توجه به نوار رنگی که ضخامت آن بر حسب میلی‌متر نشان داده می‌شود، کد رنگی می‌شوند. پائل سمت راست: نقشه‌های مغز نشان می‌دهند که قشر مغز در تراجنسیتی‌های MTF به‌طور قابل‌توجهی ضخیم‌تر از مردان کنترل است که رنگی شده است. رنگ خاکستری مناطقی را نشان می‌دهد که هر دو گروه تفاوت معنی‌داری نداشتند. نواحی پینه‌ای، ساب‌پینه‌ای و مغز میانی حذف‌شده‌اند.

▲ شکل ۵- افزایش ضخامت قشر کورتیکال در تراجنسیتی‌های FTM [۵۹]

افراد تراجنسیتی MtF دگرجنسگرا ضخامت قشر کورتیکال در بعضی نواحی بیشتر از مردان سالم بوده و الگوی زنانه دارد بیشتر است.

نتیجه‌گیری

از اواسط دهه ۱۹۹۰ تاکنون تبلیغات زیادی در خصوص اینکه اختلال هویت جنسی می‌تواند منشأ بیولوژیکی داشته باشد صورت گرفته است. دقیقاً از همان زمان نیز پژوهشگران در این خصوص مطالعات خود را آغاز کرده‌اند. تشخیص این اختلال در حال حاضر بر پایه مصاحبه و معیارهای بالینی است اما وجود شواهد بیولوژیکی به‌ویژه از آن جهت که آناتومیک و به‌صورت عینی قابل مشاهده هستند، برای تأیید تشخیص و تسهیل درمان و حمایت از بیمار بسیار مؤثر است. لذا این مطالعه جهت بررسی مروری یافته‌های تصویربرداری رزونانس مغناطیسی MRI مغزی این افراد برای به دست آوردن یک الگوی مغزی خاص صورت گرفت تا در آینده بتوان با استفاده از این دانش این اختلال را به‌طور دقیق‌تری شناسایی نمود؛ اما همان‌گونه که مشخص است این مطالعات بسیار اندک بوده و در بعضی موارد در صورت تکرار یک آزمایش نتایج متناقضی حاصل شده است. تصور می‌شود این بدان جهت است که در این مطالعات، تحلیل‌ها بدون توجه به عوامل مخدوش‌کننده مانند گرایش جنسی، عوامل ژنتیکی، عوامل هورمونی و حجم نمونه‌های کوچک صورت گرفته است. لذا برای دستیابی به یک الگوی مشخص از تغییرات مورفولوژی مغز مرتبط با این اختلال نیاز به مطالعات گسترده‌تر و جامع‌تری وجود دارد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از سازمان پزشکی قانونی کشور به دلیل همکاری و مساعدت‌های لازم تقدیر و تشکر نمایند.

تأیید به اخلاقی: موردی برای گزارش وجود ندارد.

تعارض منافع: نویسندگان این مقاله اعلام داشتند که هیچگونه تعارض منافی در قبال این مطالعه وجود ندارد.

سهم نویسندگان: رضا حاج منوچهری: نگارش مقاله/پژوهشگر اصلی به میزان ۵۰ درصد؛ آذر تابش: نگارش مقاله به میزان ۵۰ درصد.

منابع مالی: هزینه اجرای این پژوهش به‌صورت شخصی پرداخت شده است.

این نیز بیانگر آن بود که ضخامت کورتیکال در MtF ها دارای الگوی زنانه است.

البته این نتیجه زمانی حاصل شد که همجنس‌گراها در گروه کنترل قرار نداشتند. با ورود آن‌ها به تحلیل، نتایج تغییر یافت زیرا خوشه‌ای که نشان می‌داد قشر تمپورال فوقانی چپ در FtM ها ضخیم‌تر از زنان است، دیگر وجود نداشت. همچنین با ورود این افراد کورتکس پاریتال MtF ها دیگر تفاوتی با مردان گروه کنترل نداشته و ضخامت کورتیکال در شکنج تمپورال فوقانی سمت چپ این افراد با مردان و زنان گروه کنترل تفاوتی نداشت.

از یافته‌های برجسته دیگر این محققین این بود که در هر دو گروه تراجنسیتی، ضخامت سینگولیت قدامی، قشر پیشانی فرونتال و اکسیپیتو-گیجگاهی در مقایسه با زنان و مردان سالم گروه کنترل به‌طور قابل توجهی بیشتر بود که در این نتیجه با ورود همجنس‌گراها به گروه کنترل تغییری حاصل نشد که بیانگر آن بود که این قسمت از مغز مستقل از گرایش جنسی است.

آن‌ها با مقایسه مستقیم بین دو گروه تراجنسیتی دریافتند هیچ تفاوتی در ضخامت کورتیکال لوب‌های جلویی فرونتال داخلی ندارد و ضخیم شدن لوب فرونتال ویژگی مشترک هر دو جمعیت تراجنسیتی است. تنها تفاوت بین دو گروه تراجنسیتی این بود که قشر اکسیپیتال جانبی چپ و قشر زبانی راست در FtM ضخیم‌تر بود و بنابراین از الگوی جنسیت تعیین‌شده در هنگام تولد پیروی می‌کرد. در قشر جداری، ضخامت کورتیکول در FtM به‌طور قابل توجهی بیشتر از MtF بود که در اینجا نیز از الگوی جنسیت اختصاص داده‌شده در بدو تولد پیروی می‌کند (۴۸).

آخرین مطالعه مربوط به مولر و همکاران (۲۰۲۱) بود که در آن مطالعه بین ضخامت کورتیکال افراد تراجنسیتی و افراد سالم تفاوت معناداری مشاهده نشد که در تناقض با یافته‌های قبلی بود (۵۵).

با توجه به مطالعات مذکور به نظر می‌رسد ضخامت قشر کورتیکال در بیشتر نواحی در زنان سالم بیشتر از مردان سالم است. همچنین شواهد بیشتری در خصوص اینکه در

References

- Smith ES, Junger J, Derntl B, Habel U. The transsexual brain—A review of findings on the neural basis of transsexualism. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;59:251-66. doi: [10.1016/j.neubiorev.2015.09.008](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.09.008).
- Kiyar M, Collet S, T'Sjoen G, Mueller SC. Neuroscience in transgender people: an update. *Neuroforum*. 2020;26(2):85-92. doi: [10.1515/nf-2020-0007](https://doi.org/10.1515/nf-2020-0007).
- Arcelus J, Bouman WP, Van Den Noortgate W, Claes L, Witcomb G, Fernandez-Aranda F. Systematic review and meta-analysis of prevalence studies in transsexualism. *Eur Psychiatry*. 2015;30(6):807-15. doi: [10.1016/j.eurpsy.2015.04.005](https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2015.04.005).
- Auer MK, Höhne N, Bazarra-Castro MÁ, Pfister H, Fuss J, Stalla GK, et al. Psychopathological profiles in transsexuals and the challenge of their special status among the sexes. *PLoS One*. 2013;8(10):e78469. doi: [10.1371/journal.pone.0078469](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078469).
- Hepp U, Kraemer B, Schnyder U, Miller N, Delsignore A. Psychiatric comorbidity in gender identity disorder. *J Psychosom Res*. 2005;58(3):259-61. doi: [10.1016/j.jpsychores.2004.08.010](https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2004.08.010).
- Heylens G, Elaut E, Kreukels BP, Paap MC, Cerwenka S, Richter-Appelt H, et al. Psychiatric characteristics in transsexual individuals: multicentre study in four European countries. *Br J Psychiatry*. 2014;204(2):151-6. doi: [10.1192/bjp.bp.112.121954](https://doi.org/10.1192/bjp.bp.112.121954).
- Bockting WO, Miner MH, Swinburne Romine RE, Hamilton A, Coleman E. Stigma, mental health, and resilience in an online sample of the US transgender population. *Am J Public Health*. 2013;103(5):943-51. doi: [10.2105/AJPH.2013.301241](https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301241).
- Hoshiai M, Matsumoto Y, Sato T, Ohnishi M, Okabe N, Kishimoto Y, et al. Psychiatric comorbidity among patients with gender identity disorder. *Psychiatry Clin Neurosci*. 2010;64(5):514-9. doi: [10.1111/j.1440-1819.2010.02118.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2010.02118.x).
- Cohen-Kettenis PT, Gooren LV. Transsexualism: a review of etiology, diagnosis and treatment. *J Psychosom Res*. 1999;46(4):315-33. doi: [10.1016/S0022-3999\(98\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(98)00085-3).
- Swaab DF. Sexual differentiation of the human brain: relevance for gender identity, transsexualism and sexual orientation. *Gynecol Endocrinol*. 2004;19(6):301-12. doi: [10.1080/09513590400018231](https://doi.org/10.1080/09513590400018231).
- Budde MD, Xie M, Cross AH, Song SK. Axial diffusivity is the primary correlate of axonal injury in the experimental autoimmune encephalomyelitis spinal cord: a quantitative pixel wise analysis. *J Neurosci*. 2009;29(9):2805-13. doi: [10.1523/JNEUROSCI.4605-08.2009](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4605-08.2009).
- Song SK, Sun SW, Ju WK, Lin SJ, Cross AH, Neufeld AH. Diffusion tensor imaging detects and differentiates axon and myelin degeneration in mouse optic nerve after retinal ischemia. *Neuroimage*. 2003;20(3):1714-22. doi: [10.1016/j.neuroimage.2003.07.005](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.005).
- Tournier JD, Mori S, Leemans A. Diffusion tensor imaging and beyond. *Magn Reson Med*. 2011;65(6):1532. doi: [10.1002/mrm.22924](https://doi.org/10.1002/mrm.22924).
- Rushton JP, Ankney CD. Whole brain size and general mental ability: a review. *Int J Neurosci*. 2009;119(5):692-732. doi: [10.1080/00207450802325843](https://doi.org/10.1080/00207450802325843).
- Lüders E, Steinmetz H, Jäncke L. Brain size and grey matter volume in the healthy human brain. *Neuroreport*. 2002;13(17):2371-4. doi: [10.1097/00001756-200212030-00040](https://doi.org/10.1097/00001756-200212030-00040).
- Ruigrok AN, Salimi-Khorshidi G, Lai MC, Baron-Cohen S, Lombardo MV, Tait RJ, et al. A meta-analysis of sex differences in human brain structure. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014;39:34-50. doi: [10.1016/j.neubiorev.2013.12.004](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.12.004).
- Inano S, Takao H, Hayashi N, Abe O, Ohtomo K. Effects of age and gender on white matter integrity. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2011;32(11):2103-9. doi: [10.3174/ajnr.A2785](https://doi.org/10.3174/ajnr.A2785).
- Chou KH, Cheng Y, Chen IY, Lin CP, Chu WC. Sex-linked white matter microstructure of the social and analytic brain. *Neuroimage*. 2011;54(1):725-33. doi: [10.1016/j.neuroimage.2010.07.010](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.07.010).
- Herting MM, Maxwell EC, Irvine C, Nagel BJ. The impact of sex, puberty, and hormones on white matter microstructure in adolescents. *Cereb Cortex*. 2012;22(9):1979-92. doi: [10.1093/cercor/bhr246](https://doi.org/10.1093/cercor/bhr246).
- Witte AV, Savli M, Holik A, Kasper S, Lanzenberger R. Regional sex differences in grey matter volume are associated with sex hormones in the young adult human brain. *Neuroimage*. 2010;49(2):1205-12. doi: [10.1016/j.neuroimage.2009.09.046](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.046).
- Kranz GS, Hahn A, Kaufmann U, Küblböck M, Hummer A, Ganger S, et al. White matter microstructure in transsexuals and controls investigated by diffusion tensor imaging. *J Neurosci*. 2014;34(46):15466-75. doi: [10.1523/JNEUROSCI.2488-14.2014](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2488-14.2014).
- Swaab DF, Garcia-Falgueras A. Sexual differentiation of the human brain in relation to gender identity and sexual orientation. *Funct Neurol*. 2009;24(1):17-28.
- Zhou JN, Hofman MA, Gooren LJ, Swaab DF. A sex difference in the human brain and its relation to transsexuality. *Nature*. 1995;378(6552):68-70. doi: [10.1038/378068a0](https://doi.org/10.1038/378068a0).

- 10.1038/378068a0.
24. Cosgrove KP, Mazure CM, Staley JK. Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function, and chemistry. *Biol Psychiatry*. 2007;62(8):847-55. Doi: [10.1016/j.biopsych.2007.03.001](https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.03.001).
 25. Garcia-Falgueras A, Swaab DF. A sex difference in the hypothalamic uncinate nucleus: relationship to gender identity. *Brain*. 2008;131(12):3132-46. doi: [10.1093/brain/awn276](https://doi.org/10.1093/brain/awn276).
 26. Kruijver FP, Zhou JN, Pool CW, Hofman MA, Gooren LJ, Swaab DF. Male-to-female transsexuals have female neuron numbers in a limbic nucleus. *J Clin Endocrinol Metab*. 2000;85(5):2034-41. doi: [10.1210/jcem.85.5.6564](https://doi.org/10.1210/jcem.85.5.6564).
 27. Rametti G, Carrillo B, Gómez-Gil E, Junque C, Segovia S, Gomez Á, et al. White matter microstructure in female to male transsexuals before cross-sex hormonal treatment. A diffusion tensor imaging study. *J Psychiatr Res*. 2011;45(2):199-204. doi: [10.1016/j.jpsychires.2010.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2010.05.006).
 28. Rametti G, Carrillo B, Gómez-Gil E, Junque C, Zubiarre-Elorza L, Segovia S, et al. The microstructure of white matter in male to female transsexuals before cross-sex hormonal treatment. A DTI study. *J Psychiatr Res*. 2011;45(7):949-54. doi: [10.1016/j.jpsychires.2010.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2010.11.007).
 29. Clemens B, Votinov M, Puiu AA, Schüppen A, Hüpen P, Neulen J, et al. Replication of previous findings? Comparing gray matter volumes in transgender individuals with gender incongruence and cisgender individuals. *J Clin Med*. 2021;10(7):1454. doi: [10.3390/jcm10071454](https://doi.org/10.3390/jcm10071454).
 30. Emory LE, Williams DH, Cole CM, Amparo EG, Meyer WJ. Anatomic variation of the corpus callosum in persons with gender dysphoria. *Arch Sex Behav*. 1991;20:409-17. doi: [10.1007/BF01542620](https://doi.org/10.1007/BF01542620).
 31. Bishop KM, Wahlsten D. Sex differences in the human corpus callosum: myth or reality? *Neurosci Biobehav Rev*. 1997;21(5):581-601. doi: [10.1016/S0149-7634\(96\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(96)00049-8).
 32. Ardekani BA, Figarsky K, Sidtis JJ. Sexual dimorphism in the human corpus callosum: an MRI study using the OASIS brain database. *Cereb Cortex*. 2013;23(10):2514-20. doi: [10.1093/cercor/bhs253](https://doi.org/10.1093/cercor/bhs253).
 33. Davatzikos C, Resnick SM. Sex differences in anatomic measures of interhemispheric connectivity: correlations with cognition in women but not men. *Cereb Cortex*. 1998;8(7):635-40. doi: [10.1093/cercor/8.7.635](https://doi.org/10.1093/cercor/8.7.635).
 34. Yokota Y, Kawamura Y, Kameya Y. Callosal shapes at the midsagittal plane: MRI differences of normal males, normal females, and GID. In 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference 2006 Jan 17 (pp. 3055-3058). IEEE. doi: [10.1109/IEMBS.2005.1617119](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1617119).
 35. Pol HE, Cohen-Kettenis PT, Van Haren NE, Peper JS, Brans RG, Cahn W, Schnack HG, Gooren LJ, Kahn RS. Changing your sex changes your brain: influences of testosterone and estrogen on adult human brain structure. *Eur J Endocrinol*. 2006;155(Supplement_1):S107-14. doi: [10.1530/eje.1.02248](https://doi.org/10.1530/eje.1.02248).
 36. Savic I, Arver S. Sex dimorphism of the brain in male-to-female transsexuals. *Cereb Cortex*. 2011;21(11):2525-33. doi: [10.1093/cercor/bhr032](https://doi.org/10.1093/cercor/bhr032).
 37. Kranz GS, Hahn A, Kaufmann U, Küblböck M, Hummer A, Ganger S, et al. White matter microstructure in transsexuals and controls investigated by diffusion tensor imaging. *J Neurosci*. 2014;34(46):15466-75. doi: [10.1523/JNEUROSCI.2488-14.2014](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2488-14.2014).
 38. Byne W, Lasco MS, Kemether E, Shinwari A, Edgar MA, Morgello S, et al. The interstitial nuclei of the human anterior hypothalamus: an investigation of sexual variation in volume and cell size, number and density. *Brain Res*. 2000;856(1-2):254-8. doi: [10.1016/S0006-8993\(99\)02458-0](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(99)02458-0).
 39. Swaab DF. Sexual differentiation of the brain and behavior. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2007;21(3):431-44. doi: [10.1016/j.beem.2007.04.003](https://doi.org/10.1016/j.beem.2007.04.003).
 40. Crestani CC, Alves FH, Gomes FV, Resstel L, Correa F, Herman JP. Mechanisms in the bed nucleus of the stria terminalis involved in control of autonomic and neuroendocrine functions: a review. *Curr Neuropharmacol*. 2013;11(2):141-59. doi: [10.2174/1570159X11311020002](https://doi.org/10.2174/1570159X11311020002).
 41. Allen LS, Gorski RA. Sex difference in the bed nucleus of the stria terminalis of the human brain. *J Comp Neurol*. 1990;302(4):697-706. doi: [10.1002/cne.903020402](https://doi.org/10.1002/cne.903020402).
 42. Luders E, Sánchez FJ, Gaser C, Toga AW, Narr KL, Hamilton LS, et al. Regional gray matter variation in male-to-female transsexualism. *Neuroimage*. 2009;46(4):904-7. doi: [10.1016/j.neuroimage.2009.03.048](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.03.048).
 43. Zubiaurre-Elorza L, Junque C, Gómez-Gil E, Guillamon A. Effects of cross-sex hormone treatment on cortical thickness in transsexual individuals. *J Sex Med*. 2014;11(5):1248-61. doi: [10.1111/jsm.12491](https://doi.org/10.1111/jsm.12491).
 44. Simon L, Kozák LR, Simon V, Czobor P, Unoka Z, Szabó Á, et al. Regional grey matter structure differences between transsexuals and healthy

- controls—a voxel based morphometry study. *PLoS One*. 2013;8(12):e83947. doi: [10.1371/journal.pone.0083947](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083947).
45. Luders E, Sánchez FJ, Tosun D, Shattuck DW, Gaser C, Vilain E, et al. Increased cortical thickness in male-to-female transsexualism. *J Behav Brain Sci*. 2012;2(3):357. doi: [10.4236/jbbs.2012.23040](https://doi.org/10.4236/jbbs.2012.23040).
 46. Sowell ER, Peterson BS, Kan E, Woods RP, Yoshii J, Bansal R, et al. Sex differences in cortical thickness mapped in 176 healthy individuals between 7 and 87 years of age. *Cereb Cortex*. 2007;17(7):1550-60. doi: [10.1093/cercor/bhl066](https://doi.org/10.1093/cercor/bhl066).
 47. Raznahan A, Lee Y, Stidd R, Long R, Greenstein D, Clasen L, et al. Longitudinally mapping the influence of sex and androgen signaling on the dynamics of human cortical maturation in adolescence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010;107(39):16988-93. doi: [10.1073/pnas.1006025107](https://doi.org/10.1073/pnas.1006025107).
 48. Manzouri A, Savic I. Possible neurobiological underpinnings of homosexuality and gender dysphoria. *Cereb Cortex*. 2019;29(5):2084-101. doi: [10.1093/cercor/bhy090](https://doi.org/10.1093/cercor/bhy090).
 49. Ponseti J, Siebner HR, Klöppel S, Wolff S, Granert O, Jansen O, et al. Homosexual women have less grey matter in perirhinal cortex than heterosexual women. *PLoS One*. 2007;2(8):e762. doi: [10.1371/journal.pone.0000762](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000762).
 50. Chung SC, Lee BY, Tack GR, Lee SY, Eom JS, Sohn JH. Effects of age, gender, and weight on the cerebellar volume of Korean people. *Brain Res*. 2005;1042(2):233-5. doi: [10.1016/j.brainres.2005.02.033](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.02.033).
 51. Raz N, Gunning-Dixon F, Head D, Williamson A, Acker JD. Age and sex differences in the cerebellum and the ventral pons: a prospective MR study of healthy adults. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2001;22(6):1161-7.
 52. Nopoulos P, Flaum M, O'Leary D, Andreasen NC. Sexual dimorphism in the human brain: evaluation of tissue volume, tissue composition and surface anatomy using magnetic resonance imaging. *Psychiatry Res*. 2000;98(1):1-13. doi: [10.1016/S0925-4927\(99\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0925-4927(99)00044-X).
 53. Szabó C, Lancaster JL, Xiong J, Cook C, Fox P. MR imaging volumetry of subcortical structures and cerebellar hemispheres in normal persons. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2003;24(4):644-7.
 54. Hutchinson S, Lee LH, Gaab N, Schlaug G. Cerebellar volume of musicians. *Cereb Cortex*. 2003;13(9):943-9. doi: [10.1093/cercor/13.9.943](https://doi.org/10.1093/cercor/13.9.943).
 55. Mueller SC, Guillamon A, Zubiurre-Elorza L, Junque C, Gomez-Gil E, Uribe C, et al. The neuroanatomy of transgender identity: Mega-analytic findings from the ENIGMA transgender persons working group. *J Sex Med*. 2021;18(6):1122-9. doi: [10.1016/j.jsxm.2021.03.079](https://doi.org/10.1016/j.jsxm.2021.03.079).
 56. Fukao T, Ohi K, Shioiri T. Gray matter volume differences between transgender men and cisgender women: A voxel-based morphometry study. *Aust N Z J Psychiatry*. 2022;56(5):535-41. doi: [10.1177/0004867421998801](https://doi.org/10.1177/0004867421998801).
 57. Kurth F, Gaser C, Sánchez FJ, Luders E. Brain sex in transgender women is shifted towards gender identity. *J Clin Med*. 2022;11(6):1582. doi: [10.3390/jcm11061582](https://doi.org/10.3390/jcm11061582).
 58. Flint C, Förster K, Koser SA, Konrad C, Zwitterlood P, Berger K, et al. Biological sex classification with structural MRI data shows increased misclassification in transgender women. *Neuropsychopharmacology*. 2020;45(10):1758-65. doi: [10.1038/s41386-020-0666-3](https://doi.org/10.1038/s41386-020-0666-3).
 59. Manzouri A, Kosidou K, Savic I. Anatomical and Functional Findings in Female-to-Male Transsexuals: Testing a New Hypothesis. *Cereb Cortex*. 2017;27(2):998-1010. doi: [10.1093/cercor/bhv278](https://doi.org/10.1093/cercor/bhv278).
 60. Khorashad BS, Manzouri A, Feusner JD, Savic I. Cross-sex hormone treatment and own-body perception: behavioral and brain connectivity profiles. *Sci Rep*. 2021;11(1):2799. doi: [10.1038/s41598-020-80687-2](https://doi.org/10.1038/s41598-020-80687-2).
 61. Levin RN, Erickson-Schroth L, Mak K, Edmiston EK. Biological studies of transgender identity: A critical review. *J Gay Lesbian Ment Health*. 2022;27(3):254-83. doi: [10.1080/19359705.2022.2127042](https://doi.org/10.1080/19359705.2022.2127042).
 62. Ohadi B, Mohammadi M, Rahimian E, Raisi F, Saberi M, Arbabi M, et al. Brain Imaging Characteristics in Transsexual and Normal Individuals. *Adv Cogn Sci*. 2007;9(3):20-25.
 63. Starcevic A, Dakovic M, Radojicic Z, Filipovic B. A structural magnetic resonance imaging study in therapy-naïve transsexual individuals. *Folia Morphol (Warsz)*. 2021;80(2):442-7. doi: [10.5603/FM.a2020.0073](https://doi.org/10.5603/FM.a2020.0073).