

***** Sperrfrist: Freitag, 14. Februar 2020, 20 Uhr MEZ *****

Originalveröffentlichung:

Simon Neubauer, Philipp Gunz, Nadia A. Scott, Jean-Jacques Hublin, Philipp Mitteroecker
Evolution of brain lateralization: a shared hominid pattern of endocranial asymmetry is much more variable in humans than in great apes

Science Advances 6, eaax9935 (2020).

Fragen und Antworten

Warum ist die menschliche Gehirnasymmetrie interessant?

Sprache, Händigkeit und andere typisch menschliche kognitive und Verhaltensfähigkeiten werden überwiegend in einer der beiden Gehirnhälften verarbeitet. Die funktionelle Lateralisierung hängt mit der morphologischen Gehirnasymmetrie zusammen – kleinen Unterschieden zwischen der linken und der rechten Gehirnhälfte. Die Gehirnasymmetrie beim Menschen, bei unseren nächsten lebenden und ausgestorbenen Verwandten ist daher interessant und aufschlussreich über die Evolution der menschlichen kognitiven Fähigkeiten.

Welche Ideen zur Evolution der Lateralisierung des menschlichen Gehirns gibt es?

In einer Vielzahl von Arbeiten mit verschiedenen Methoden aus verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen wurden die Lateralisierung und Asymmetrie des Gehirns sowie damit zusammenhängende Verhaltensmerkmale wie Sprache und Händigkeit untersucht. Basierend auf fossilen Endocasts unserer Vorfahren wurde vermutet, dass die Entstehung eines modernen, menschenähnlichen Gehirnasymmetriemusters mit dem Auftreten früher Steinwerkzeuge in archäologischen Belegen zusammenfällt. Mehrere Hypothesen haben daher die funktionelle Gehirnlateralisation (Hemisphärenspezialisierung) mit der morphologischen Gehirnasymmetrie, Werkzeuggebrauch, Rechtshändigkeit, gestischer und schließlich gesprochener Sprache in Verbindung gebracht. Basierend auf Magnetresonanz-Gehirnscans wurde vorgeschlagen, dass die nicht gerichtete, zufällige Asymmetrie beim Menschen im Vergleich zu Schimpansen erhöht ist und dies ein Zeichen für eine erhöhte Plastizität des Gehirns beim Menschen ist.

Was ist ein Endocast und in welcher Beziehung steht er zum Gehirn?

Ein Endocast ist ein Abdruck, den das Gehirn auf der inneren Oberfläche des knöchernen Gehirnschädels (dem Endocranium) hinterlässt. In Anbetracht der engen Wechselwirkungen zwischen den Schädelknochen und dem Gehirn während des Wachstums ähnelt er der Größe und der äußeren Form des Gehirns. Manchmal repliziert er Hirnwindungen und Blutgefäße, die Abdrücke in den endokraniellen Knochen hinterlassen haben. Er sagt jedoch

nichts über interne Gehirnstrukturen wie neuronale Verbindungen zwischen Gehirnregionen aus. Da das Gehirn selbst nicht versteinert, werden Endocasts typischerweise verwendet, um die Gehirnevolution bei ausgestorbenen Arten zu untersuchen, beispielsweise bei Neandertalern.

Wie entsteht ein Endocast, wie wird er hergestellt?

Manchmal entsteht ein natürlicher Endocast während der Fossilisierung, wenn der knöcherne Gehirnschädel mit Sedimenten gefüllt wird, nachdem das Gehirn selbst bereits zerfallen ist. Endocasts können aber auch künstlich erzeugt werden. Dazu gibt es eine traditionelle Methode, bei der Abgussmaterial auf die Innenseite der knöchernen Schädelhöhle aufgebracht wird, um einen negativen Abdruck der endokranialen Oberfläche zu erhalten, der ein positiver Abdruck der äußeren Gehirnoberfläche einschließlich ihrer umgebenden Gewebe wie die Gehirnhäute ist. Heutzutage wird dies normalerweise im Computer mit einer digitalen Kopie des Schädels durchgeführt, die auf Computertomographiescans (CT) basiert. Dadurch werden die Schädel während des Abgießens nicht beschädigt und die Ergebnisse können in Relation zu den Schädelknochen visualisiert werden.

Warum untersuchen wir vergleichende Hirnasymmetrie mit Hilfe von Endocasts?

Um mehr über die Einzigartigkeit der menschlichen Gehirnasymmetrie zu erfahren, können wir das Gehirn unserer nächsten lebenden Verwandten, der Menschenaffen, untersuchen. Hirndaten von Schimpansen und insbesondere von Gorillas und Orang-Utans sind jedoch selten. Frühere Studien waren daher auf den Vergleich von Menschen und Schimpansen beschränkt. Andererseits sind Schädel von Schimpansen, Gorillas und Orang-Utans in Museumssammlungen verfügbar und können zur Herstellung von Endocasts verwendet werden. Während Endocasts nur manche Informationen zur Hirnmorphologie liefern (siehe oben), ermöglicht die Verwendung von Endocasts breitere Vergleiche mit mehr als nur einer Menschenaffenart. Dies ist wichtig, um herauszufinden, ob bestimmte Asymmetrie-Merkmale tatsächlich spezifisch für den Menschen sind und nicht etwa typisch für Schimpansen.

Welche Aspekte der Gehirnasymmetrie kann man auf Endocasts sehen?

Die sogenannte Yakovlev'sche Verdrehung des menschlichen Gehirns ist an Endocasts beobachtbar und gut beschrieben. Dieses Asymmetriemuster umfasst eine stärker nach hinten ragende linke Gehirnhälfte in Kombination mit einer stärker nach vorn ragenden rechten Hemisphäre. Dies hängt mit einer Asymmetrie der Lateralfurche und der Zentralfurche zusammen, die auf Endocasts nur beobachtet werden kann, wenn die relevanten Gehirnwindungen Abdrücke in den endokranialen Knochen hinterlassen. Während dieses Muster beim Menschen weit verbreitet ist, zeigen einige Individuen es nicht oder das gegenteilige Muster. Interessanterweise korreliert diese Richtungsasymmetrie mit

Rechtshändigkeit. Darüber hinaus ist die „Broca-Kappe“ auf Endocasts (entsprechend des Broca Areal) morphologisch asymmetrisch. Die Asymmetrie dieses Areals, das für die Sprachproduktion wichtig ist, entspricht der funktionalen Lateralisierung von Sprache. Endocasts von Menschenaffen wurden ebenfalls als asymmetrisch beschrieben, aber frühere Studien ergaben kein klar gerichtetes, bevölkerungswieites Muster wie beim Menschen.

Was ist direktionale und fluktuierende Asymmetrie?

Die Kombination aus linkem vorspringenden Hinterhauptslappen und rechtem vorspringenden Stirnlappen (siehe oben) ist bei den meisten Menschen gleich. Es wird angenommen, dass ein solches in einer Population verbreitetes „direktionales“ (gerichtetes) Asymmetriemuster unter starker genetischer Kontrolle steht und wahrscheinlich mit bestimmten Gehirnfunktionen zusammenhängt. Die linke und rechte Hemisphäre können in jedem Individuum weiter variieren, und somit das populationsweite vorherrschende Muster in unterschiedlichem Maße und in unterschiedlichen Richtungen verändern und dadurch eventuell die direktionale Asymmetrie der Population verschleiern. Es wird angenommen, dass diese „fluktuierende“ Asymmetrie auf individuelle Entwicklungsschwankungen (Entwicklungsinstabilität) zurückzuführen ist und auch als Zeichen für Entwicklungsplastizität interpretiert werden kann.

Wie funktioniert die Quantifizierung von Asymmetrie methodisch?

Wir verwendeten Geometric Morphometrics basierend auf dreidimensionalen Koordinaten homologer Messpunkte, die als Landmarks bezeichnet werden, statt auf traditionellere Messungen wie Distanzen und Volumenmessungen zurückzugreifen. Auf diese Weise können wir nicht nur Größenunterschiede zwischen der linken und der rechten Seite quantifizieren und vergleichen, sondern auch, welche Teile der linken Seite anders geformt sind als die der rechten Seite und welche lokalen Asymmetrien mit anderen lokalen Asymmetrien korrelieren. Darüber hinaus verwendeten wir multivariate Statistik, um direktionale und fluktuierende Asymmetriemuster zu untersuchen, das heißt, das häufigste Asymmetriemuster in jeder Spezies sowie die Variation um diese Muster.

Was fanden wir in dieser Studie heraus?

Erstens sind Menschen nicht asymmetrischer als Menschenaffen, wie wir aufgrund früherer Studien an Menschen und Schimpansen erwarten hatten. Stattdessen sind Schimpansen im Durchschnitt weniger asymmetrisch als Menschen, Gorillas und Orang-Utans. Zweitens ist der Anteil der direktionalen Asymmetrie beim Menschen geringer als bei Menschenaffen. Drittens ist das Muster der Richtungsasymmetrie bei Menschen, Schimpansen, Gorillas und Orang-Utans sehr ähnlich, was der Vorstellung widerspricht, dass die Kombination aus linkem vorspringenden Hinterhauptslappen und rechtem vorspringenden Stirnlappen nur bei Menschen vorkommt. Zusätzlich ragen auch die Pole des Schläfenlappens und die Kleinhirnhälften auf der linken und rechten Seite unterschiedlich vor. Viertens ist dieses

gemeinsame Muster beim Menschen weniger ausgeprägt und verschiedene lokale Asymmetrien korrelieren weniger miteinander als bei Menschenaffen. Mit anderen Worten, menschliche Individuen sind um das gemeinsame direktionale Muster viel variabler als Menschenaffen.

Was bedeuten unsere Erkenntnisse für die Überlegungen zur Evolution der Lateralisierung des menschlichen Gehirns?

Da wir bei Menschen, Schimpansen, Gorillas und Orang-Utans ein gemeinsames Asymmetriemuster gefunden haben, kann die morphologische Asymmetrie, die bisher als typisch für das menschliche Gehirn interpretiert wurde, nicht mehr direkt mit einer menschenpezifischen hemisphärischen Spezialisierung wie Händigkeit oder Sprache in Verbindung gebracht werden. Es entstand nicht nur beim Menschen, sondern weit früher. Stattdessen deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass diese ursprüngliche morphologische Gehirnasymmetrie beim Menschen dazu genutzt wurde, um kognitive Fähigkeiten zu lateralieren, die heute mit typisch menschlichen Verhaltensweisen zusammenhängen. Dies legt nahe, dass dieses Asymmetriemuster in Endocasts fossiler Hominine (das heißt unserer ausgestorbenen Vorfahren) ohne zusätzliche archäologische Beweise nicht als Zeichen für die Evolution einer menschenähnlichen funktionalen Lateralisierung wie Rechtshändigkeit und Sprachfähigkeit verwendet werden sollte. Das Ausmaß der nicht gerichteten (fluktuierenden) Asymmetrie lässt darauf schließen, dass Menschen und Menschenaffen ein vergleichbares Maß an Entwicklungsinstabilität oder Entwicklungsplastizität aufweisen. Andererseits ist das Asymmetriemuster beim Menschen sehr viel variabler und zeigt eine geringere Korrelation zwischen verschiedenen lokalen Asymmetrien. Dies spiegelt wahrscheinlich eine zunehmende funktionelle und entwicklungsbedingte Modularisierung des menschlichen Gehirns wider, die möglicherweise adaptiv ist.