Aus dem Zentrum für Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie der Universität Greifswald, Arbeitsgruppe für Funktionelle Bildgebung

(Direktor Prof. Dr. Norbert Hosten)

der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Thema: **Funktionelle Repräsentation des Portraitzeichnens bei ungeübten Zeichnern**

Leitung: Prof. Dr. Martin Lotze

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Medizin
(Dr. med.)
der
Universitätsmedizin
der
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2013

vorgelegt von:
Katharina Schär
geb. am: 18.11.1983
in: Potsdam

In Zusammenarbeit mit:	Prof. Dr. Kessler, Neurologische Klinik der Universität Greifswald
	Prof. Soltau, Casper-David Friedrich Institut der Universität Greifswald
	Prof. Puritz, Casper-David Friedrich Institut der Universität Greifswald

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar

1. Gutachter: Prof. Dr. M. Lotze

2. Gutachter: Prof. Dr. J. Unterrainer

Ort, Raum: Hörsaal der Anatomie, Institut für Anatomie und Zellbiologie, Friedrich-Loeffler-Str. 23c, 17487 Greifswald

Tag der Disputation: 28.10.2013

Abkürzungsverzeichnis

BA	Broadmann Areal
BOLD	blood oxygenation level dependent
cSFS	caudaler Sulcus frontalis superior
dPCM	dorsaler prämotorischer Kortex
FEF	frontales eye field/frontales Augenfeld
FFA	fusiforme face area/fusiforme Gesichtsregion
fMRT	funktionelle Magnetresonaztomographie
IPS	Sulcus intraparietalis
M 1	primäres motorisches Rindenfeld
MT	medialer Temporallappen
OFA	ocipital face area/okzipitale Gesichtsregion
PMC	prämotorischer Kortex
PPL	posteriorer Parietallappen
pSTS	posteriorer Sulcus temporalis superior
SMA	supplementär motorisches Areal
VAS	visuelle Analogskala
vPCM	ventraler prämotorischer Kortex

1.Einleitung 6
1.1. Paradigma und Hypothesen 10
2.1. Probanden 12
2.2. Versuchsdesign 13
3. Ergebnisse 16
3.1. Genau Zeichnen 16
3.2. Schnell Zeichnen 17
3.3. Genau bzw. schnell Zeichnen minus Durchpausen 17
3.4. Genau bzw. schnell Zeichnen minus Ansehen 17
3.5. Genau minus schnell Zeichnen 18
3.6. Schnell minus genau Zeichnen 18
3.7. Auswertung Fragebogen, Bewertung, Untersuchung 18
4. Diskussion 19
5. Schlussfolgerung und Ausblick 25
6. Zusammenfassung 27
7. Literatur 28
8. Anhang 32
8.1. Fragebogen 32
8.2. Neutrale Bilder vom Karolinka Institut (Lundqvist, 1998) 36
8.3. Tabellen 37
8.4. Abbildungen 40
Danksagung 46

1.Einleitung

Exaktes bzw. naturalistisches Zeichnen ist ein komplexer Vorgang, bestehend aus selektiver und geschulter Wahrnehmung des zu zeichnenden Objektes, bei der Charakteristika differenziert erkannt werden und ein ständiger Abgleich mit dem gezeichneten Werk erfolgen muss. Weiterhin wird eine Kontrolle der hoch überlernten Präzisionsmotorik kontinuierlich vorgenommen. Noch ausgeprägter ist dies der Fall bei einer rasch gefertigten Skizze. Das beobachtete Charakteristikum eines Gesichtes soll hierbei mit wenigen Strichen dargestellt werden. Dieser Zeichenprozess ist auch für einen Zuschauer als intensive Auseinandersetzung mit dem Objekt erlebbar und es stellt sich die Frage welche neuronalen Prozesse bei dieser hochselektiven visuomotorischen Verarbeitung besonders intensiv involviert sind.

Trotz der Faszination, die der Prozess des geübten Zeichnens auslöst, gibt es bisher keine Gruppenstudien zur funktionellen Repräsentation des Zeichnens.

Vergleicht man Studien in denen mit Schimpansen gearbeitet wurde erkennt man, dass naturalistisches Zeichnen eine dem Menschen vorbehaltene Fähigkeit ist [1]. Affen sind höchstens in der Lage einfache Formen einer strukturierten Zeichnung zu entwickeln, wenn sie von einem visuellen Modell geführt werden [2]. Noch spezialisierter ist die menschliche Fähigkeit Skizzen zu zeichnen, die bestimmte Merkmale eines Gesichtes hervorheben.

Beim Zeichnen nach dem Leben wird die dreidimensionale Szene der Außenwelt in eine Abfolge von Bewegungen der Hand umgewandelt, die auf dem Papier ein zweidimensionales Bild erzeugen. Bei der Wiedergabe eines Porträtbildes als Strichzeichnung anhand von Fotos eines Gesichtes erfolgt die Umsetzung nicht von dreidimensional, sondern von einem Bild das durch Helligkeitsunterschiede eine grafische Repräsentation kodiert.

Das Zeichnen eines Portraits ist weiterhin eine sehr enge Interaktion vom visuellen Sinneseindruck und der motorischen Ausführung. In Bezug auf die hieran beteiligten neuronalen Prozesse ist das Zeichnen nach einer Vorlage eine komplexe visuomotorische Aufgabe. Dabei müssen die Bewegungen von Hand und Arm so abgestimmt sein, dass spezielle räumliche Zusammenhänge und bestimmte Elemente korrekt übertragen werden. Dafür bedarf es motorischer Routinen, die in einer engen sensomotorischen Interaktion angewendet werden [3,4]. Diese Interaktion ist insbesondere auf visuelles, aber auch auf somatosensorisches Feedback zentriert. Visuelles Feedback umfasst die im Entstehen begriffene Zeichnung sowie den Ort und die Bewegungen der Hand und des Zeichenstiftes.

Im Vergleich zum Nachzeichnen der Konturen eines Bildes werden beim freien Zeichnen spezielle Fähigkeiten des räumlichen Erkennens benötigt. Dieser Unterschied zeigt sich deutlich anhand von Studien zur Apraxie. Das freie Nachzeichnen einer Figur setzt die Fähigkeit vorraus, visuell wahrgenommene Elemente in der richtigen räumlichen Beziehungen zueinander wiederzugeben. Diese Fähigkeit wird beim lediglichen Nachziehen der Konturen nicht benötigt. Hierfür ist nur eine zielzentrierte Bewegung notwendig [5].

Wie auch in unserer Studie wurden schon in vorrausgehenden Arbeiten die Unterschiede zwischen Zeichnen und Linien nachziehen untersucht [5-7]. Der Unterschied zu unserer Studie besteht darin, dass wir die Aufgabenstellung beim Zeichnen durch das Abzeichnen von Gesichtern schwieriger gestaltet haben. Weiterhin konnten die Teilnehmer in unserer Studie ihre Handbewegungen und die entstehenden Zeichnungen, die mit einem Bleistift auf ein Papier gebracht wurden, visuell kontrollieren.

Bekannt ist, dass das freie Zeichnen nach einem Original sich von dem Zeichnen aus dem Gedächtnis unterscheidet [3]. Liegt eine Vorlage, also das Original von dem eine Kopie durch freies Zeichnen entstehen soll vor, so

ermöglicht bzw. erfordert es einen ständigen Abgleich. Die Augen sehen dabei abwechselnd auf das Original und die Zeichnung um die Anforderung an den Arbeitsspeicher zu minimieren [4]. In einigen fMRT-Studien zum Zeichnen wurde der Versuchsaufbau so gestaltet, dass die Zeichenhand und somit auch die entstehende Zeichnung für die Probanden verdeckt war. Hier entstanden Zeichnungen ohne die typischen alternierenden Blickmuster, ohne visuelles Feedback und ohne die visuelle Kontrolle der Handbewegungen. Andere Studien ließen die Teilnehmer mit dem Finger in der Luft zeichnen [8], oder ließen sie blind zeichnen [3]. Wieder andere Studien untersuchten lediglich die gedankliche Vorstellung eine Zeichnung anzufertigen [9]. Auch das Zeichnen mit Hilfe eines Cursor wurde bereits durchgeführt [6,7].

In der Studie von Gowen und Miall [3] wurde, ebenso wie in der vorliegenden Studie, das Zeichnen mit einem Bleistift und der visuelle Abgleich über einen Doppelspiegel ermöglicht. Die Zeichenhand ist dadurch sichtbar, wenn gleich auch die Augen-Hand-Koordination angepasst werden muss, wie zum Beispiel beim Zeichnen mit der PC-Maus auf dem Computerbildschirm. In der Arbeit von Gowen und Miall [10] sollten die Teilnehmer einfache ihnen bekannte Gegenstände aus dem Gedächtnis zeichnen. In unserer Studie hingegen sollten Gesichter nach einer Vorlage wiedergegeben werden. In einem solchen Versuchsaufbau kommt es zu den typischen alternierenden Blickbewegungen zwischen dem Original und der Zeichnung [4].

Das Nachzeichnen eines Portraits erfordert zunächst eine Gesichtserkennung. Die Gehirnareale, die damit assoziiert sind, sind die okzipitale Gesichtsregion (OFA) [12], der posteriore Sulcus temporalis superior (pSTS) [13] und die fusiforme Gesichtsregion (FFA) [14] in beiden Hemisphären, allerding mit einer Lateralisation zur rechten Seite [15]. Der pSTS ist vor allem wichtig für die Bewertung sozial relevanter Aspekte eines

Gesichtes wie zum Beispiel des Gesichtsausdruckes [16]. Affen die in diesem Gebiet eine Läsion aufweisen, leiden unter fehlender Erkennung eines Gesichtsausdruckes, sind aber generell in der Lage ein Gesicht als einer Person zugehörig zu erkennen [17]. Daraus lässt sich ableiten, dass beim Zeichnen eines neutralen Gesichtes dieses Gebiet nicht von hoher Relevanz sein dürfte. Wir erwarteten daher vor allem die Beteiligung des FFA und des OFA, welche auch in Studien beim Zeichnen von Cartoon-Gesichtern gefunden wurden [3].

In Bezug auf die alternierende Blickbewegung dient diese beim Zeichnen eines Gesichtes vor allem zweierlei Zweck. Einmal werden dadurch visuelle Elemente und räumliche Beziehungen des Originals entschlüsselt. Weiterhin dient es zur Kontrolle der Handlung und Überwachung der Bewegungsausführung. Blickverlaufsanalysen, die Augenbewegungen beim Zeichnen verfolgt haben, haben ein an den Kanten der Bildkonturen entlang verfolgendes Blickmuster gezeigt [18]. Durch die Untersuchungen von Augen- und Handbewegungen bei Anfängern eines Kunststudiums zeigte sich, dass beim Zeichnen einer Karikatur die Augen rhythmisch zwischen dem Stift und dem grade entsprechend zeichnendem Segment des Originals wechseln [3,4]. Gehirnareale die in die Kontrolle der Augenbewegung involviert sind überlappen sich mit denen, die visuelle Aufmerksamkeit kontrollieren. Insbesondere die frontalen Augenfelder (FEF) und der caudale Sulcus frontalis superior (cSFS) [19] unterstützen die visuomotorische Kontrolle und die selektive Aufmerksamkeit.

Das Sehen für die visuell-motorische Kontrolle hängt von der dorsalen Sehbahn und dem medialen Parietalkortex ab [20]. Visuell geführtes egozentrisches Greifen betrifft vorwiegend den medialen Sulcus intraparietalis (IPS) [21]. Außerdem scheint der Präkuneus das Planen von visuell gesteuerten und zielgerichteten Bewegungen zu unterstützen [22-24]. Bewegungen die nicht direkt auf ein visuelles Ziel gerichtet sind, sondern

sich einem visuellen Ziel relativ zuwenden (allozentrisch), was beim Zeichnen der Fall ist, involvieren den linken Sulcus intraparietalis (Fundus und posterioren Teil), den rechten hinteren Parietallappen (PPL) und den dorsalen prämotorischen Kortex (dPCM) [5].
Zusätzlich zum visuell geführten Greifen erfordert das Zeichnen die gewandte Handhabung des Zeichenwerkzeuges durch die Anwendung von motorischen Engrammen. Motorische Engramme sind Repräsentationen komplexer motorischer Muster, die durch Ausführung, Vorstellungsvermögen und Beobachtung von Bewegungen aktiviert werden können und spezifisch für die trainierten Muster sind. Bei den Menschen befindet sich diese Bewegungsmusterrepräsentation überwiegend im prämotorischen Kortex (PMC) und dem Gyrus frontalis inferior (Pars opercularis(BA44) und Pars triangularis (BA 45)) [25].
Die Ausführung von motorischen Mustern wird durch visuelles, jedoch auch durch sensomotorisches Feedback geführt. Ein präzises Feedback der motorischen Leistungsfähigkeit ist beim Zeichnen von besonderer Bedeutung. Das Zeichnen nur mit den Fingern und ohne einen Zeichenstift betrifft die bilaterale primäre somatosensorische Aktivierung, jedoch auch die Aktivierung im oberen Parietallappen (BA 5, 7), im Gyrus supramarginalis (BA 40, welche mit der S2-Aktivierung überlappen kann) und in der vorderen zerebralen Gehirnhemisphäre [8]. Alle genannten Regionen verarbeiten somatosensorische Feedbacksteuerung.

1.1. Paradigma und Hypothesen

Um für den Vorgang des Zeichnens charakteristische Repräsentationsstellen zu unterscheiden, untersuchten wir 20 Probanden während sie eine fotographische Abbildung eines Gesichts mit neutraler Mimik sowohl naturalistisch als auch skizzenhaft zeichnen sollten und ermittelten die

neuronale Beteiligung mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT). Alle Teilnehmer hatten im Vorfeld keine spezifische Zeichenausbildung genossen.

Anhand der beiden Abzeichnungsaufgaben sollten Unterschiede in den neuronalen Korrelaten dieser beiden Arten des Zeichnens, zwischen denen im Zeichenunterricht unterschieden wird, dargestellt werden. Das skizzenhafte Zeichnen erfordert im Gegensatz zum naturalistischen Zeichnen eine allgemeinere visuelle Analyse und eine größere Geschwindigkeit der Bewegung.

Den beiden Abzeichnungsaufgaben wurde eine Nachzeichnungsaufgabe und eine passive Betrachtung gegenübergestellt.

Bei der Gegenüberstellung von Zeichnen und Betrachten des Gesichtes erwarteten wir Aktivierung, die die reflektorische, motorische, visuomotorische und sensomotorischer Steuerung repräsentieren. Unterschiede in den Sehzentren und den Regionen die in Verbindung mit dem Blickwechsel und der Aufmerksamkeitsverschiebung stehen, sollten ebenfalls zu beobachten sein, da die sich entwickelnde Zeichnung zu einer zusätzlichen visuellen Stimulation führt und das Blickwechselmuster nur unter den Zeichnungsbedingungen auftritt.

Durch die Gegenüberstellung von Neuzeichnen und Nachzeichnen von Gesichtskonturen erwarteten wir eine Aktivierung, die die charakteristische visuomotorische Steuerung für den Abgleich des Gezeichneten mit dem Original widerspiegelt. Das Nachzeichnen von Konturen mit einem Zeichenstift sollte hingegen vor allem visuell geführte Motorik und die Verarbeitung von sensomotorischem Feedback erfordern. Hingegen sollte nur das Neuzeichnen Gebiete rekrutieren, welche für motorische Planung stehen, um die allozentrische Kodierung von visuellen Merkmalen umzusetzen. Weiterhin vermuteten wir, dass das Neuzeichnen, nicht jedoch

das Nachzeichnen, eine zusätzliche visuelle Stimulation durch die sich entwickelnde Zeichnung und das Wechselblickmuster erzeugt.

2. Material und Methoden

2.1. Probanden

An unserer Studie haben 20 Probanden teilgenommen, die wir per Aushänge für unsere Studie geworben haben. Die Bedingung für die Teilnehmer lautete, dass sie keine über die Schulausbildung hinausgehende Zeichenerfahrung aufweisen sollten. Um die Zeichenerfahrung im Detail zu erfassen, haben alle Teilnehmer im Anschluss der Messung einen Fragebogen ausgefüllt (8.1. Anhang). Dieser zeigte, dass die Teilnehmer zwar den Kunstunterricht in der Schule besucht hatten (M=9.55, SD=4.17), aber keiner eine weitere Ausbildung im Zeichnen erhalten hatte.
Alle 20 Teilnehmer (Alter von 19 bis 31 Jahre, Durchschnittsalter 22.45 Jahre, SD=3.07) waren weiblich und Rechtshänder (nur ein paar wenige typische Tätigkeiten mit den Händen wurden auch von einigen mit links ausgeführt, M=95.83, SD=10.65) getestet mit dem Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Über die Untersuchung wurden alle Probanden aufgeklärt und es wurde eine Einverständniserklärung unterschrieben. Es war bei keinem der Teilnehmer zu dem Zeitpunkt eine neurologische oder psychiatrische Vorerkrankung bekannt, noch wurden Medikamente eingenommen. Alle Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung von 10 Euro pro Stunde.
Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Greifswald genehmigt.

2.2. Versuchsdesign

Die Untersuchungen wurden im Blockdesign durchgeführt und in ihrer Reihenfolge randomisiert.
Der Zeitraum der Scanner-Liegezeit pro Proband betrug 15 Minuten. Die Teilnehmer bekamen vor der Messung einen Ablaufplan, auf dem geschildert wurde wie die Aufgaben zu absolvieren sind.
Im Scanner sollten die Probanden so ruhig wie möglich liegen. Zur entspannten Lage wurde eine Knierolle untergelegt. Außerdem bekamen sie einen Hörschutz und der Kopf wurde zur Minimierung von Bewegungsartefakten seitlich abgepolstert. Unter den Ellenbogen wurden zur Stabilisierung und bequemeren Haltung Sandsäckchen gelegt. Der Zeichenarm wurde etwas höher gelagert, so dass der Abstand zum Schreibpult nicht für Verwacklungen sorgte. Das Schreibpult ist schon in anderen Studien verwendet worden und wurde vor den Probanden auf der Liegefläche befestigt. Um die schräge Schreibfläche gut einsehen zu können wurde ein Doppelspiegel auf der Kopfspule in ca 10 cm Entfernung befestigt. Zum Zeichnen erhielten die Probanden einen mittelweichen Bleistift.
Die Aufgaben, die zu erfüllen waren lauteten:

- exaktes/naturalistisches Zeichnen
- schnelles/skizzenhaftes Zeichnen
- Linien nachziehen/durchpausen
- Ansehen

Im vorher dargelegten Ablaufplan wurden diese Aufgaben im Detail erklärt. Das genaue/naturalistische Zeichnen sollte das Portrait möglichst exakt wiedergeben, wogegen das schnelle/skizzenhafte Zeichnen die charakteristischen Züge hervorheben sollte. Bei der Bedingung Linien nachziehen/durchpausen sollten die Umrisse des Portraits durch ein aufgeklebtes Pauspapier nachgezogen werden. Bei der Bedingung Ansehen sollten die Probanden das Portrait lediglich betrachten.

Die ausgewählten Portraits sind emotional neutrale Bilder vom Karolinska Institut (Lundqvist, 1998) (8.2. Anhang). Jedes Gesicht wurde auf einer 13 x 10 cm großen Farbkopie auf der linken Seite eines quer liegenden DIN A4 Blattes dargeboten. Auf der rechten Blattseite wurde der Platz für die Zeichnung zur Verfügung gestellt.

Die verschiedenen Bedingungen wurden den einzelnen Probanden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Die entsprechende Aufgabe war als Überschrift auf dem Papier ersichtlich. Die Hauptaufgaben wurden zweimal ausgeführt, während die Kontrollaufgaben nur einmal absolviert werden mussten. Für die Ausführung der Aufgaben blieben den Probanden 1,5 Minuten. Vorausgehende Studien haben diese Zeitdauer als am besten geeignet eruiert. In Kooperation mit den Kunstprofessoren und Kunststudenten haben wir für die Aufgabe genaues/naturalistisches Zeichnen eine Zeitdauer von 3 Minuten gewählt, um die Möglichkeit der besseren Umsetzung zu gewährleisten. Anschließend wurde die Zeit in der statistischen Auswertung angepasst und nur die mittleren 1,5 Minuten verwendet.

Zwischen den einzelnen Aufgaben bauten wir eine Pause von 30 Sekunden ein, in der die Teilnehmer ruhig liegen sollten ohne zu zeichnen. Die verschiedenen Phasen wurden über einen Videobeamer angezeigt. In der Aktivitätsphase wurde ein blaues Licht ausgestrahlt, in den Pausenphasen ein grünes. Ein neben den Probanden stehender Untersuchungsleiter (Katharina Schär) änderte nach der abgelaufenen Zeit die Blätter und kontrolliert die korrekte Ausführung der entsprechenden Aufgabe.

Nach Abschluss der Messung wurden die Probanden noch gebeten am Test zum schöpferischen Denken teilzunehmen (TSD-Z Urban, Jellen, 1995). Dieser dient als eine Art Screening-Instrument, welches eine erste grobe und einfache Einschätzung des kreativen Potenzials einer Person ermöglicht. Alle Teilnehmer erhielten zwei Blätter, auf denen einige spezielle figurale

Elemente angeboten waren. Diese sind minimal gehalten und unregelmäßig angeordnet, zum Teil außerhalb des Rahmens und sollen zum Weiterzeichnen anregen. Die Teilnehmer erhalten nur die Anweisung die Zeichnung zu beenden. Das fertige Produkt wurde mittels 14 Evaluationskriterien bewertet. So gab es Punkte für Weiterführung der 6 figuralen Elemente, für neue Elemente und für Verbindungen, die sowohl zeichnerisch als auch inhaltlich hergestellt wurden. Weiterhin wurden auch Risikobereitschaft und Humor berücksichtigt. Bei jedem Auswertekriterium können jeweils 0-3 oder 0-6 Punkte vergeben werden. Anhand der Summe, die sich aus der den einzelnen Bewertungen aller Kriterien ergibt, kann eine Einschätzung des kreativen Potenzials anhand von Normtabellen (Altersgruppen) erfolgen. Diese gibt Bereiche von bis an und die Teilnehmer können in Gruppen eingeordnet werden: A = weit unter dem Durchschnitt, B = unterdurchschnittlich, C = durchschnittlich, D = überdurchschnittlich, E = weit überdurchschnittlich, F = extrem überdurchschnittlich, G = „Phänomenal“.

Weiterhin gab es einen Fragebogen zur eigenen Einschätzung nach Qualität, Schwierigkeitsgrad der Bedingungen und persönlichem Erfolg (8.1. Anhang), welche anhand einer visuellen Analogskala (0=sehr schlecht bis 10=sehr gut) angegeben wurde.

Die Portraits wurden anschließend von zwei Kunstprofessoren anhand einer visuellen Analogskala (0=sehr schlecht bis 10=sehr gut) eingeschätzt. Dabei wurde der Umgang mit Darstellungsproblemen, die Übertragungsgenauigkeit beim naturalistischen Zeichnen bzw. die Darstellung der charakteristischen Merkmale des Gesichtes beim skizzenhaften Zeichnen bewertet.

3. Ergebnisse

Wir erhielten ein komplexes Netzwerk aus Aktivierungen für die Zeichenaufgaben, was nicht verwunderlich ist, denn Zeichnen ist ein komplexer Vorgang, wie es schon Harrington 2007 beschrieb [9]. Erwartungsgemäß zeigte der Kontrast des Zeichnen minus des passiven Betrachtens des Gesichtes eine erhöhte Aktivierung in dem bilateralen primären und sekundären motorischen Rindenfeld, dem rechten primären und sekundären somatosensorischen Cortex und der rechten zerebellären Gehirnhemisphäre, ipsilateral zu der zeichnenden Hand. Bemerkenswerter ist jedoch die Feststellung, dass auch der rechte Okzipitallappen während des Zeichnens in zunehmendem Maße beteiligt war. Die erhöhte rechts parietale Aktivierung während des Zeichnens im Vergleich zu dem passiven Betrachten war vorwiegend auf den oberen vorderen Teil von BA 7 und um den Sulcus intraparietalis (IPS) herum fokussiert. Die untere frontale Aktivierung in dem rechten BA 44/BA 45 zeigte nur für die Bedingung des skizzenhaften Zeichnens eine signifikante Erhöhung. Wohingegen das naturalistische Zeichnen in zunehmendem Maße Ressourcen in der rechten fusiformen Gesichtsregion (FFA) in Anspruch nahm, wurden erhöhte Ressourcen für das skizzenhafte Zeichnen in den eher oberen temporalen Regionen lokalisiert (8.4. und 8.5. Tabellen).

3.1. Genau Zeichnen

Wir stellten fest, dass es zu Aktivierungen beidseits im primär motorischen Kortex und in primären und sekundären sensorischen Gebieten, sowie im Bereich des BA 6, im PMC als auch im SMA kam, wobei letztere nur linkseitig aktiviert wurde. Weiterhin fanden sich Aktivierungen im Cerebellum und Vermis. Der Parietallappen wies Aktivierung im superioren (BA 7) und im

inferioren Anteil (BA 39, BA 40) der rechten Hemisphäre auf. Im inferioren Temporallappen zeigte der Gyrus fusiformis (BA 37) rechtsseitig Aktivität.

3.2. Schnell Zeichnen

Hier konnten wir ähnliche Aktivierungen wie beim exakten /naturalistischen Zeichnen sehen. Das skizzierende, charakteristische Zeichnen zeigte zudem Aktivität im superioren Parietallappen (BA 7) und inferioren frontalen Arealen (BA 44/45). Auch im oberen Temporallappen konnten Aktivitäten gesehen werden.

3.3. Genau bzw. schnell Zeichnen minus Durchpausen

Der Kontrast zeigt Aktivierungen beidseits im Okzipitallappen in primär visuellen Arealen und auch in medialen Anteilen des Okzipitallappens. Eine Aktivierung im Parietallappen im Gebieten des Cuneus und Präkuneus konnte für beide Bedingungen festgestellt werden

Weiterhin fanden sich noch Signalerhöhungen im rechten medialen Temporallappen und im rechten Gyrus fusiformes, letztere allerdings nur für den Kontrast des genauen Zeichnens.

3.4. Genau bzw. schnell Zeichnen minus Ansehen

In diesem Kontrast wurden Aktivitäten im bilateralen primären und sekundären Motorkortex beobachtet, sowie im ventralen Prämotorkortex (vPMC). Weiterhin waren der primäre und sekundäre somatosensorische Kortex der rechten Hemisphäre (BA 7 und intraparietalen Sulcus) aktiv, ebenso wie die rechte Hemisphäre des Kleinhirns. Auch im Okzipitallappen konnten vermehrt Aktivierungen festgestellt werden. In frontalen Gebieten zeigte sich das frontale Augenfeld (FEF) aktiviert und das Brodman Areal 44.

Weiterhin sahen wir Aktivierungen im inferioren und medialen Temporallappen.

3.5. Genau minus schnell Zeichnen

Die Teilnehmer wiesen Aktivierungen des linken medialen Temporallappens auf. Weiterhin wurde ein verstärktes BOLD-Signal im rechten Hippocampus gesehen.

3.6. Schnell minus genau Zeichnen

In dieser Bedingung wurden keine relevanten Aktivierungen beobachtet.

3.7. Auswertung Fragebogen, Bewertung, Untersuchung

Die größten Kopfbewegungen während des tatsächlichen Zeichnens im MRT waren bei allen Probandinnen kleiner als 2 mm.
Im Anschluss an die MRT-Messung haben alle Teilnehmer einen Fragebogen ausgefüllt, auf dem sie sich selbst und ihre Leistung einschätzen sollten (Wie schwer war die Aufgabe? Wie gut ist das Ergebnis?). Die ungeübten Zeichner bewerten das Zeichnen egal ob naturalistisch oder skizzenhaft als mäßig schwer (M=6.91, SE=2.06). Hingegen wurde das Nachzeichnen der Konturen als einfach bewertet (M=2.12, SE=1.92). Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Schwierigkeit in Zusammenhang mit ihrer Fähigkeit zu zeichnen bestand und nicht mit einer unbequemen Stellung oder Haltung im MRT. Die eigene Leistung wurde insgesamt als schlecht bewertet (M=2.91, SE=1.74 für naturalistisches Zeichnen; M=3.93, SE=1.89 für skizzenhaftes Zeichnen).
Um die Qualität der Portraits zu bewerten, wurden die Zeichnungen von zwei Kunstprofessoren der Universität Greifswald beurteilt. Die Experten

bewerteten die Zeichnungen in Hinblick auf die Übertragungsgenauigkeit schlecht (M=1.02, SE= 0.60).Auch die Darstellung der charakteristischen Gesichtsmerkmale gelang den Probanden nach Ansicht der Experten nicht (M=2.30, SE=1.53).
Den Test zum schöpferischen Denken von Urban und Jellen (1995) haben insgesamt 75% der Teilnehmer vollständig durchgeführt. Es ergab sich eine durchschnittliche Leistung (M=54.86, SE=12.51) in Bezug auf die altersbezogene Referenzgruppe (M=60.60, SE= 18.70). Allerdings schnitten vier Teilnehmer mit einer unterdurchschnittlichen Leistung ab, neun Teilnehmer lagen im Bereich des Durchschnittes und nur zwei Teilnehmer zeigten eine Leistung im überdurchschnittlichen Bereich.

4. Diskussion

Unser Ziel bestand in der Untersuchung der neuronalen Korrelate einer Zeichnung eines Porträtbildes einschließlich der zugehörigen beteiligten motorischen und sensomotorischen Prozesse. Vergleiche zwischen verschiedenen Arten zu zeichnen wiesen Unterschiede auf, die sich in der Aktivierung verschiedener Gebieten widerspiegelten.
Zu diesem Zweck verglichen wir naturalistisches und skizzenhaftes Zeichnen von Fotos neutraler Gesichtern mit dem Nachzeichnen von Gesichtskonturen beziehungsweise das passive Betrachten von Gesichter bei 20 unbefangenen Studienteilnehmerinnen. Wir überwanden das Problem der Kopfbewegungen, das bei dem tatsächlichen Zeichnen auftritt, indem wir einen speziellen fMRT-kompatiblen Tisch verwendeten. Somit konnten wir eine reale Porträtbild-Zeichenaufgabe studieren, bei der das charakteristische Muster des Blickwechsels zwischen dem Original und der Zeichnung auftritt, ebenso wie die visuomotorische sowie die sensomotorische Steuerung.

Insgesamt aktivierte das Zeichnen im Vergleich zu dem passiven Betrachten das bilaterale somatosensorische/motorische Netz. Es beanspruchte jedoch auch in zunehmendem Maße Regionen, die für die visuelle Verarbeitung verantwortlich sind und sich im rechten okzipitalen Cortex (okzipitale Gesichtsregion, OFA), im medialen Temporallappen (MT) und dem inferioren Temporallappen (der fusiformen Gesichtsregion, FFA) befinden. Regionen, die mit Aufmerksamkeits- und Auswahlprozessen in der rechten Gehirnhemisphäre in Verbindung gebracht worden sind (FEF, cSFS), zeigten ebenfalls während des Zeichnens eine höhere Aktivierung als bei dem passiven Betrachten des Gesichtes. Weiterhin weisen eine erhöhte Beteiligung des ventralen prämotorischen Kortex (vPMC) und des BA 44 auf eine Inanspruchnahme von stark überlernten motorischen Mustern in Verbindung mit dem Benutzen des Zeichenstiftes hin.
Das Abzeichnen im Vergleich zum Nachzeichnen nahm den Präkuneus, den Cuneus und die primären Sehzentren in Anspruch. Die Aktivierung des Präkuneus resultiert vermutlich aus der Planung und Ausführung visuell geführter Handbewegungen, die räumliche Beziehungen auf der Grundlage des Arbeitsgedächtnisses wiedergeben.

Zeichnen vs. Ansehen

Wie erwartet beobachteten wir beim Zeichnen im Vergleich zum Ansehen des Fotos eines Gesichtes verstärkte Aktivierungen im primären und sekundären Motorkortex. Diese motorischen Aktivierungen decken sich mit Ergebnissen aus der Studie von Makuuchi et al [8], in der die Teilnehmer bekannte Objekte mit dem Finger in die Luft zeichnen sollten. Motorische Aktivierungen zeigten sich bilateral und involvierten vorwiegend das primär motorische Rindenfeld (M1), das supplementär motorische Areal (SMA) und den dorsalen prämotorischen Kortex (dPMC). In der skizzenhaften

Darstellung im Vergleich zum naturalistischen Zeichnen fand sich vermehrt eine Lateralisation zur kontralateralen Hemisphäre der Zeichenhand auf der Ebene des primären motorischen Rindenfeldes (M1) und zur ipsilateralen Kleinhirnhemisphäre in vorderen zerebellären Gebieten. Diese vorderen Gebiete des Kleinhirns wurden mit einem ausgeprägten somatosensorischen Abgleich in Zusammenhang gebracht, welcher sowohl beim Zeichnen als auch beim Nachziehen von Konturen wichtig ist.
Das Benutzen eines Stiftes benötigt Bewegungsmuster, welche hoch automatisiert sind. Vorausgegangene Studien weisen auf ein fronto-parietales Netzwerk hin, welches für diesen Prozess maßgeblich ist. Dieses Netzwerk schließt den superioren Parietallappen, den ventralen prämotorischen Kortex (vPMC) und Teile des inferioren frontalen Gyrus (BA 44/45) in der rechten Hemisphäre ein. Der vPMC enthält Neurone, die motorische Engramme von stark überlernten Bewegungen verarbeiten [33]. Diese Aktivierungen können daher den Zugriff von stark überlernten Bewegungsmustern während des Arbeitens mit dem Zeichenstift widerspiegeln.
Harrington [9] untersuchte Teilnehmer die sich das Zeichnen vorstellen sollten. Aktivierungen wurden im BA 44 gesehen und mit dem semantischen Gedächtnis verbunden. Ebenso das Schreiben der Namen der Objekte aktivierte dieses Gebiet. Es ist gut möglich, dass die BA 44-Aktivierung in ihrer Aufgabe durch die Bildlichkeitsaufgabe induziert wurde, da nachgewiesen worden ist, dass BA 44 sehr aktiv ist, und zwar selbst während der Vorstellung einfacher Handbewegungen [25].
Die Augenbewegung zwischen dem Original und dem gezeichneten Bild zeigen sich in Aktivierungen in bilateralen aber vor allem rechtsseitigen Aktivierungsmustern des dorsalen prämotorischen Kortex (dPMC), des frontalen Augenfeldes (FEF) und des caudalen Sulcus frontalis superior (cSFS). Die visuelle Verarbeitung von Gesichtern spiegelt sich in der

Aktivierung des rechten okzipitalen Gesichtsareales wider und in Aktivierungen des fusiformen Gesichtsareal (FFA), welche deutlich stärker aktiviert werden beim Zeichnen als beim reinen Ansehen. In beiden Gehirnhemisphären sind diese Regionen Kernregionen der Gesichtserkennung [14], jedoch ist die Aktivierung in diesen Regionen während der Gesichtserkennung üblicherweise zu der rechten Seite hin lateralisiert [15]. In einer früheren Bildgebungsstudie zu einer linearen Kopieraufgabe von Cartoon-Gesichtern stellten auch Miall et al. fest, dass die FFA und die OFA aktiv waren [3]. Ein Gesicht in charakteristische Elemente zu zerlegen und dann anschließend wieder mittels motorischer Aktion zu reproduzieren, benötigt detaillierte analytische visuelle Prozesse. Diese werden während des Betrachtens nicht benötigt. Außerdem wird während des Zeichnens ein zweites Gesicht erzeugt, was zur verstärkten visuellen Stimulation führt.

Auch der mediale Temporallappen (MT) war verstärkt aktiv. Diese Aktivierung verschwand während des Vergleiches mit dem Nachziehen der Linien, was darauf schließen lässt, dass er durch die Stimulation der bewegenden Hand aktiviert wurde.

In unserem Paradigma können Augenbewegungen und visuelle Verarbeitung während des Zeichnens, die von den Handbewegungen unabhängig waren, nicht von denen unterschieden werden, die für die visuomotorische Steuerung zuständig sind. Vorrausgehende Studien zu visuell geführtem Greifen und Zeigen haben den medialen intraparietalen Sulcus (IPS) und den dorsalen prämotorischen Kortex (dPMC) mit der visoumotorischen Steuerung von Handbewegungen beschrieben [20,21]. Somit spiegelt die Aktivierung des intraparietalen Sulcus, welche stärker war beim skizzenhaften Zeichnen, wahrscheinlich die stärkere Beteiligung an der visuell-motorischen Kontrolle wider.

Zeichnen vs. Durchpausen

Für den Kontrast des Zeichnens mit dem Nachziehen von Konturen sahen wir beidseitige Aktivierungen im Cuneus und Präkuneus. Der Präkuneus hat multiple Funktionen [34] und kann in Areale mit jeweils verschiedenen Verknüpfungsfunktionen eingeteilt werden. Diese Daten lassen vermuten, dass es eine Teilung in drei funktionell unterschiedliche Gebiete gibt: das vordere Gebiet unterstützt sensomotorische Prozesse, das hintere Gebiet ist in visuelle Prozesse involviert und das zentrale Gebiet ist mit dem dorsolateralen präfrontal Kortex (dPMC), dem inferioren Parietallappen und dem Gyrus angularis verbunden. Dieses zentrale Gebiet wurde mit kognitiven Funktionen in Zusammenhang gebracht, welche das Arbeitsgedächtnis und die Handlungsplanung umfasst. Ventral angrenzend ist der posteriore Gyrus cingulus mit den limbischen Strukturen in frontalen und temporalen Bereichen verbunden und könnte für die Beteiligung des Präkuneus in Aufgaben des Arbeitsgedächtnisses verantwortlich sein. Anhand der vorrausgegangenen fMRT-Studien welche Präkuneus Aktivierungen beobachtete haben, und die sowohl tatsächliches Zeichnen als auch das Linien Nachzeichnen durchführten [3, 6, 10], klären diejenigen, die die visuell geführte Planung von Greif- und Zeigebewegungen studieren, und diejenigen, die das räumliche Arbeitsgedächtnis studieren, die wichtigen Aufgabenanforderungen des Abzeichnens im Vergleich zum Nachzeichnen. Präkuneusaktivierungen sind bereits beobachtet worden, wenn Greif- oder Zeigebewegungen auf visuell kodierte Ziele geplant werden mussten, die während der Ausführung der Bewegungen unsichtbar waren [22, 23, 36]. Eine solche Planung ist beim Abzeichnen erforderlich, da beim Abzeichnen im Vergleich zum Nachzeichnen, visuell geführte Handbewegungen nicht auf sichtbare Ziele ausgerichtet sind. Beim Abzeichnen reproduzieren Handbewegungen visuelle Merkmale des Originals an Stellen, die in Bezug auf bereits reproduzierte Merkmale in der Zeichnung festgelegt sind. Somit

steht die höhere Aktivierung des Präkuneus beim Zeichnen im Vergleich zum Nachzeichnen auch in Übereinstimmung mit der Beteiligung des Präkuneus an der Auswahl relativer Orte im räumlichen Arbeitsgedächtnis [19].
Ferber et al [6] hat ebenso das Abzeichen mit dem Nachzeichnen verglichen, und höhere Präkuneus Aktivierungen für das Nachzeichnen gefunden. Man beachte aber, dass ihre Nachzeichnungsaufgabe das Verfolgen einer Wiedergabe von früheren Zeichnungsbewegungen des Studienteilnehmers erforderte, die als eine auf einem Bildschirm entstehende Linie gezeigt wurden. Daher kann Zeitdruck die Aufgabenanforderungen des Nachzeichnens, das als Verfolgung mit koordinierten Augen- und Handbewegungen [37] durchgeführt wurde, erhöht haben, beziehungsweise die Wiedergabe kann einen episodischen Gedächtnisabruf ausgelöst haben. Eine höhere Aktivierung der primären Sehbereiche im Vergleich zum Nachzeichnen resultierte vermutlich sowohl aus einer stärker analytischen visuellen Verarbeitung während des Abzeichnens als auch aus einer zusätzlichen visuellen Stimulation.

Genaues Zeichnen vs. schnelles Zeichnen

In unserer Gruppe der Teilnehmer, die keine weitere Ausbildung im Zeichnen aufweisen, können keine deutlichen Unterschiede zwischen den beiden unterschiedlichen Aufgaben des Zeichnens gesehen werden. Wahrscheinlich liegt es an der mangelnden Fähigkeit eines untrainierten Zeichners deutliche Unterschiede in den Aufgaben naturalistische Zeichnung bzw. Skizzenhafte Zeichnung herauszuarbeiten. Einzig der mediale Cuneus zeigte sich verstärkt aktiv beim naturalistischen Zeichnen im Vergleich zum skizzenhaften. Das kann auf den erhöhten Aufwand bei der Überwachung der anzufertigenden detaillierteren Zeichnung deuten [3]. Wenn man den Vergleich des skizzenhaften Zeichnens mit dem passiven Ansehen

betrachtet, erkennt man verstärkte Aktivierung im somatosensorischen Areal und Kleinhirn für das skizzenhafte Zeichnen. Möglicherweise könnte das durch die schnellere Bewegung während des skizzenhaften Zeichnens entstehen.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Interessanterweise weiß man über die funktionelle Repräsentation des Zeichnens wenig. Gesichter sind besonders komplexe visuelle Objekte und bieten eine Fülle von Informationen verschiedener Art. Weitere Gruppenanalysen wären von Vorteil, um die Ergebnisse zu untermauern.
In der hier vorliegenden Studie ermittelten wir neuronale Korrelate von verschiedenen Aspekten des Zeichnens eines Porträtbildes. Abzeichnen involvierte hierbei visuelle Analyseprozesse, die sich in einer Aktivierung in den gesichtsspezifischen Wahrnehmungsregionen widerspiegelt, die sich im rechten okzipitalen und inferioren temporalen Gyrus befinden. Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsauswahlprozesse aktivierten die frontalen Augenfelder (FEF) und den caudalen Sulcus frontalis superior (cSFS). Abzeichnen erforderte weiterhin die Anwendung von motorischen Mustern. Visuomotorische Steuerung beansprucht den dorsalen prämotorischen Cortex (dPMC) und die posterioren parietalen Regionen einschließlich des ventralen Sulcus intraparietalis (IPS). Kortikalregionen, die motorische Engramme verarbeiten, die für überlernte motorische Prozesse während der Nutzung des Zeichenstiftes erforderlich sind, wurden im rechten ventrolateralen präfrontalen Gyrus festgestellt. Die Aktivierung des rechten Kleinhirnlappens und des rechten Parietallappens deuten auf eine sensomotorische Steuerung der motorischen Leistung und somatosensorische Verarbeitung hin. Die Aktivierung des Präkuneus, die für das Abzeichnen im Gegensatz zum Nachzeichnen beobachtet wurde, resultierte vermutlich aus den Anforderungen an die Planung visuell geführter

Handbewegungen in richtigen räumlichen Beziehungen auf der Grundlage des räumlichen Arbeitsgedächtnisses. Bei Amateuren wurden kaum Unterschiede zwischen naturalistischem und skizzenhaftem Zeichnen festgestellt.

Es ist noch unklar, welche Verarbeitungsprozesse geübte von ungeübten Zeichnern unterscheiden. Aus dem Bereich des Musikertrainings (Instrumentalisten, Sänger), bei dem auch eine enge sensomotorische Interaktion besteht, weiß man, dass es zu einer Ökonomisierung der Ausführung zusammen mit einer Konzentration auf die sensomotorische Interaktion im Laufe der Spezialisierung kommt [39]. Es wäre interessant, eine weitere Studie im Zusammenhang mit zunehmender Expertise der Zeichenerfahrung durchzuführen, um eventuelle Unterschiede der beteiligten Aktivierungsareale zu untersuchen. Vermutlich werden durch Training verschiedene Einzelelemente dieses komplexen Interaktionsprozesses beim Zeichen optimiert: die Wahrnehmung inklusive der Objektanalyse, die enge Verbindung des analysierten Prozesses mit der Motorik, Feedback-Prozesse des Abgleiches des Gezeichneten mit dem Gesehenen und natürlich Routineprozesse in der Ausführung. Eine weitere Studie unter diesem Aspekt wäre aus unserer Sicht erstrebenswert.

6. Zusammenfassung

Die neuronale Steuerung des Zeichnens umfasst Aufmerksamkeitsprozesse, koordinierte Bewegungen der Hände und Augen und einen ständigen Abgleich des Gezeichneten mit dem Original. Motivation für diese Studie war, herauszufinden welche Gehirnareale beim Vorgang des Portraitzeichnens aktiviert werden. Wir haben für unsere Studie 20 Studenten rekrutiert, die alle keine nähere Erfahrung mit dem Zeichnen hatten. Während der Messungen mit dem MRT-Gerät haben die Teilnehmer verschiedene Portraits abgezeichnet. Um mögliche Unterschiede zwischen der Art und Weise des Zeichnens zu untersuchen, haben wir die Aufgaben variiert. So sollten die Teilnehmer das ihnen dargebotene Gesicht in einer Hauptbedingung so genau wie möglich (naturalistisch) zeichnen. Die zweite Hauptaufgabe bestand darin, ein Gesicht zu skizzieren, um die Charakteristika eines Gesichtes dazustellen. Als Kontrollbedingungen haben wir die Aufgaben „Ansehen des Gesichtes“ und „Nachziehen der Konturen“ gewählt. Wie schon in ähnlichen vorausgegangenen Studien gezeigt wurde, erwarteten auch wir Aktivierungen, welche primär und sekundär motorische und somatosensorische sowie visuelle Areale umfassen. Weiterhin vermuten wir, dass Gebiete aktiv sind, die den Abgleich des Gezeichneten mit dem Original erfordern. Mutmaßlich könnte das naturalistische Zeichnen vermehrt Aktivierungen in visuellen und somatosensorischen Arealen aufweisen, da hier ein erhöhter Abgleich mit dem Objekt stattfindet. Das skizzierende Zeichnen dagegen könnte verstärkt Gebiete in präfrontalen Gebieten anregen, da hierbei eher planerisch-gestalterisches Denken ablaufen sollte. Da nur wenige Studien vorliegen, die sich mit dem Zeichnen von Gesichtern beschäftigt haben, erhoffen wir uns durch unsere Studie dazu beizutragen, einen besseren Überblick über Gebiete zu bekommen, die bei der Wahrnehmen und dem zeichnerischen Wiedergeben von Gesichtern von Bedeutung sind.

7. Literatur

[1] Morris D. The biology of art: a study of the picture-making behaviour of the great apes and its relationship to human art. New York: Knopf; 1962.

[2] Iversen IH, Matsuzawa T. Visually guided drawing in the chimpanzee (Pan troglodytes). Japanese Psychological Research 1996;38:126–35.

[3] Miall RC, Gowen E, Tchalenko J. Drawing cartoon faces—a functional imag-ing study of the cognitive neuroscience of drawing. Cortex 2009;45:394– 406.

[4] Tchalenko J, Chris Miall R. Eye-hand strategies in copying complex lines. Cortex 2009;45:368–76.

[5] Thaler L, Goodale MA. Neural substrates of visual spatial coding and visual feedback control for hand movements in allocentric and target-directed tasks. Frontiers in Human Neuroscience 2011;5:92.

[6] Ferber S, Mraz R, Baker N, Graham SJ. Shared and differential neural substrates of copying versus drawing: a functional magnetic resonance imaging study. Neuroreport 2007;18:1089–93.

[7] Ogawa K, Inui T. The role of the posterior parietal cortex in drawing by copying. Neuropsychologia 2009;47:1013–22.

[8] Makuuchi M, Kaminaga T, Sugishita M. Both parietal lobes are involved in drawing: a functional MRI study and implications for constructional apraxia. Cognitive Brain Research 2003;16:338–47.

[9] Harrington GS, Farias D, Davis CH, Buonocore MH. Comparison of the neural basis for imagined writing and drawing. Human Brain Mapping 2007;28: 450–9.

[10] Gowen E, Miall RC. Differentiation between external and internal cuing: an fMRI study comparing tracing with drawing. Neuroimage 2007;36: 396–410.

[11] Haxby JV, Hoffman EA, Gobbini MI. The distributed human neural system for face perception. Trends in Cognitive Sciences 2000;4:223–33.

[12] Gauthier I, Tarr MJ, Moylan J, Anderson AW, Skudlarski P, Gore JC. Does visual subordinate-level categorisation engage the functionally defined fusiform face area. Cognitive Neuropsychology 2000;17:143–64.
[13] Puce A, Allison T, Bentin S, Gore JC, McCarthy G. Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. Journal of Neuroscience 1998;18:2188–99.
[14] Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. Journal of Neuroscience 1997;17:4302–11.
[15] Sergent J, Ohta S, MacDonald B. Functional neuroanatomy of face and object processing. A positron emission tomography study. Brain 1992;115(Part 1):15–36.
[16] Allison T, Puce A, McCarthy G. Social perception from visual cues: role of the STS region. Trends in Cognitive Sciences 2000;4:267–78.
[17] Heywood CA, Cowey A. The role of the 'face-cell' area in the discrimination and recognition of faces by monkeys. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences 1992;335:31–7. Discussion 7–8.
[18] Coen-Cagli R, Coraggio P, Napoletano P, Schwartz O, Ferraro M, Boccignone G. Visuomotor characterization of eye movements in a drawing task. Vision Research 2009;49:810–8.
[19] Bledowski C, Rahm B, What Rowe JB. works in working memory? Separate sys-tems for selection and updating of critical information. Journal of Neuroscience 2009;29:13735–41.
[20] Culham JC, Cavina-Pratesi C, Singhal A. The role of parietal cortex in visuomotor control: what have we learned from neuroimaging. Neuropsychologia 2006;44:2668–84.

[21] Prado J, Clavagnier S, Otzenberger H, Scheiber C, Kennedy H, Perenin MT. Two cortical systems for reaching in central and peripheral vision. Neuron 2005;48:849–58.
[22] Astafiev SV, Shulman GL, Stanley CM, Snyder AZ, Van Essen DC, Corbetta M. Functional organization of human intraparietal and frontal cortex for attending, looking, and pointing. Journal of Neuroscience 2003;23:4689–99.
[23] Connolly JD, Andersen RA, Goodale MA. FMRI evidence for a 'parietal reach region' in the human brain. Experimental Brain Research 2003;153: 140–5.
[24] Karnath HO, Perenin MT. Cortical control of visually guided reaching: evidence from patients with optic ataxia. Cerebral Cortex 2005;15:1561–9.
[25] Binkofski F, Amunts K, Stephan KM, Posse S, Schormann T, Freund HJ, et al. Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study. Human Brain Mapping 2000;11:273–85.
[26] Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia 1971;9:97–113
[27] Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, et al. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. Neuroimage 2005;25:1325–35.
[28] Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, Crivello F, Etard O, Del-croix N, et al. Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. Neu-roimage 2002;15:273–89.
[29] Ito M. The modifiable neuronal network of the cerebellum. Japanese Journal of Pharmacology 1984;34:781–92.
[30] Gao JH, Parsons LM, Bower JM, Xiong J, Li J, Fox PT. Cerebellum implicated in sensory acquisition and discrimination rather than motor control. Science 1996;272:545–7.

[31] Grodd W, Hulsmann E, Lotze M, Wildgruber D, Erb M. Sensorimotor mapping of the human cerebellum: fMRI evidence of somatotopic organization. Human Brain Mapping 2001;13:55–73.
[32] Binkofski F, Buccino G. The role of ventral premotor cortex in action execution and action understanding. Journal of Physiology and Pharmacology 2006;99:396–405.
[33] Rijntjes M, Dettmers C, Buchel C, Kiebel S, Frackowiak RS, Weiller C. A blueprint for movement: functional and anatomical representations in the human motor system. Journal of Neuroscience 1999;19:8043–8.
[34] Cavanna AE, Trimble MR. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. Brain 2006;129:564–83.
[35] Margulies DS, Vincent JL, Kelly C, Lohmann G, Uddin LQ, Biswal BB, et al. Precuneus shares intrinsic functional architecture in humans and monkeys. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2009;106:20069–74.
[36] Ferraina S, Garasto MR, Battaglia-Mayer A, Ferraresi P, Johnson PB, Lacquaniti F, et al. Visual control of hand-reaching movement: activity in parietal area 7 m. European Journal of Neuroscience 1997;9:1090–5.
[37] Miall RC, Reckess GZ, Imamizu H. The cerebellum coordinates eye and hand tracking movements. Nature Neuroscience 2001;4:638–44.
[38] Urban, Jellen. Test for creative thinking-Drawing (Test zum schöpferischen Denken – Zeichnerisch; TSD-Z). Frankfurt, Germany: Swets Test Services; 1995
[39] M. Lotze, G. Scheler, H.-R.M. Tan, C. Braun, and N. Birbaumera.The musician’s brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. NeuroImage 20 (2003); 1817–1829

8. Anhang

8.1. Fragebogen

Test zur Zeichenerfahrung und -einschätzung

1. Haben Sie Erfahrung mit Zeichnen?

2. Wie oft pro Woche zeichnen Sie?

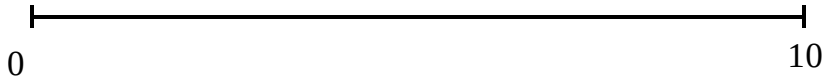
3. Wann haben Sie mit dem Zeichnen begonnen?

4. Hatten Sie Zeichenunterricht?
   4.1. in der Schule
   - wenn ja, wie lange

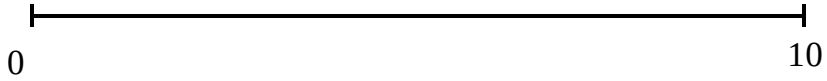
   4.2. außerhalb der Schule

   - wenn ja, wie lange

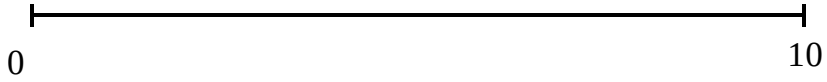
5. Wie schätzen Sie Ihre Zeichenkünste allgemein ein?



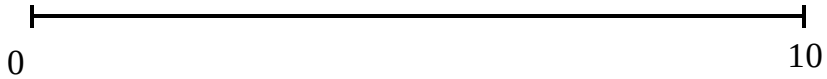
6. Wie gut konnten Sie sich das naturalistische/genaue Zeichnen vorstellen?



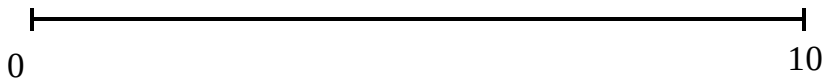
7. Wie gut konnten Sie sich das abstrakte/schnelle Zeichnen vorstellen?



8. Wie gut war die Durchführung -Qualität- beim naturalistischen/genauen Zeichnen?

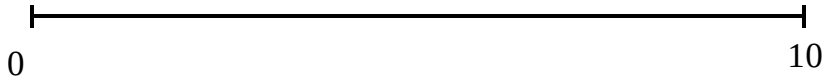


9. Wie gut war die Durchführung -Qualität- beim abstrakten/schnellen Zeichnen?

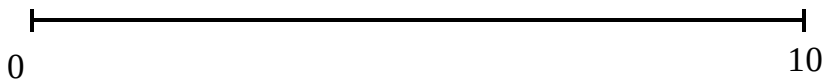


10. Wie schwer waren die Aufgaben?

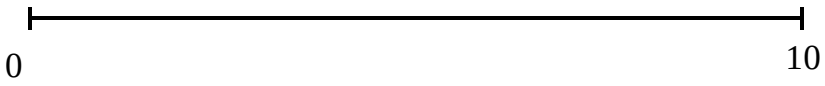
- naturalistisches/genaues Zeichnen



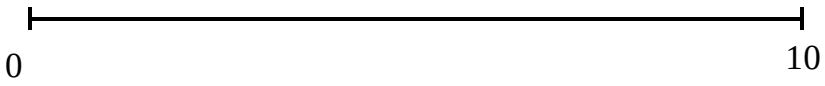
- abstraktes/schnelles Zeichnen



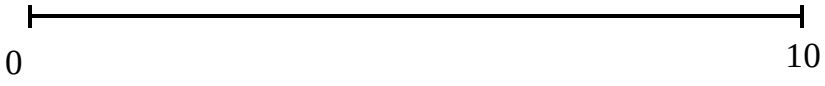
- ansehen



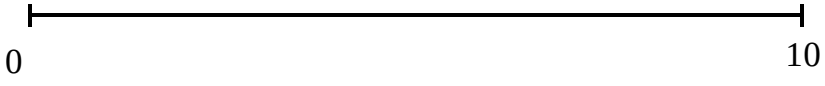
- durchpausen



- naturalistisches/genaues Zeichnen vorstellen



- abstraktes/schnelles Zeichnen vorstellen



8.2. Neutrale Bilder vom Karolinka Institut (Lundqvist, 1998)

8.3. Tabellen

Aktivierte Regionen	Naturalistisches Zeichnen ohne Betrachtung des Gesichtes					Skizzenhaftes Zeichnen ohne Betrachtung des Gesichtes			
	Brodmannsches Großhirnfeld	t-Wert	Koordinaten			t-Wert	Koordinaten		
			x	y	z		x	y	z
Motorisches Rindenfeld (Bewegungs-zentrum)									
Dorsaler prämotorischer Cortex (dPMC) rechts	BA 6	5,43*	36	-6	54	5,68*	24	0	63
dPMC links	BA 6	5,88*	-24	-3	60	6,17*	-30	-12	66
Frontales Augenfeld (FEF) rechts	BA 6/8	6,93*	30	0	51	3,61	27	15	51
Supplementäres motorisches Rindenfeld									
SMA rechts	BA 6					8,07*	27	0	57
SMA links	BA 6					4,20	-6	12	51
Primäres motorisches Rindenfeld									
M1 rechts	BA 4	5,54*	60	-15	27				
M1 links	BA 4	5,03*	-36	-15	57	3,92*	-33	-21	57
Zerebelläre Gehirn-hemisphäre rechts	Lobulus VI	4,85*	15	-51	-18	8,07*	27	0	57
	L VIII					5,98*	39	-66	-33
Somatosensorische Regionen									
Somatosensorischer Cortex rechts	BA 2	4,88*	36	-39	51	7,71*	33	-42	54

Sekundäre somatosensorische Regionen (S II)	OP4	5,54*	60	-15	27	3,44*	63	-18	27
Parietallappen									
SPL rechts	BA 7					7,67*	27	-57	48
Sulcus intraparietalis ventralis		3,70	39	-39	42	6,34*	30	-60	45
Sulcus intraparietalis anterior		4,43*	42	-36	48	5,87*	42	-33	48
Präkuneus						4,34	-15	-60	57
Cortex visivus									
Okzipitalregion rechts (OFA)	BA 19	4,90*	21	-63	-15	4,35*	33	-76	35
Brocasches Zentrum und Gegenstück									
Gyrus frontalis inferior links	BA 44	3,78	-54	6	27				
Gyrus frontalis inferior rechts	BA 44					7,10*	57	9	33
Gyrus frontalis inferior rechts	BA 45	4,00	60	18	6	4,55*	45	39	12
Temporallappen									
Medialer Temporallappen (MT)	V5	3,45*	42	-63	3	4,97*	42	-66	3
Gyrus furiformis links (FFA)						5,91*	-39	-63	6
Gyrus fusiformis		3,49	-27	-57	-18				

rechts (FFA)									
Rechts inferior temporalis		4,76*	24	-63	-15	4,84*	21	-51	-15
Rechts Mitte temporalis						5,20*	45	-63	-6
Links Mitte temporalis						4,97*	42	-66	3
						5,91*	-39	-63	6

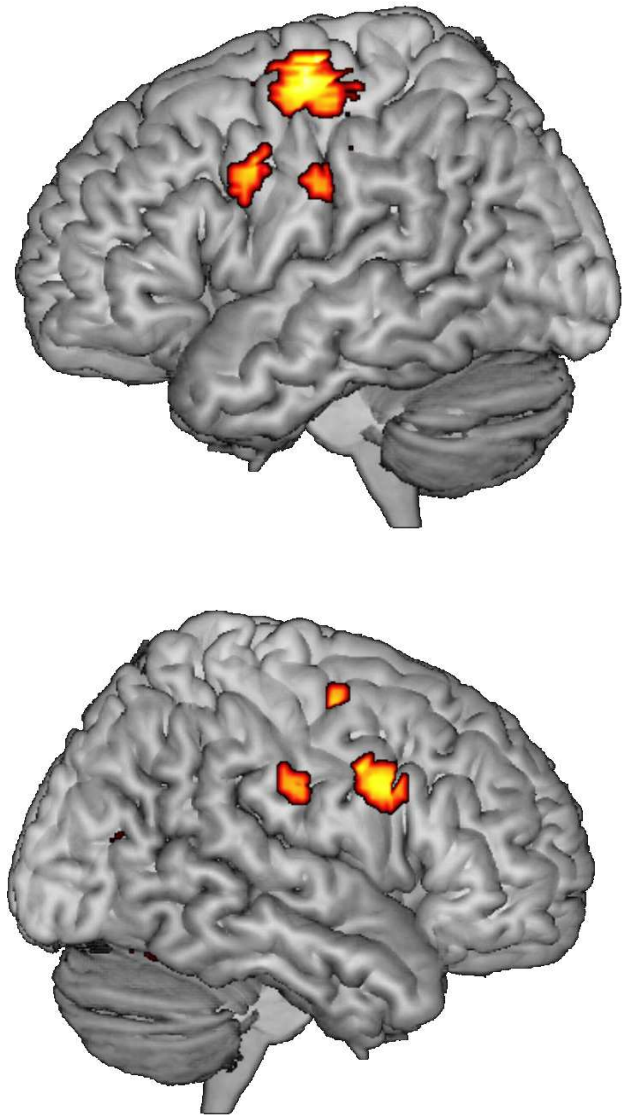
* p < 0,05 FWE korrigiert für ausgewählte ROI

Aktivierte Regionen	Naturalistisches Zeichnen ohne Linien nachziehen					Skizzenhaftes Zeichnen ohne Linien nachziehen			
	Brodmannsches Großhirnfeld	t-Wert	Koordinaten			t-Wert	Koordinaten		
			X	y	z		x	y	Z
V1/V2 links	BA 17/18	6,16*	-18	-63	12	6,92*	-18	-69	18
V1/V2 rechts	"	5,00*	9	-72	18	3.32	21	-72	15
Cuneus rechts	BA 31	5,39*	6	-72	21	4,00	21	-66	24
Cuneus links	BA 31	5,75*	-18	-63	18	4,89*	-15	-72	21
Präkuneus rechts	BA 7	5,30*	18	-63	27	4,07	21	-63	24
Präkuneus links	BA 7	4,39	-12	-66	36				
Supplementäres motorisches Rindenfeld (SMA)	BA 6	4,85	12	3	54				
Gyrus fusiformis rechts (FFA)	BA 37	3,76	39	-12	-27				
Hippocampus temporalis inferior	BA 21	4,00*	51	-18	-18	3,64	51	-21	-18
rechts (Hirnrinde)		3,33	18	-3	-21				
Ventrale intraparietale Region (VIP)	BA 7					3,79	30	-51	42

* p < 0,05 FWE korrigiert für ausgewählte ROI.

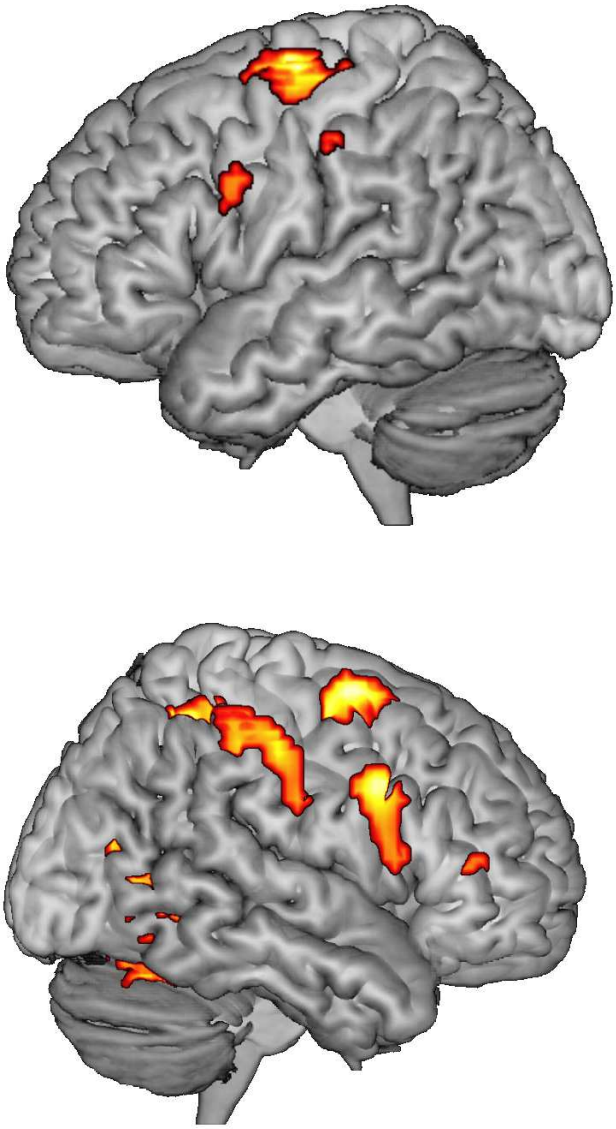
8.4. Abbildungen

Genau Zeichnen minus Ansehen



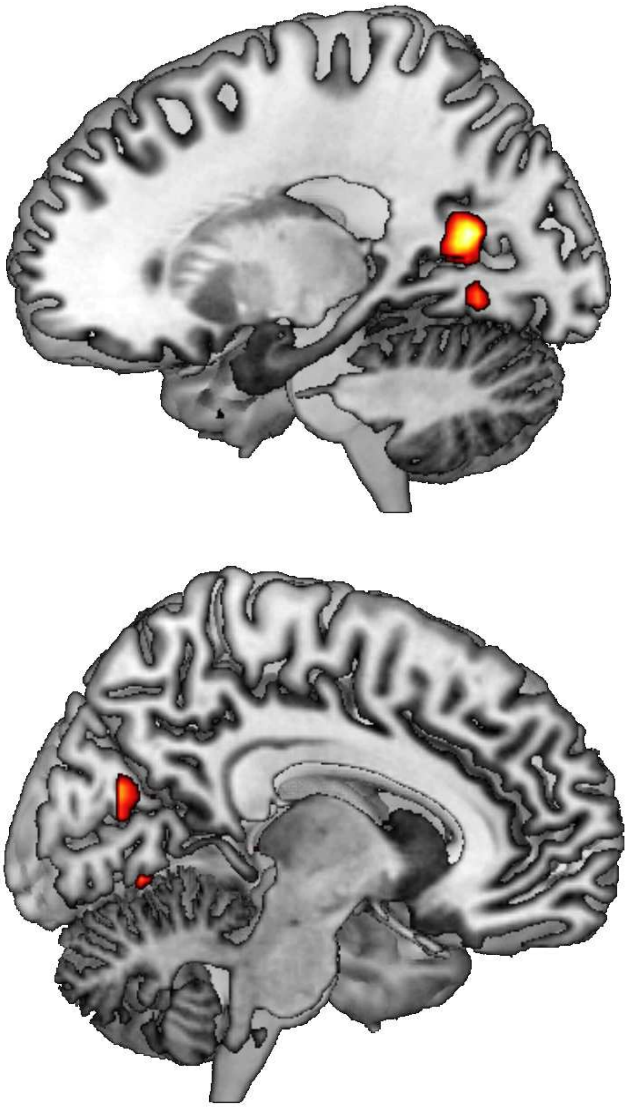
Repräsentation des Kontrastes projiziert auf die seitliche Ansicht des segmentierten MNI-Bezugsgehirns mit einem Signifikanzniveau von $p<0,001$ nicht korrigiert.

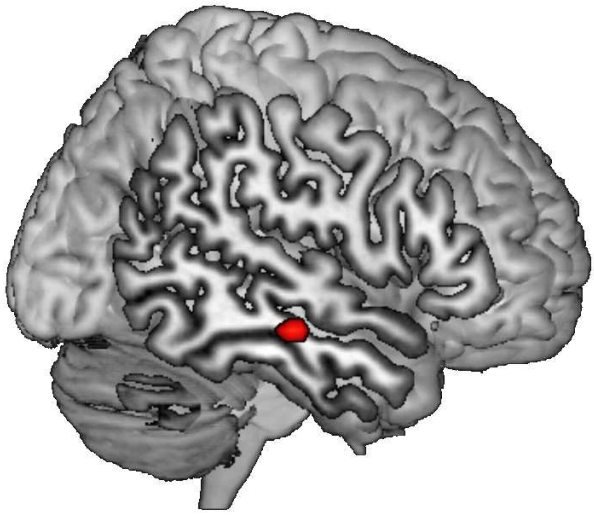
Schnell Zeichnen minus Ansehen



Repräsentation des Kontrastes projiziert auf die seitliche Ansicht des segmentierten MNI-Bezugsgehirns mit einem Signifikanzniveau von $p<0,001$ nicht korrigiert.

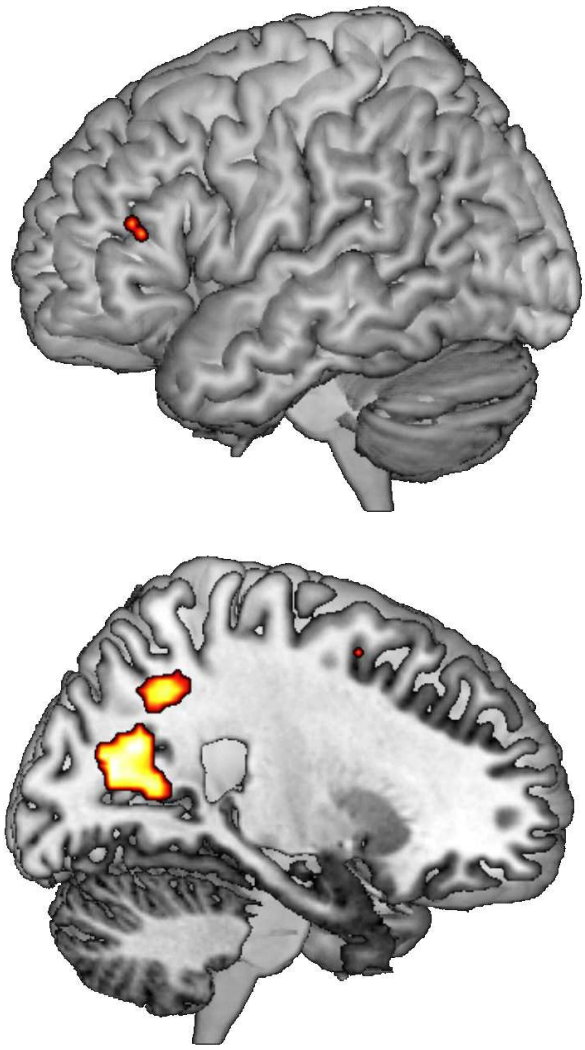
Genau Zeichnen minus Linien nachziehen

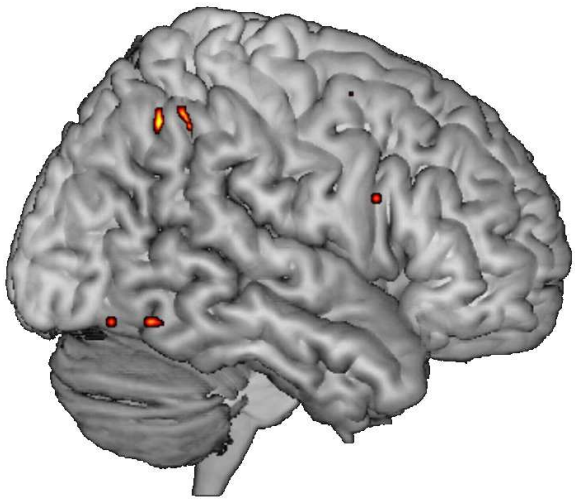




Repräsentation des Kontrastes projiziert auf Medianschnitte und die seitliche Ansicht des segmentierten MNI-Bezugsgehirns mit einem Signifikanzniveau von $p<0,001$ nicht korrigiert.

Schnell Zeichnen minus Linien nachziehen





Repräsentation des Kontrastes projiziert auf Medianschnitte und die seitliche Ansicht des segmentierten MNI-Bezugsgehirns mit einem Signifikanzniveau von $p<0,001$ nicht korrigiert.

Danksagung

Nach Abschluss meiner kumulativen Dissertation möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Durchführung und Fertigstellung der Arbeit unterstützt haben.

Meinem Doktorvater Herr Prof. Dr. Martin Lotze, für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung der Arbeit, vor allem aber für die Hinweise und Anregungen während dieser Zeit.
Ebenso Herrn Prof. Dr. Georg Jahn für die gute Zusammenarbeit und die wertvollen Tipps beim Schreiben und Korrigieren des Artikels.

Weiterhin bei allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe für funktionelle Bildgebung, vor allem Frau Dr. Evangelia Kaza und Herrn Dipl. Ing. Martin Domin für Ihre tatkräftige Unterstützung.

Ich danke ebenso Herrn Prof. M. Soltau und Herrn Prof. U. Puritz vom Caspar-David-Friedrich-Institut der Universität Greifswald für die Hinweise beim Ausführen von Zeichenaufgaben und die Bewertung der Zeichnungen.

Natürlich gilt allen Teilnehmern, die ihre Zeichenkünste im MRT unter Beweis gestellt haben und nur somit diese Arbeit ermöglicht haben, ein ganz besonderes Dankeschön.

Nicht zuletzt gebührt mein außerordentlicher Dank meinen Eltern, die mir mit Zuspruch, Aufmunterungen und viel Verständnis in dieser Zeit geholfen haben. Ebenso auch allen Verwandten und Freunden für die Ermunterungen und Ratschläge.

Behavioural Brain Research 233 (2012) 209–216

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Behavioural Brain Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/bbr

Research report

fMRI-activation during drawing a naturalistic or sketchy portrait

K. Schaer[a], G. Jahn[b], M. Lotze[a,*]

[a] Functional Imaging Unit, Center for Diagnostic Radiology and Neuroradiology, University of Greifswald, Greifswald, Germany
[b] Department of Psychology, University of Greifswald, Greifswald, Germany

HIGHLIGHTS

- We used fMRI to measure 20 naive subjects during drawing a portrait.
- Participants were able to track their drawing online.
- We identified three important circuits specific for the process of portrait drawing.
- Circuits where: face perception, location encoding, and continuous feedback processes.
- Representations involved: fusiform gyrus, precuneus, parietal sulcus, and cerebellum.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 8 March 2012
Received in revised form 3 May 2012
Accepted 8 May 2012
Available online xxx

Keywords:
Drawing a portrait
Face perception
Visual encoding
Sensorimotor interaction
fMRI

ABSTRACT

Neural processes for naturalistic drawing might be discerned into object recognition and analysis, attention processes guiding eye hand interaction, encoding of visual features in an allocentric reference frame, a transfer into the motor command and precise motor guidance with tight sensorimotor feedback. Cerebral representations in a real life paradigm during naturalistic drawing have sparsely been investigated. Using a functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) paradigm we measured 20 naive subjects during drawing a portrait from a frontal face presented as a photograph. Participants were asked to draw the portrait in either a naturalistic or a sketchy characteristic way. Tracing the contours of the face with a pencil or passive viewing of the face served as control conditions. Compared to passive viewing, naturalistic and sketchy drawing recruited predominantly the dorsal visual pathway, somatosensory and motor areas and bilateral BA 44. The right occipital lobe, middle temporal (MT) and the fusiform face area were increasingly active during drawing compared to passive viewing as well. Compared to tracing with a pencil, both drawing tasks increasingly involved the bilateral precuneus together with the cuneus and right inferior temporal lobe. Overall, our study identified cerebral areas characteristic for previously proposed aspects of drawing: face perception and analysis (fusiform gyrus and higher visual areas), encoding and retrieval of locations in an allocentric reference frame (precuneus), and continuous feedback processes during motor output (parietal sulcus, cerebellar hemisphere).

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

1.1. General issues

Drawing naturalistically is a capacity unique to humans [1]. Trained chimpanzees are at most able to develop a simple form of structured drawing guided by a visual model [2]. Even more specialized is the human capacity to draw sketches, which emphasize characteristic properties of a face. When drawing from life, the three-dimensional scene of the external world is transformed into a sequence of hand movements that produce a two-dimensional picture on the paper. When producing a line drawing portrait from a photograph of a face, the transfer is not from three-dimensional to two-dimensional, but from a picture coding brightness continuously into a graph showing mainly contours of areas with similar brightness.

With respect to neural processes involved, drawing an object is a complex visuo-motor task. Arm and hand are moved to reproduce a spatial arrangement of visual elements by applying motor routines in a tight sensorimotor interaction [3,4]. This sensorimotor interaction is especially centered on visual but also some somatosensory feedback. Visual feedback includes the developing drawing as well as the location and movements of the hand and pencil.

Copying a figure by drawing as opposed to tracing a figure is a common test of configurational apraxia because copying requires drawing visual elements in correct spatial relations to previously

* Corresponding author at: Functional Imaging Unit, Center for Diagnostic Radiology and Neuroradiology, University of Greifswald, Walther-Rathenau-Str. 46, 17475 Greifswald, Germany. Tel.: +49 3834 866899; fax: +49 3834 866898.
E-mail address: martin.lotze@uni-greifswald.de (M. Lotze).

0166-4328/$ – see front matter © 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2012.05.009

drawn parts. Such reproduction of allocentric spatial relations is not required in tracing, which involves target-centered movements only [5]. In the present fMRI study, we contrasted copying and tracing as it was done in previous studies [5–7], however, we examined a particularly difficult drawing task (copying real faces) and retained the task characteristics of visuo-motor coordination and somatosensory feedback. Participants could see their drawing movements and a pencil was used to draw on paper.

Copying an original differs from drawing from memory [3]. When the original to be drawn is available, the eyes alternate between the original and the drawing to minimize memory demands [4]. In many previous fMRI studies of drawing, the developing drawing and the drawing hand were invisible and thus, drawing proceeded without the typical alternating gaze pattern, without visual feedback, and without visual guidance for reaching and hand movements. Participants were asked to draw with a finger in the air that they could not see [8], to draw blindly [3], or to imagine drawing [9]. In some studies at least a cursor and the developing drawing were visible [6,7].

In a study by Gowen and Miall [3] and in the present study, participants drew with a pencil and visual feedback was provided in the scanner through a mirror. Thus, the drawing hand was visible, but eye-hand coordination during drawing had to be adapted similar to, for example, drawing with a mouse on a computer screen. Gowen and Miall's [10] participants were asked to draw simple and familiar shapes from memory. In contrast, in the present study, participants drew portraits with a characteristic alternation of gaze between the original photo of a face and the drawn portrait [4].

Copying a portrait foremost involves face perception. Core areas for face recognition [11] are the occipital face area (OFA) [12], the posterior superior temporal sulcus (pSTS) [13], and the fusiform face area (FFA) [14] in both hemispheres but lateralized to the right side [15]. The pSTS is especially important for evaluating socially relevant aspects of a face such as gaze [16] and monkeys with lesions in the posterior STS suffer from selective gaze recognition but are unimpaired in face recognition [17] - therefore, this structure might not be of high relevance when drawing a naturalistic portrait. Hence, we expect only involvement of the FFA and OFA as found in a fMRI experiment on copying line drawings of cartoon faces [3].

In copying faces, vision serves two functions. Vision is employed for encoding visual elements and spatial relations in the original, and second, vision as vision for action guides and monitors drawing movements. Scanpaths, measured with eye-movement recordings during drawing, reveal edge-following patterns along image contours [18]. By investigating eye and hand movements in beginner art students it has been shown that during copying of a linear caricature of a profile, the eyes alternate rhythmically between the pencil and the corresponding segment of the original [3,4]. Brain areas involved in the control of eye movements overlap with those controlling covert shifts of visual attention. In particular, the frontal eye fields (FEF) or the caudal superior frontal sulcus (cSFS) [19] support visuomotor control and attentional selection.

Vision for visuo-motor control depends on the dorsal visual pathway and medial parietal cortex [20]. Visually guided egocentric reaching predominantly involves the medial IPS [21]. Furthermore, the precuneus seems to support the planning of visually guided reaching and pointing movements [22–24]. Movements not directed towards a visual target but relative to a visual target (allocentric as required in drawing) involve the left intraparietal sulcus (fundus and posterior part), the right posterior parietal lobe (PPL) and the dorsal premotor cortex (dPMC) [5].

In addition to visually guided reaching, drawing requires the skilled handling of the drawing tool by applying motor engrams. Motor engrams are representations of complex motor patterns, which can be activated by execution, imagery, and observation of movements, specific to the patterns trained. In humans, this movement pattern representation is located predominantly in the ventral PMC and the inferior frontal gyrus (pars opercularis-BA44 and pars triangularis–BA 45) [25].

The execution of motor patterns is guided by visual, but also by sensorimotor feedback. Precise feedback of motor performance is of special importance in drawing. Drawing only with the fingers but without a pen involves bilateral primary somatosensory activation but also parietal activation in the superior parietal lobe (BA 5, 7), in the supramarginal gyrus (BA 40; which might overlap with S2-activation), and in the anterior cerebellar hemisphere [8]. All these areas are processing somatosensory feedback control.

1.2. Paradigm and hypotheses

In order to differentiate representation sites characteristic for the process of drawing, we applied functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) in twenty drawing-training-naive subjects during naturalistic and sketchy drawing of a face presented by a photograph. These two copying tasks were intended to reveal differences in the neural correlates of these two manners of drawing that are discerned in drawing classes. Sketchy as opposed to naturalistic copying involves more global visual analysis and a higher speed of movement. The two copying tasks were contrasted with a tracing task and with passive viewing.

By contrasting drawing against viewing of the face we expected activations reflecting motor control, visuomotor control, and sensorimotor control. Differences in visual areas and areas associated with shifting gaze and attention should be observed, too, because the developing drawing results in additional visual stimulation and the alternating gaze pattern occurs in the drawing conditions only.

By contrasting drawing against tracing with a pen we expected characteristic activation reflecting visuo-motor control that is not target-directed as in tracing. Tracing contours with a pen required visually guided motor action and the processing of sensorimotor feedback, however, only drawing required the allocentric encoding of visual features as motor plans that had to be transformed to be executed at another location. Furthermore, drawing but not tracing should produce additional visual stimulation by the developing drawing and the alternating gaze pattern.

2. Method

2.1. Subjects

Twenty, female students of different faculties, without history of neurological or psychiatric disease, were recruited by announcements at the University of Greifswald (mean age 22.45 years; SD = 3.07; ranging from 19 to 31). All participants were strongly right handed (M = 95.83, SD = 10.65) as assessed by the Edinburgh Handedness Inventory [26]. A questionnaire of experience in drawing revealed that participants had only attended art lessons in school (M = 9.55 years, SD = 4.17) but had not received any further training in drawing. The study was approved by the Ethics Committee of the Medical Faculty of University of Greifswald.

2.2. Tasks and materials

Participants were instructed before scanning about the tasks which included (1) passive viewing of the face ("explore the presented face passively"), (2) tracing the contour of the face and its elements with a pencil ("follow the contours of the face with the pencil on the tracing paper affixed above the photo"), (3) sketchy and characteristic drawing ("produce a characteristic and sketchy portrait"), (4) exact and naturalistic drawing ("produce a naturalistic drawing of the face as similar as possible to the presented picture"). For illustration of the paradigm see Fig. 1. The control tasks (tracing the contours and passive viewing) were performed once and the drawing tasks were performed twice. Different numbers of scans between conditions were considered in the statistical design calculation of fMRI-effects. The faces to be drawn or traced were six photographs of females and males (neutral faces selected form the Karolinska Directed Emotional Faces data base; Lundqvist, 1998).

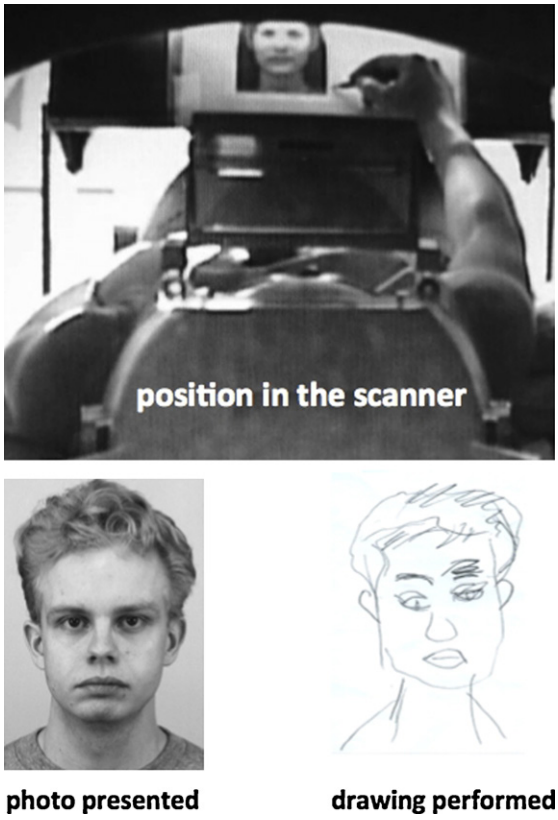


Fig. 1. Illustration of the paradigm: Top: rostral view of the position of the participant in the scanner while drawing. Bottom: left: example of a photo presented; right: example of a sketchy characteristic drawing performed in 90 s in the scanner.

Each face was shown as a 13 by 10 cm print on the left half of a 21 by 30 cm sized sheet of paper. On the right half, space for drawing was provided. The current task was indicated by a headline above the face. The sheets were attached to a scanner desk, which was installed above the subject's chest (see Fig. 1). The paper sheets with photos of the faces and space for drawing were viewed via a double-mirror system attached to the head coil about 10 cm above the eyes. A regular pencil was used for drawing on the paper. The desk position was adjusted to each participant's arm length. The right upper arm was supported by cushions to restrict arm movements during drawing. Moreover, the participant's head was stabilized by foam pads. The participant was instructed to keep the left hand in a relaxed position on the scanner couch. An experimenter standing near to the participant changed sheets and ensured correct performance during scanning. Colored light from a projector indicated activity and resting intervals. The participants were instructed to start with the next task when the light switched from blue to green and to continue until the light switched back to blue. Blue light signaled resting intervals lasting 30 s between tasks.

The passive viewing task, the tracing task, and sketchy drawing lasted 1.5 min each. For naturalistic drawing, 3 min were provided, of which the middle 1.5 min were used for statistical analyses. The conditions were presented in a pseudo-randomized order: the four conditions in random order followed by the second trials of the drawing conditions in random order. The presented faces were pseudo-randomized for the four conditions. Every participant drew four portraits during scanning, two naturalistic and two sketchy.

2.3. Scores and creativity test

Concentration, difficulty of the task and personal success (general drawing quality) during fMRI-tasks were assessed after scanning on a visual analogue scale (VAS; from 0 = "very bad" to 10 = "very good").

The "Test for creative thinking" (TSD-Z; [38]) was performed outside the scanner after fMRI-measurements. This test assesses the figural creative ability by providing irregularly arranged figural elements, starting from which complete figures should be drawn. The drawings were later evaluated based on 14 criteria on scales each ranging from 0 to 6 points. Fifteen participants (75%) completed this test. The drawings produced in the scanner (four per participant) were rated by two experts, both Professors of the Caspar David Friedrich Institute for fine arts of the University of Greifswald. Two items were scored on a 10 cm visual analogue scale: "realistic illustration of the face" for natural drawings and "realization of characteristics of the face" for sketchy drawings.

2.4. fMRI data acquisition

We measured with a 3 T whole body MRI-scanner (Siemens Verio, Erlangen, Germany) using a 32-channel headcoil. Both T1-weighted structural and T2*-weighted echo-planar images (EPIs) used for functional mapping were acquired. EPIs consisted of 320 whole brain volumes (TE 30 ms, TR 2 s, matrix size 64 × 64, flip angle 90°, 33 transversal slices with 3 mm thickness and 1 mm interslice gap). In addition, a T1-weighted anatomical image was acquired with the MPR sequence (TR 2.3 s, TE 3.93 ms, 160 axial slices 1 mm isovolumetric, flip angle 90°).

2.5. fMRI data evaluation

Data were analyzed with statistical parametric mapping software (SPM5, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London) running on Matlab version 7.4.0. (MathWorks, Inc., Natick, MA). We used the default-settings if not indicated otherwise. Unwarping of geometrically distorted EPIs was performed in the phase encoding direction using the FieldMap Toolbox available for SPM5. Realignment was used to correct for movement artifacts. Each time-series were realigned to the first image of each session and resliced. EPIs were coregistered to the T1-weighted anatomical image and T1-weighted images were segmented, which was the basis for spatial normalization in the Montreal Neurological Institute (MNI) space. Smoothing was performed with a 9 mm × 9 mm × 9 mm (full-width at half maximum (FWHM) Gaussian Kernel filter to increase the signal-to-noise-ratio. Movement parameters estimated during the realignment procedure were introduced as covariates of no-interest into the general linear model. For calculation of a first level statistic, the realignment parameters were used as additive regressors for each subject. A temporal high-pass filter (128 s) was applied to remove slow signal drifts. Individual statistical maps (fixed effect) of main effects (*naturalistic drawing, sketchy characteristic drawing*) and the control conditions (*passive viewing, tracing contours*) subtracted from the main effects were evaluated for each subject using the general linear model (task conditions vs. baseline conditions). In order to reduce influences of changing the paper on the drawing desk, we did not consider the first and the last scans of each condition for modeling the main effect. Of naturalistic drawing trials, which each lasted 3 min, the middle 90 s were used for the calculation of first level effects. First level contrast images of each subject were used for group statistics calculated as a random effect analysis at the second level. Effects between conditions were calculated with paired *t*-tests (Tables 1 and 2).

Location of significant representation sites was evaluated using the SPM Anatomy Toolbox Version 1.8 [27] and – for areas not yet available in Anatomy – using anatomical masks from Automated Anatomical Labeling (AAL) software [28]. Brain activations were superimposed on the Montreal Neurological Institute render brain and on the T1-weighted Colin's-single-subject brain. For the comparison between conditions, we report brain activations in preselected regions of interest selected from previous studies on functional representation during comparable tasks as introduced in the Introduction. These regions were the primary and secondary motor areas including the frontal eye field, cerebellar hemispheres, somatosensory cortex, occipital lobe, precuneus and cuneus, MT, middle and inferior temporal lobe including fusiform gyrus, superior and inferior parietal lobe, the cingulate gyrus, and Broca's area and its right hemispheric analogue. We plotted results for these areas with an intensity threshold of $p < .001$ and indicated when activations were significant at the $p < .05$ level (family wise error FWE) for the respective ROI in Tables 1 and 2.

3. Results

3.1. Behavior, ratings and testing

Maximal head movements during actual drawing in the scanner were smaller than 2 mm for all subjects. Participants rated both naturalistic ($M = 6.91$, SE = 2.06) and sketchy drawing ($M = 5.31$, SE = 2.21) as moderately difficult. However, it was easy for them to trace the contours ($M = 2.12$, SE = 1.92), suggesting that the difficulty was associated with their ability to draw and not with an uncomfortable position in the scanner. Overall, they were not very satisfied with the quality of their drawings (naturalistic: $M = 2.91$, SE = 1.74; sketchy: $M = 3.93$, SE = 1.89). In the "Test for creative thinking" (TSD), our students rated with average figural creativity scores ($M = 54.86$, SD = 12.51; average age matched reference population given for the test: $M = 60.60$, SD = 18.70; [38]). Four participants showed a performance below average, nine in the area of average, and only two in the area of above average. The drawings produced in the scanner, rated by experts, were rated poorly for the items most relevant for naturalistic drawing: "realistic illustration of the face" ($M = 1.02$, SE = 0.60) and for sketchy drawing: "realization of characteristics of the face" ($M = 2.30$, SE = 1.53).

Table 1

.

Activated areas	Naturalistic drawing minus viewing of the face					Sketchy drawing minus viewing of the face			
	Brodmann area	*t*-Value	Coordinates			*t*-Value	Coordinates		
			x	*y*	*z*		*x*	*y*	*z*
Motor areas									
Dorsal premotor cortex (dPMC) right	BA 6	5.43*	36	−6	54	5.68*	24	0	63
dPMC left	BA 6	5.88*	−24	−3	60	6.17*	−30	−12	66
Frontal eye field (FEF) right	BA 6/8	6.93*	30	0	51	3.61	27	15	51
Supplementary motor area									
SMA right	BA 6					8.07*	27	0	57
SMA left	BA 6					4.20	−6	12	51
Primary motor cortex									
M1 right	BA 4	5.54*	60	−15	27				
M1 left	BA 4	5.03*	−36	−15	57	3.92*	−33	−21	57
Cerebellar hemisphere right	Lobule VI	4.85*	15	−51	−18	8.07*	27	0	57
	L VIII					5.98*	39	−66	−33
Somatosensory areas									
Somatosensory cortex right	BA 2	4.88*	36	−39	51	7.71*	33	−42	54
Second somatosensory areas (S II)	OP4	5.54*	60	−15	27	3.44*	63	−18	27
Parietal lobe									
SPL right	BA 7					7.67*	27	−57	48
Ventral intraparietal sulcus		3.70	39	−39	42	6.34*	30	−60	45
Anterior intraparietal sulcus		4.43*	42	−36	48	5.87*	42	−33	48
precuneus						4.34	−15	−60	57
Visual cortex									
Occipital right (OFA)	BA 19	4.90*	21	−63	−15	4.35*	33	−76	35
Broca's area and analogue									
Inferior frontal gyrus left	BA 44	3.78	−54	6	27				
Inferior frontal gyrus right	BA 44					7.10*	57	9	33
Inferior frontal gyrus right	BA 45	4.00	60	18	6	4.55*	45	39	12
Temporal lobe									
Medial temporal (MT)	V5	3.45*	42	−63	3	4.97*	42	−66	3
						5.91*	−39	−63	6
Fusiform gyrus left (FFA)		3.49	−27	−57	−18				
Fusiform gyrus right (FFA)		4.76*	24	−63	−15	4.84*	21	−51	-15
Right inferior temporal						5.20*	45	−63	−6
Right middle temporal						4.97*	42	−66	3
Left middle temporal						5.91*	−39	−63	6

* $p < 0.05$ FWE corrected for selected ROI.

3.2. fMRI-activation

As expected, drawing minus passive viewing of the face showed increased activation in bilateral primary and secondary motor areas, right primary and secondary somatosensory cortex and right cerebellar hemisphere, ipsilateral to the drawing hand. More remarkably, the right occipital lobe was also increasingly involved during drawing. Increased right parietal activation during drawing in comparison to passive viewing was predominantly focused on the superior anterior part of BA 7 and around the intraparietal sulcus. Inferior frontal activation in the right BA 44/BA 45 showed only a significant increase for the sketchy drawing condition. Whereas naturalistic drawing involved increased resources in the right fusiform face area, increased resources for sketchy

Table 2

.

Activated areas	Naturalistic drawing minus tracing contours					Sketchy characteristic drawing minus tracing contours			
	Brodmann area	*t*-Value	Coordinates			*t*-Value	Coordinates		
			x	*y*	*z*		*x*	*y*	*z*
V1/V2 left	BA 17/18	6.16*	−18	−63	12	6.92*	−18	−69	18
V1/V2 right	"	5.00*	9	−72	18	3.32	21	−72	15
cuneus right	BA 31	5.39*	6	−72	21	4.00	21	−66	24
cuneus left	BA 31	5.75*	−18	−63	18	4.89*	−15	−72	21
precuneus right	BA 7	5.30*	18	−63	27	4.07	21	−63	24
precuneus left	BA 7	4.39	−12	−66	36				
supplementary motor area (SMA)	BA 6	4.85	12	3	54				
fusiform gyrus right (FFA)	BA 37	3.76	39	−12	−27				
temporal inferior right	BA 21	4.00*	51	−18	−18	3.64	51	−21	−18
parahippocampus		3.33	18	−3	−21				
ventral intraparietal area (VIP)	BA 7					3.79	30	−51	42

* $p < 0.05$ FWE corrected for selected ROI.

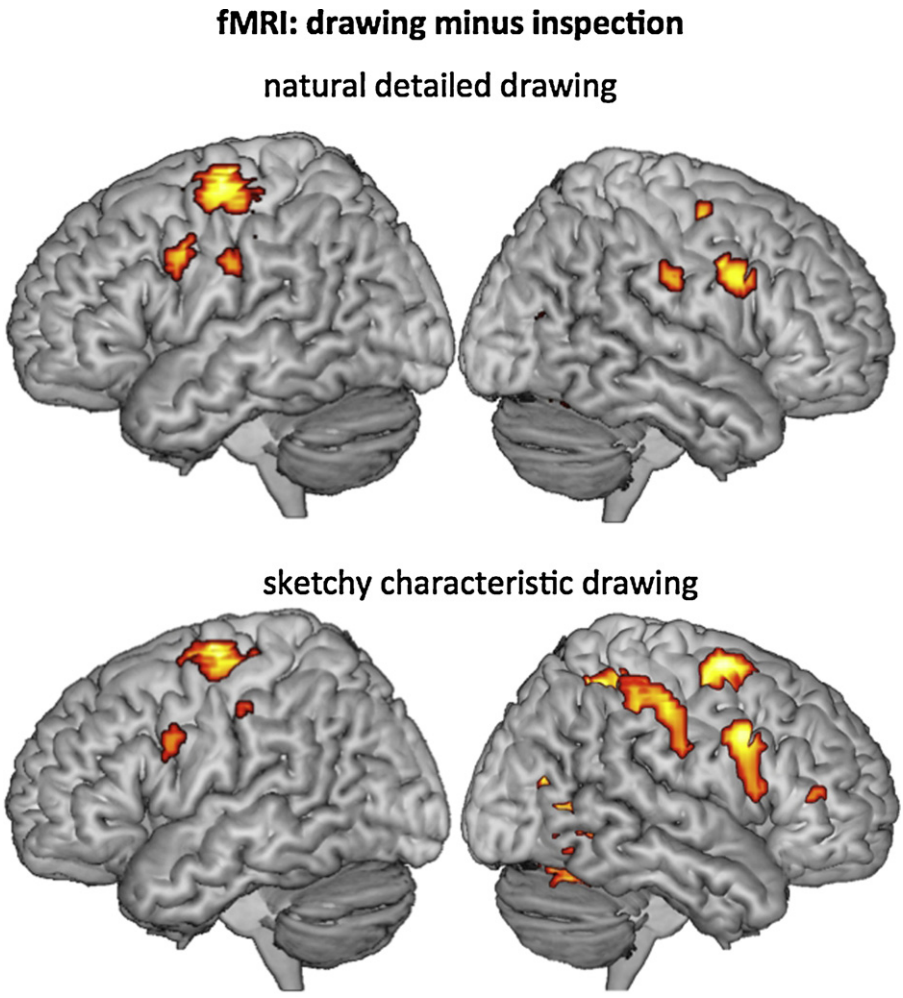


Fig. 2. Functional representation from the contrast with viewing of the face projected on the lateral views of the segmented MNI reference brain with a significance level of $p < 0.001$, uncorrected. Top: naturalistic drawing; bottom: characteristic sketchy drawing. For an exact listing of these representation sites see Table 1.

drawing were also located in more superior temporal areas (see Table 1 and Fig. 2).

The comparison drawing (naturalistic or sketchy) minus tracing with a pencil showed activations predominantly in primary visual areas, the medial occipital and parietal lobe (cuneus and right precuneus). Additional activation was seen in the inferior temporal lobe predominantly right sided (see Fig. 3, Table 2).

Naturalistic minus sketchy drawing showed increased activation in the medial cingulate (MNI-coordinates: 9, 0, 36; $t = 6.76$); sketchy drawing showed no significant increase of activation compared to naturalistic drawing.

4. Discussion

Our aim was to investigate the neural correlates of drawing a portrait including associated motor and sensorimotor processes involved. To this end, we compared drawing naturalistic and sketchy portraits from photos of neutral faces with tracing the contours of the faces with a pencil or passive viewing of the faces in 20 naive participants. We overcame the problem of head movements occurring during actual drawing by constructing a special fMRI compatible table. Thus, we could study a real portrait drawing task allowing for the characteristic alternating gaze pattern between the original and the drawing, and visuo-motor as well as sensorimotor control in an almost natural setting.

Overall, drawing compared to passive viewing did activate the bilateral somatosensory/motor network but did also increasingly recruit areas involved in visual processing located in the right occipital (occipital face area, OFA), MT, and the inferior temporal cortex (fusiform face area, FFA). Areas, which have been associated with attention and selection processes (FEF, cSFS) in the right hemisphere, showed higher activation during drawing than passive viewing of the face as well. Furthermore, increased involvement of vPMC and BA44 point to a recruitment of highly overlearned motor patterns associated with using the pen.

Copying compared to tracing involved the precuneus, the cuneus, and primary visual areas. The precuneus activation presumably resulted from the planning and execution of visually guided hand movements reproducing spatial relations based on working memory.

4.1. Copying vs. passive viewing

Not surprisingly, drawing activated primary and secondary motor areas more strongly than passive viewing. Overall, the motor representations are comparable to those reported in the study of Makuuchi et al. [8], in which the participants had to draw known objects with their fingers. The motor representation during drawing was bilateral and involved predominantly M1, the SMA, and dPMC. However, more pronounced during sketchy drawing, we found a lateralization to the contralateral hemisphere of the drawing hand on the level of the primary motor cortex (M1) and to the ipsilateral side in the anterior cerebellar hemisphere. Anterior cerebellar areas have been described to be predominantly involved in

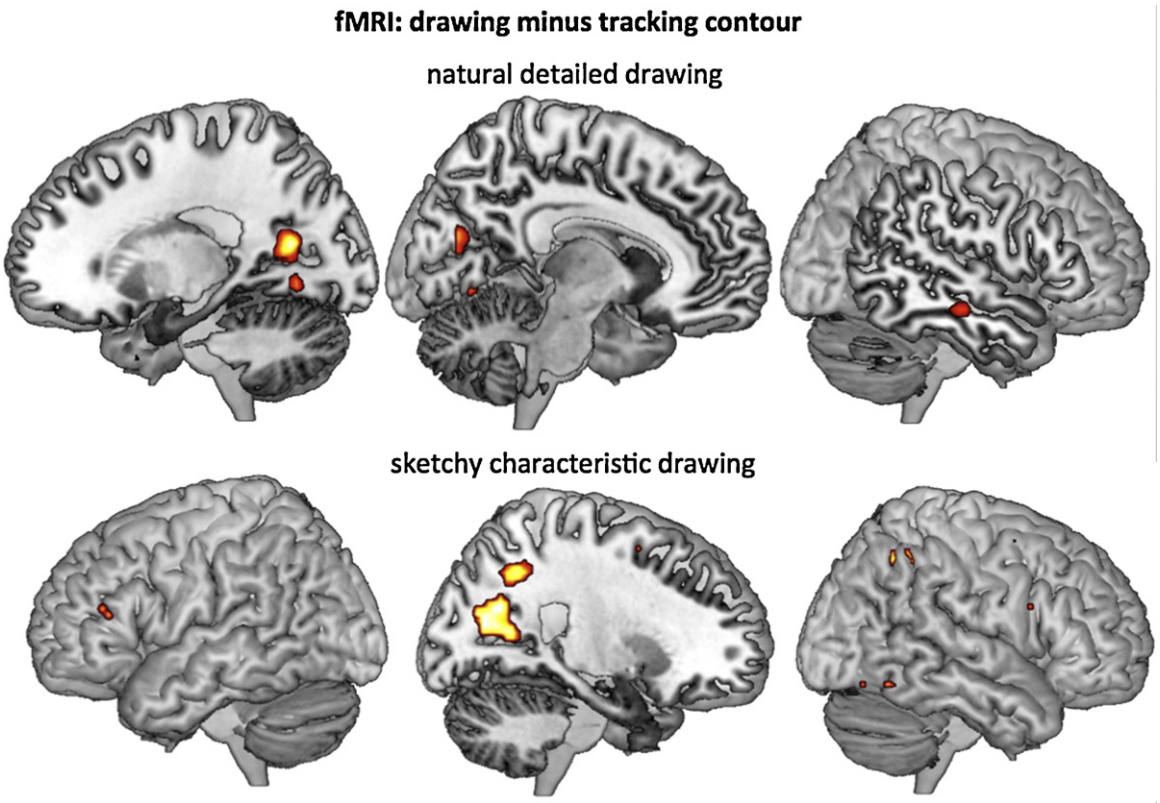


Fig. 3. Functional representation from the contrast with the tracing of the contours of the face projected on medial cuts and lateral views of the segmented MNI reference brain with a significance level of $p < 0.001$, uncorrected. Top: naturalistic drawing; bottom: characteristic sketchy drawing. Positions of slices are provided in the *x*-direction. For an exact listing of these representation sites see Table 2.

somatosensory-motor updating [29–31], which is highly important during both actual drawing and tracing a contour.

Using a pen for drawing engages overlearned movement patterns for reproducing features of the original. Our study and previous studies point to a fronto-parietal network essential for this process. This involves the superior parietal lobe (SPL), ventral premotor cortex (vPMC) together with parts of the inferior frontal gyrus (BA 44, BA 45) both predominantly located in the right hemisphere. These areas are crucially involved in imitation learning (for an overview see [32]) and the vPMC contains neurons processing motor engrams of highly overlearned movements [33]. These activations might therefore reflect the access of highly overlearned movement patterns during working with the pen. Harrington et al. investigated participants during imagined drawing and interpreted observed BA 44 activation as a semantic retrieval because the same area showed activation during writing the name of the object [9]. It might well be that BA44 activation in their task was induced by the imagery task, since it has been shown that BA 44 is highly active even during imagining simple hand movements [25].

The two-fold involvement of vision in drawing brings about eye movements and attention shifts that are in part independent of hand movements, and second, linked to hand movements for visuo-motor guidance. Independent of hand movements, alternating between the original and the drawing [4] was reflected in a bilateral but right lateralized activation cluster encompassing the dPMC, FEF, and the cSFS. Visual processing for face perception activated the right OFA and the right FFA more strongly in drawing than in passive viewing. In both hemispheres these areas are core areas for face recognition [14] but activation in these areas during face perception is usually lateralized to the right side [15]. In a previous mapping study on a linear copying task of cartoon faces, Miall et al. found the FFA and OFA being active as well [3]. Subdividing a face into characteristic elements that can be later reproduced in a motor action is supposed to require detailed analytic visual processing that is not induced by passive viewing. Moreover, a second face was produced during drawing, which presumably increased visual stimulation. Interestingly, MT was increasingly active during drawing, too. This difference was absent if drawing was compared with tracing and therefore probably resulted from visual stimulation by the moving hand.

In our paradigm, eye movements and visual processing during drawing that were independent of hand movements cannot be discerned from those that subserve visuo-motor control. However, previous studies on visually guided reaching and pointing have identified the medial intraparietal sulcus and the dPMC as particularly associated with visuo-motor control of hand movements [20,21]. Thus, the activation of the intraparietal sulcus that was particularly strong for sketchy drawing presumably reflects involvement of the dorsal stream in visuo-motor control.

4.2. Copying vs. tracing contours

For drawing contrasted with tracing, we observed bilateral activation in the cuneus and precuneus. The precuneus has multiple functions [34] and can be subdivided in areas with differing functional connectivity [35]. Connectivity data were interpreted to suggest an anterior to posterior division in three functionally separable areas: an anterior area subserving sensorimotor processing, a posterior area involved in visual processing, and a central area connected to dorsolateral prefrontal cortex, the inferior parietal lobule, and the angular gyrus. The central area was ascribed cognitive functions encompassing working memory and action planning. Ventrally adjacent to these precuneus areas, the posterior cingulate is connected to limbic structures in temporal and frontal cortices,

and may be responsible for the reported precuneus involvement in episodic memory retrieval.

Among the previous fMRI studies that have reported precuneus activations, which include studies on actual drawing and tracing [3,6,10], presumably those studying visually guided planning of reaching and pointing movements and those studying spatial working memory clarify the critical task demands of copying as opposed to tracing. Precuneus activations have been previously observed when reaching and pointing movements had to be planned to visually encoded targets that were invisible when the movements were executed [22,23,36]. Such planning is required in copying because in copying as opposed to tracing, visually guided hand movements are not directed to visible targets. In copying, hand movements reproduce visual features of the original at locations specified relative to already copied features in the drawing. Thus, higher activation of the precuneus in drawing compared to tracing with a pen is also consistent with the precuneus' involvement in selecting relative locations in spatial working memory [19].

Ferber et al. [6] have also contrasted copying with tracing and have found higher precuneus activation for tracing. Note, however, that their tracing task required following a replay of the participant's previous drawing movements that were shown as a developing line on a screen. Hence, time pressure might have increased the task demands of tracing performed as tracking with coordinated eye and hand movements [37] or the replay may have induced episodic memory retrieval.

Higher activation in primary visual areas in copying as opposed to tracing presumably resulted from both more analytic visual processing while copying and additional visual stimulation.

4.3. Naturalistic vs. sketchy drawing

In amateurs the two different ways of drawing a portrait did not reveal substantial differences. Behaviorally, limited quality reflected in ratings of the drawings suggest that the participants were not capable of performing a differentiated drawing technique. Only medial cingulate gyrus was more strongly involved during naturalistic than during sketchy drawing when both were directly contrasted, which might reflect an increased monitoring effort during creating a more detailed drawing [3]. In the contrasts comparing drawing with passive viewing, higher SMA and cerebellar activations were observed for sketchy drawing. Probably, these reflect the higher speed of movement during sketchy drawing [10].

4.4. Conclusion and outlook

In the present study we identified neural correlates of different aspects of drawing a portrait in an almost natural setting. Copying involves visual analysis reflected in activation in face specific perception areas located in the right occipital and inferior temporal gyrus. Eye movements and attentional selection processes activated the FEF and cSFS. Copying furthermore requires vision for action to guide the application of motor patterns. Visuo-motor control recruited dPMC and posterior parietal areas including the ventral intraparietal sulcus. Cortical areas processing motor engrams necessary for overlearned motor processes during usage of the pen were identified in the right ventrolateral prefrontal gyrus. Right cerebellar lobe and right anterior SPL activation point to sensorimotor control of motor performance and somatosensory processing. The precuneus activation observed for copying as opposed to tracing presumably resulted from the demands to plan visually guided hand movements in correct spatial relations based on spatial working memory. In amateurs, naturalistic and sketchy drawing hardly differed. Yet, we expect to find differences in a group of more experienced drawers with this paradigm that retains the features of an actual complex drawing task.

Acknowledgements

We thank M. Soltau and U. Puritz from the Caspar David Friedrich Institute of the University of Greifswald for rating the drawings. ML was supported by a grant from the DFG (LO-795).

References

[1] Morris D. The biology of art: a study of the picture-making behaviour of the great apes and its relationship to human art. New York: Knopf; 1962.
[2] Iversen IH, Matsuzawa T. Visually guided drawing in the chimpanzee (Pan troglodytes). Japanese Psychological Research 1996;38:126–35.
[3] Miall RC, Gowen E, Tchalenko J. Drawing cartoon faces—a functional imaging study of the cognitive neuroscience of drawing. Cortex 2009;45:394–406.
[4] Tchalenko J, Chris Miall R. Eye-hand strategies in copying complex lines. Cortex 2009;45:368–76.
[5] Thaler L, Goodale MA. Neural substrates of visual spatial coding and visual feedback control for hand movements in allocentric and target-directed tasks. Frontiers in Human Neuroscience 2011;5:92.
[6] Ferber S, Mraz R, Baker N, Graham SJ. Shared and differential neural substrates of copying versus drawing: a functional magnetic resonance imaging study. Neuroreport 2007;18:1089–93.
[7] Ogawa K, Inui T. The role of the posterior parietal cortex in drawing by copying. Neuropsychologia 2009;47:1013–22.
[8] Makuuchi M, Kaminaga T, Sugishita M. Both parietal lobes are involved in drawing: a functional MRI study and implications for constructional apraxia. Cognitive Brain Research 2003;16:338–47.
[9] Harrington GS, Farias D, Davis CH, Buonocore MH. Comparison of the neural basis for imagined writing and drawing. Human Brain Mapping 2007;28:450–9.
[10] Gowen E, Miall RC. Differentiation between external and internal cuing: an fMRI study comparing tracing with drawing. Neuroimage 2007;36:396–410.
[11] Haxby JV, Hoffman EA, Gobbini MI. The distributed human neural system for face perception. Trends in Cognitive Sciences 2000;4:223–33.
[12] Gauthier I, Tarr MJ, Moylan J, Anderson AW, Skudlarski P, Gore JC. Does visual subordinate-level categorisation engage the functionally defined fusiform face area. Cognitive Neuropsychology 2000;17:143–64.
[13] Puce A, Allison T, Bentin S, Gore JC, McCarthy G. Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. Journal of Neuroscience 1998;18:2188–99.
[14] Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. Journal of Neuroscience 1997;17:4302–11.
[15] Sergent J, Ohta S, MacDonald B. Functional neuroanatomy of face and object processing. A positron emission tomography study. Brain 1992;115(Part 1):15–36.
[16] Allison T, Puce A, McCarthy G. Social perception from visual cues: role of the STS region. Trends in Cognitive Sciences 2000;4:267–78.
[17] Heywood CA, Cowey A. The role of the 'face-cell' area in the discrimination and recognition of faces by monkeys. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences 1992;335:31–7. Discussion 7–8.
[18] Coen-Cagli R, Coraggio P, Napoletano P, Schwartz O, Ferraro M, Boccignone G. Visuomotor characterization of eye movements in a drawing task. Vision Research 2009;49:810–8.
[19] Bledowski C, Rahm B, What Rowe JB. works in working memory? Separate systems for selection and updating of critical information. Journal of Neuroscience 2009;29:13735–41.
[20] Culham JC, Cavina-Pratesi C, Singhal A. The role of parietal cortex in visuomotor control: what have we learned from neuroimaging. Neuropsychologia 2006;44:2668–84.
[21] Prado J, Clavagnier S, Otzenberger H, Scheiber C, Kennedy H, Perenin MT. Two cortical systems for reaching in central and peripheral vision. Neuron 2005;48:849–58.
[22] Astafiev SV, Shulman GL, Stanley CM, Snyder AZ, Van Essen DC, Corbetta M. Functional organization of human intraparietal and frontal cortex for attending, looking, and pointing. Journal of Neuroscience 2003;23:4689–99.
[23] Connolly JD, Andersen RA, Goodale MA. FMRI evidence for a 'parietal reach region' in the human brain. Experimental Brain Research 2003;153:140–5.
[24] Karnath HO, Perenin MT. Cortical control of visually guided reaching: evidence from patients with optic ataxia. Cerebral Cortex 2005;15:1561–9.
[25] Binkofski F, Amunts K, Stephan KM, Posse S, Schormann T, Freund HJ, et al. Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study. Human Brain Mapping 2000;11:273–85.
[26] Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia 1971;9:97–113.

[27] Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, et al. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. Neuroimage 2005;25:1325–35.
[28] Tzourio-Mazoyer N, Landeau B, Papathanassiou D, Crivello F, Etard O, Delcroix N, et al. Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. Neuroimage 2002;15:273–89.
[29] Ito M. The modifiable neuronal network of the cerebellum. Japanese Journal of Pharmacology 1984;34:781–92.
[30] Gao JH, Parsons LM, Bower JM, Xiong J, Li J, Fox PT. Cerebellum implicated in sensory acquisition and discrimination rather than motor control. Science 1996;272:545–7.
[31] Grodd W, Hulsmann E, Lotze M, Wildgruber D, Erb M. Sensorimotor mapping of the human cerebellum: fMRI evidence of somatotopic organization. Human Brain Mapping 2001;13:55–73.
[32] Binkofski F, Buccino G. The role of ventral premotor cortex in action execution and action understanding. Journal of Physiology and Pharmacology 2006;99:396–405.
[33] Rijntjes M, Dettmers C, Buchel C, Kiebel S, Frackowiak RS, Weiller C. A blueprint for movement: functional and anatomical representations in the human motor system. Journal of Neuroscience 1999;19:8043–8.
[34] Cavanna AE, Trimble MR. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. Brain 2006;129:564–83.
[35] Margulies DS, Vincent JL, Kelly C, Lohmann G, Uddin LQ, Biswal BB, et al. Precuneus shares intrinsic functional architecture in humans and monkeys. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2009;106:20069–74.
[36] Ferraina S, Garasto MR, Battaglia-Mayer A, Ferraresi P, Johnson PB, Lacquaniti F, et al. Visual control of hand-reaching movement: activity in parietal area 7 m. European Journal of Neuroscience 1997;9:1090–5.
[37] Miall RC, Reckess GZ, Imamizu H. The cerebellum coordinates eye and hand tracking movements. Nature Neuroscience 2001;4:638–44.
[38] Urban, Jellen. Test for creative thinking-Drawing (Test zum schöpferischen Denken – Zeichnerisch; TSD-Z). Frankfurt, Germany: Swets Test Services; 1995.