



Universität Trier

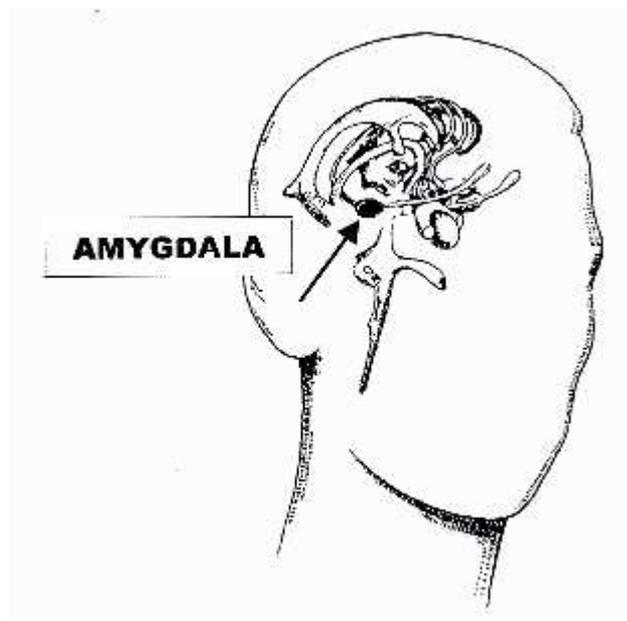
17.06.2002

Fachbereich I Psychologie

Skript: *Funktionelle Neuroanatomie*

Thema: *Die Amygdala*

DIE AMYGDALA



Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	3
2 Stimulations- und Läsionsstudien.....	3
3 Subarchitektur.....	4
3.1 Die größeren neuralen Bahnen.....	5
4 Die Kerne in Einzelnen.....	6
4.1 Die tiefen Kerne.....	6
4.1.1 Nucleus lateralis (L).....	6
4.1.2 Nucleus basalis (B).....	6
4.1.3 Nucleus basalis accessory (AB).....	7
4.1.4 Nucleus paralaminaris (PL).....	7
4.2 Oberflächenkerne.....	7
4.2.1 Nucleus corticalis anterior (COa).....	7
4.2.2 Nucleus medialis (M).....	7
4.2.3 Nucleus des lateralen olfaktorischen Traktes (NLOT).....	8
4.2.4 Kortex periamygdaloidum (PAC).....	8
4.2.5 Nucleus corticalis posterior (COp).....	8
4.2.6 Nucleus centralis (CE).....	8
4.3 Die übrigen Kerne.....	8
4.3.1 Area amygdaloidum anterior (AAA).....	8
4.3.2 Area amygdalohippocampalis (AHA).....	9
4.3.3 Nuclei intercalated (I).....	9
5 Literatur.....	9

Vorbemerkungen

Keine.

1 Einführung

Die Amygdala wurde aufgrund ihrer Form benannt nach dem griechischen Wort für Mandelkern. Sie liegt beiderseits anterior im Temporallappen des Gehirns.

Man kann die Amygdala in ungefähr ein Dutzend Kerne untergliedern, von denen jeder für sich eigene cytologische, histochemische und konnektionistische Eigenschaften besitzt.

Funktional wird die Amygdala vor allem mit Emotionen in Verbindung gebracht. Ursprünglich hatte man eine Vielzahl unterschiedlicher (uni- und polymodaler) sensorischer Afferenzen in die Amygdala gefunden. Zusammen mit den intensiven Verbindungen zu verschiedenen autonomen Zentren in Zwischen- und Mittelhirn, wurde alsbald vermutet, dass sie besonders an der Aktivierung affektiver Zustände beteiligt ist durch externale Reize.

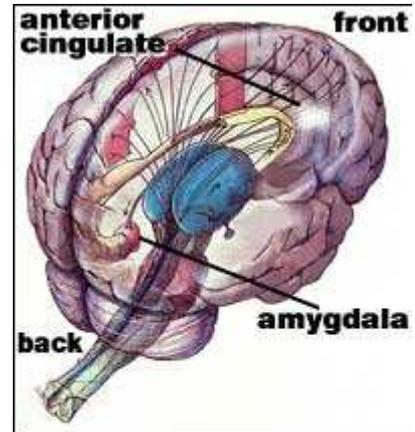


Abbildung 1

Später musste diese Vorstellung differenziert werden und heute erkennen wir, dass diese kleine Struktur an einer Vielzahl von Aufgaben beteiligt ist. Um es mit den Worten von AMARAL, PRICE und Kollegen (1992) zu sagen:

„... the Amygdala has a myriad routes through which it can influence behaviour. Unfortunately the precise function or functions of the primate amygdala remains a matter of conjecture.“

Denn die Amygdala reguliert nicht nur Emotionen, sie ist auch beteiligt an Gedächtnisprozessen; ihre Beziehung zu den Basalganglien nutzt sie zur Manipulation motorischer Vorgänge; sie ist stark verknüpft mit autonomen Zentren im Hirnstamm; und sie steht auch in Verbindung mit neokortikalen Gebieten, weshalb ihr immer wieder Einflüsse auf Aufmerksamkeits- und andere kognitive Prozesse nachgesagt werden.

2 Stimulations- und Läsionsstudien

Im Tierexperiment ergeben Stimulationen medialer und lateraler Anteile der Amygdala unterschiedliche Reaktionen.

Reizungen der corticomediale Bereiche führen zu Schmatzen, Speichelfluss, Lecken und Kaubewegungen; Darm und Blase können dabei entleert werden, in Verbindung mit einer Abnahme willkürlicher Bewegungen.

Im basolateralen Bereich zeigt sich oft ein erhöhtes Arousal und Anzeichen verstärkter Aufmerksamkeit. Das Tier hebt den Kopf, die Pupillen weiten sich und es sieht um sich. Man sieht auch entsprechende Veränderungen im EEG.

Stärkere Reizungen führen oft zu dramatischen Effekten. Anzeichen großer Furcht oder Wut sind beobachtbar.

Im Zusammenhang chirurgischer Eingriffe am Gehirn wurden Bereiche des Temporallappens lokal anästhesiert. Es zeigte sich eine große Anzahl autonomer und emotionaler Reaktionen (BRODAL 1992). Am Häufigsten wurde ein Gefühl der Furcht berichtet, aber auch erinnerungsähnliche Halluzinationen und Deja-vu Effekte.

Ähnliche Reaktionen (Furcht und Haluzinationen) wurden hervorgerufen durch Stimulation von temporalen kortikalen Arealen, die Verbindungen zur Amygdala unterhalten sollen. Ebenfalls ein vages Angstgefühl berichten Epileptiker kurz vor einem Anfall, der im Temporallappen beginnt.

Darüber hinaus zeigte LEDOUX (1990) im Tierversuch, dass die Amygdala ganz wesentlich an der Konditionierung emotionaler (Furcht-)Reaktionen beteiligt ist, indem sie die Reiz-Verstärker-Assoziation herstellt. AGGLETON (1993) warnt jedoch vor einer überstrapazierten Interpretation dieser tierexperimentellen Befunde, sie seien nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragbar:

„Clearly a damage can alter emotionality in humans, but it need not produce the dramatic changes observed in monkeys“ (AGGLETON 1993).

Obwohl die Amygdala generell keine Effekte auf die Gedächtnisleistung haben scheint, so läßt sich dennoch vermuten, daß sie am Wiedererkennen von Gesichter beteiligt ist. Ebenso scheint sie eine Rolle zu spielen bei der Erkennung prosodischer Aspekte der Sprache.

3 Subarchitektur

Die Struktur der Amygdala ist von Spezies zu Spezies verschieden. Auch zwischen Säugetieren lassen sich Unterschiede beobachten, was die Interpretation tierexperimenteller Befunde natürlich erschwert (HALL 1972). Insbesondere scheint dies für die interne Struktur des lateralen Kerns zu gelten.

Gemessen an ihrer strukturellen Komplexität und dem eher bescheidenen Forschungsaufwand ist die Amygdala zur Zeit noch schlecht kartiert. Es gibt eine Reihe von Versuchen Ordnung ins Chaos zu bringen. Die Nomenklatur, die Abgrenzung und Einteilung der einzelnen Kerne ist noch einer Entwicklung unterworfen, die jede Darstellung mehr oder weniger vorläufig machen. Diese Darstellung orientiert sich an AMARAL, PRICE ET AL. (1992). Zuerst sollen aber auch andere nützliche Einteilungen angesprochen werden.

Die phylogenetisch älteren (kleineren) corticomediale Gebiete werden unterteilt in die zentralen, medialen und kortikalen Kerne. Die jüngeren basolateralen Kerne lassen sich in die Bereiche lateral

und basal einteilen (KAADA 1972). Dieser Bereich der Amygdala ist wesentlich größer, als der corticomediale und steht stärker mit dem Neokortex in Verbindung, während die älteren Bereiche auch eher mit älteren Strukturen in Verbindung stehen, wie dem bulbus olfactorius, dem Hirnstamm und dem Hypothalamus.

Vereinfacht könnte man sagen, der corticomediale Bereich ist vor allem mit dem Riechkolben verknüpft, mit dem Hypothalamus und den viszerale Kernen im Hirnstamm. Er spielt eher eine Rolle bei der Kontrolle autonomer Funktionen (BRODAL 1992).

Das basolaterale Gebiet nimmt an Größe zu von niederen zu höheren Säugetieren. Seine Verknüpfungen mit dem (v.a. ventralen) Striatum, dem Thalamus und Teilen des Neokortex legen eine Beteiligung an bewussten Prozessen nahe, die in Zusammenarbeit mit den präfrontalen und temporalen Kortex ausgeführt werden (BRODAL 1992).

Die Darstellung, die hier weitergeführt werden soll, unterscheidet zwischen den tiefen (lateral, basal, **accessory** basal) gefolgt von den Oberflächen-Kernen (nucleus corticalis anterior, nucleus medialis, nucleus des lateralen olfaktorischen Traktes, periamygdolider Kortex, nucleus posterior) und schließlich dem Nucleus centralis und den verbleibenden amygdoliden Kernen (Area amygdaloidum anterior, area amygdohippocampalis, nuclei **intercalated**).

4 Neurale Verknüpfungen

4.1 Die größeren Nervenbahnen

Der amygdaloide Komplex verfügt über zwei größere extrinsische Bahnensysteme: den ventralen amygdalofugalen Pfad und die Stria terminalis. Der ventrale amygdalofugale Pfad umfasst Stränge, die die Amygdala durch ihre dorsomediale Kante (bes. rostral) verlassen oder betreten. Dagegen besteht die Stria terminalis aus Strängen, die sich im ventromedialen Teil der caudalen Amygdala treffen und von dort aus caudal weiterziehen direkt über dem lateralen Ventrikel. Man kann die beiden aber schwer als voneinander abgrenzbare Systeme deuten, da Stränge vom einen System ins andere kreuzen oder Efferenzen auch direkt in beide ausgesandt werden.

Die Stria terminalis und der amygdalofugale Pfad projizieren vor allem auf subkortikale Gebiete. Daneben gibt es noch weitere vielfältige Verknüpfungen mit dem Neokortex. Sowohl diese amygdalofugalen, als auch die amygdalopetalen Verbindungen ziehen durch die capsula externa, die lateral ventral an die Amygdala angrenzt. Solche amygdalocorticalen Verbindungen sind zwar bereits seit 45 Jahren bekannt (WHITLOCK & NAUTA 1956), aber dennoch sind die funktionalen Einflüsse der Amygdala auf den Kortex noch weitgehend unklar (AMARAL, PRICE ET AL. 1992).

Die Amygdala hat aber auch intrinsisch einige größere Nervenbündel. Der Einfachheit halber geben AMARAL, PRICE ET AL. (1992) diesen folgende Namen. Das mediale Bündel trennt den Nucleus medialis vom Nucleus centralis und dem Nucleus basalis **accessory**. Das **intermediate** Bündel trennt

den Nucleus basalis und den Nucleus basalis **accessory** voneinander, das laterale Bündel den Nucleus basalis und den lateralis. Im anterioren Bereich der Amygdala gibt es ein Nervenbündel, das medial an der Grenze des Nucleus basalis parvocellularis entlangläuft (ventrales Bündel). Der Nucleus centralis ist umgeben von dicken Nervenbündeln; Teile davon teilen den centralis ein in einen medialen und einen lateralen Teil.

4.2 Intrinsische Bahnen (Abbildung)

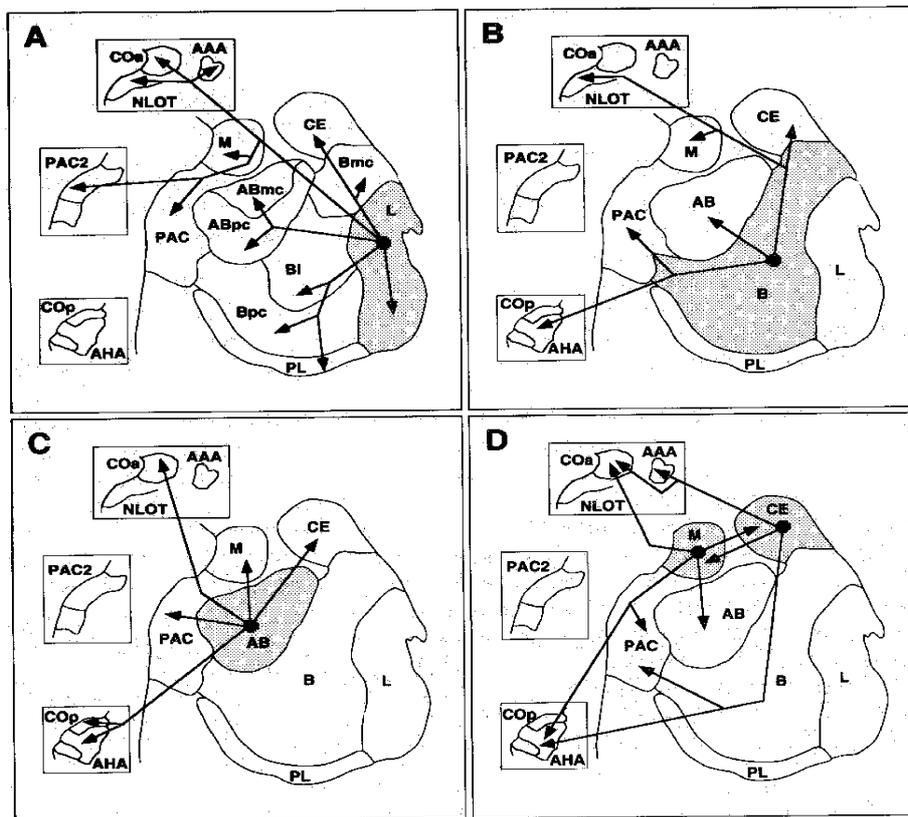


Abbildung 2 - die größeren intrinsischen Verbindungen (aus Amaral, Price et al. 1992)

4.3 Amygdalo-hippocampale Verbindungen (Abbildung)

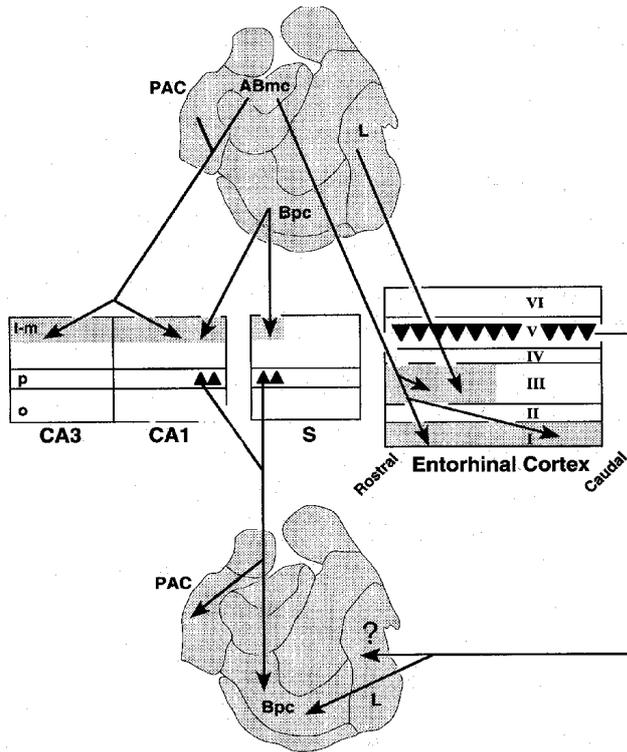


Abbildung 3 - Verbindungen der Amygdala zur hippocampalen Formation (aus Amaral, Price et al. 1992)

4.4 Amygdalo-kortikale Verbindung über den medio-dorsalen Thalamus (Abbildung)

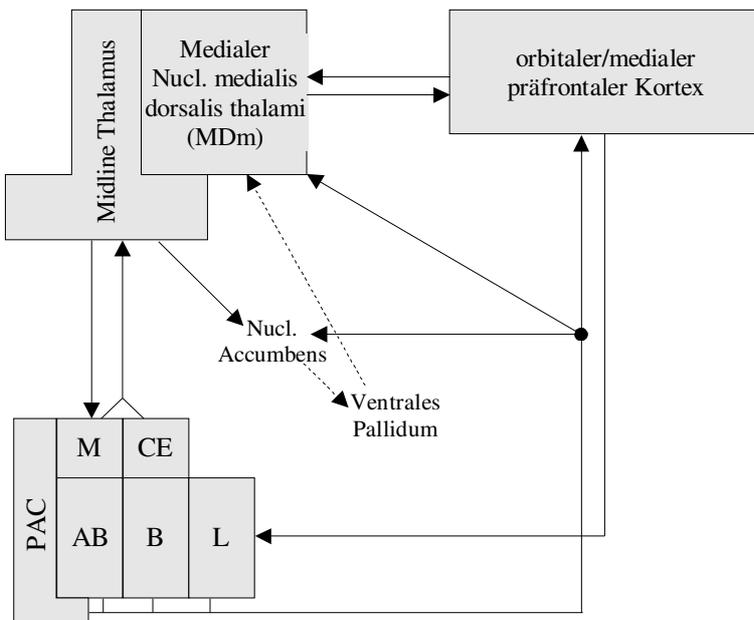


Abbildung 4 - Amygdalo-kortikale Verbindungen über den Nucleus medio-dorsalis Thalami (nach Amaral, Price et al. 1992)

4.5 Die Amygdala und der visuelle Kortex (Abbildung)

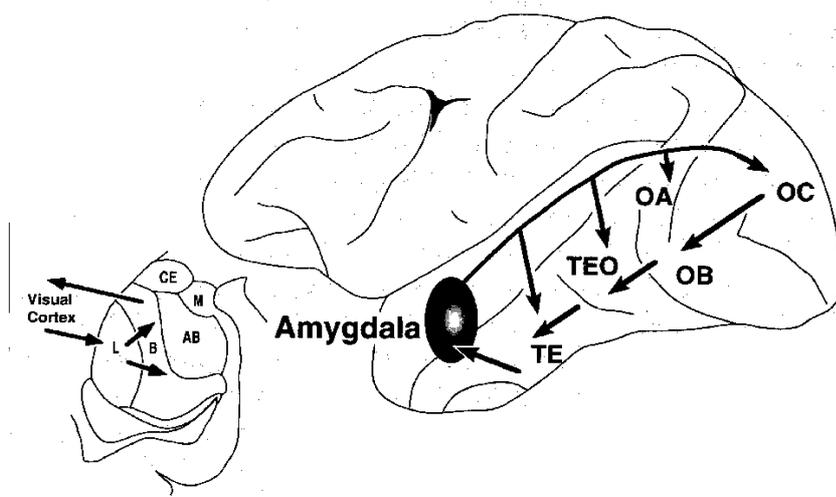


Abbildung 5 - Verbindungen mit visuellen Arealen des Neokortex (aus Amaral, Price et al. 1992)

5 Die Kerne in Einzelnen

Die Nomenklatur richtet sich nach AMARAL, PRICE ET AL. (1992). Dort findet man darüber hinaus auch eine famose Gegenüberstellung verschiedener Einteilungen und Nomenklaturen.

5.1 Die tiefen Kerne

5.1.1 Nucleus lateralis (L)

Cytoarchitektonisch lässt sich der Nucleus lateralis amygdalae in zwei Subkerne einteilen, den Ldm (dorsomedial) und den Lvl (ventrolateral).

Der Nucleus lateralis liegt direkt ventral des Putamen und medial zur Capsula interna.

Intra-amygdaloide Verbindungen.

L \Rightarrow B, AB (besonders ABpc), PL, COa, M, PAC3

L \rightarrow PAC2, NLOT, AAA

L \Leftarrow AB, B

L \leftarrow CE

Thalamus.

L \Rightarrow Nucleus medio-dorsalis Thalami

L \leftarrow parvicellulärer Teil des Nucleus ventrales posteromedialis
(evtl. gustatorische Verarbeitung)

L \leftarrow Nucleus geniculatum mediale (auditorische Verarbeitung)

Hippocampale Formation.

L \Rightarrow entorhinaler Kortex (v.a. rostral)

L \leftarrow ? entorhinaler Kortex

Neokortex.

L \Rightarrow orbitaler Kortex & Insula

L (v.a. dorsomedial) \Leftarrow rostrale Insula

L \Leftarrow posteriore Insula

L \Leftarrow caudale Insula (hier werden evtl. somatosensorische Informationen transportiert)

L (dorsomedial) \Leftarrow caudaler orbitaler Kortex

L \Leftarrow infero-temporaler Kortex (visuelle Information)

L \Leftarrow superio-temporaler Kortex (auditorische Information)

} Disjunkte Bereiche des L

L (v.a. ventromedial) \Leftarrow mediale und laterale Anteile des Temporalpols

L \Leftarrow dorsaler Abschnitt des superio-temporaler Sulcus

L \Rightarrow Temporalpol

5.1.2 Nucleus basalis (B)

Beim Affen ist der Basalis der größte Kern in der Amygdala. Es lassen sich drei Bereiche einteilen nach jeweiligen Zelltypen, den magnocellulären Teil (Bmc), parvocellulären Teil (Bpc) und eine Übergangszone (Bi, intermediate).

Intra-amygdaloide Verbindungen.

Bmc, Bi \Rightarrow AB, CE (v.a. CEm), M, NLOT, PAC, AHA

Bpc \Rightarrow AB, CE, M (caudal), PAC, AHA

B \rightarrow PAC2, NLOT, AAA

B \Leftarrow L

Bpc \Leftarrow CE

B \Leftarrow AB

Bpc \Leftarrow PAC

Thalamus.

B \Leftarrow massa intermedia

B \Rightarrow Nucleus medio-dorsalis Thalami

Hirnstamm.

B \Leftarrow locus coeruleus

Hypothalamus.

B \Rightarrow lateraler tuberaler Nucleus Hypothalami (komplementär zu den Projektionen des CE).

Bpc ← ventromediale Kerne, caudale Anteile der lateralen hypothalamischen Areale

Hippocampale Formation.

Bpc ↔ CA1, Subiculum

Neokortex.

B ⇒ frontaler, insulärer und cingulater Kortex

Bpc ← rostrale Insula

B ← caudaler orbitaler Kortex

Bmc ← Cingulum, (medial wall) präfrontaler Kortex

Bmc ⇒ Alle Anteile des visuellen temporalen und okzipitalen Kortex

B (v.a. mc) ← mediale, laterale Anteile des Temporalpols

5.1.3 Nucleus basalis **accessory** (AB)

Wiederum jeweils nach Zellgröße und -typ sind drei Bereiche unterscheidbar. Der magnocelluläre (ABmc), der parvocelluläre (ABpc) und der AB ventromedialis (ABvm).

Intra-amygdaloide Verbindungen.

AB ⇒ CE (v.a. Cem), M, PAC, COa, COp, AHA, I

AB (v.a. ABpc) ← L

AB ← B, CE, M

Thalamus.

AB ← Nucleus geniculatum mediale (auditorische Verarbeitung)

AB ⇒ Nucleus medio-dorsalis Thalami

Hypothalamus.

AB → Kern des ventromedialen Hypothalamus, präammillarisches Kerne

AB ← ventromediale Kerne, caudale Anteile der lateralen hypothalamischen Areale

Hippocampale Formation.

AB ⇒ entorhinaler Kortex (v.a. rostral)

ABmc → CA1, CA2, CA3

Neokortex.

AB ⇒ frontaler und cingulater Kortex (wobei mc, pc und ventromedialer Anteil jeweils disjunkte Gebiete ansteuern).

ABmc ← caudal orbital, (medial wall) präfrontal

AB (v.a. mc) ← mediale, laterale Anteile des Temporalpols

ABmc ← dorsaler Abschnitt des superiotemporalen Sulcus

AB → Temporalpol

5.1.4 Nucleus paralaminaris (PL)

Hippocampale Formation.

COa → enorhinaler Kortex (v.a. rostral)

5.2 Oberflächenkerne

5.2.1 Nucleus corticalis anterior (COa)

Beim COa unterscheidet man drei Schichten, die schicht mit I, II und III bezeichnet werden.

Intra-amygdaloide Verbindungen.

COa ⇒ (sind unbekannt)

COa ⇐ L, AB, CE, M

Hypothalamus.

COa ⇒ anteriorer Hypothalamus

COa → supraoptische, paraventriculäre Kerne

COa → lateraler Hypothalamus (in seinem ganzen rostro-caudalen Ausmaß).

Olfaktorisches System.

COa ⇐ Riechkolben

COa ⇐ piriformer Kortex

Hippocampale Formation.

COa → enorhinaler Kortex (v.a. rostral)

Neokortex.

COa ⇒ agranulare Insula

5.2.2 Nucleus medialis (M)

Drei Schichten zählt der Nucleus medialis. Schicht I enthält keine Zellkörper, Schicht II ist mit kleinen bis mittleren Zellen besetzt.

Der M wird durch das mediale Bündel vom Rest der Amygdala abgegrenzt.

Intra-amygdaloide Verbindungen.

M ⇒ AB (dorsales drittel), COa, PAC, AHA, CE

M (Oberfläche) ⇐ L

M ⇐ L

M ⇐ B, AB, PAC

Olfaktorisches System.

M ⇐ piriformer Kortex

Thalamus.

M \Rightarrow massa intermedia;

superiore, inferiore und densocellulare Teile des Nucleus centralis Thalami

M \leftarrow Nucleus geniculatum mediale (auditorische Verarbeitung)

Hypothalamus.

M \Rightarrow anteriorer Hypothalamus

M \rightarrow supraoptische und paraventriculäre Kerne, Kerne des ventromedialen Hypothalamus, präammillarisches Kerne

M \rightarrow lateraler Hypothalamus (in seinem ganzen rostro-caudalen Ausmaß).

M \leftarrow ventromediale Kerne, caudale Anteile der lateralen hypothalamischen Areale

Hippocampale Formation.

M \rightarrow entorhinaler Kortex (v.a. rostral)

Neokortex.

M \leftarrow rostrale

M \Rightarrow agranuläre Insula

5.2.3 Nucleus des lateralen olfaktorischen Traktes (NLOT)

Olfaktorisches System.

NLOT \Leftrightarrow Riechkolben

NLOT \leftarrow piriformer Kortex

5.2.4 Kortex periamygdaloidum (PAC)

Intra-amygdaloide Verbindungen.

PAC \Rightarrow Bpc, AB, M, CE, COp

PAC (v.a. PAC2 und PAC3) \leftarrow L

PAC \leftarrow B, AB, M, CE

Olfaktorisches System.

PAC (außer PACs) \Leftrightarrow Riechkolben

PAC \leftarrow piriformer Kortex

Thalamus.

PAC \Rightarrow Nucleus medio-dorsalis Thalami

Hippocampale Formation.

PAC \rightarrow entorhinaler Kortex (v.a. rostral)

PAC \Leftrightarrow CA1, Subiculum

Neokortex.

PAC \Rightarrow agranulare Insula

5.2.5 Nucleus corticalis posterior (COp)

Der COp besteht aus einer schmalen Schicht I und der breiteren Schicht II.

Olfaktorisches System.

COp \Leftarrow piriformer Kortex

5.2.6 Nucleus centralis (CE)

Der Nucleus centralis ist eine sehr homogene Anhäufung (relativ) kleiner Nervenzellen. Sowohl medial als auch lateral begrenzen dicke Nervenbänder den CE, und auch die beiden Subkerne (der laterale CEI und der mediale CEm) werden durch Nervenbahnen voneinander abgrenzbar.

Intra-amygdaloide Verbindungen.

CE \Rightarrow COa, PAC, AHA, AAA

CE \rightarrow L, Bpc, AB

CE (v.a. m) \Leftarrow B, AB

B \Leftarrow L, PAC, M

Thalamus.

CE \Rightarrow massa intermedia;

superiore, inferiore und densocellulare Teile des Nucleus centralis Thalami

CE \rightarrow mediales Pulvinar

CE \Leftarrow massa intermedia

CE \Leftarrow Nucleus geniculatum mediale (auditorische Verarbeitung)

Hypothalamus.

CE \Rightarrow para-, tubero- und suprammammillarisches Kerne

CE \Rightarrow lateraler Hypothalamus (in seinem ganzen rostro-caudalen Ausmaß).

CE \Leftarrow ventromediale Kerne, caudale Anteile der lateralen Areale

Hirnstamm.

Außer dem Nucleus centralis steuert kein Kern der Amygdala den Hirnstamm an, nur der bed nucleus der stria terminalis leistet zu dieser Verknüpfung noch einige Beiträge.

CE \Rightarrow Ventrale tegmentale Gebiete, substantia nigra, **peripeduncularer** Nucleus, tegmentale Retikularformation

CE \Rightarrow formatio reticularis pontis

CE \Leftrightarrow parabrachiale Kerne

CE \rightarrow Nucleus Raphè magnus

CE \Rightarrow solitary tract, dorsale motorische Kerne des Vagus

CE \Leftarrow locus coeruleus

5.3 Die übrigen Kerne

5.3.1 *Area amygdaloidum anterior (AAA)*

5.3.2 *Area amygdalohippocampalis (AHA)*

Die Area amygdalohippocampalis bildet den caudalen Pol der Amygdala.

Intra-Amygdala Verbindungen.

AHA \Rightarrow die zellarme Schale des ventromedialen Hypothalamus, präammillarische Kerne

5.3.3 *Nuclei intercalated (I)*

Die I sind verstreut liegende Kerne an verschiedenen Punkten in der Amygdala. Üblicherweise sind sie in der weißen Substanz zwischen B und AB, B und L oder unterhalb des C anzutreffen.

Bisherige Untersuchungen zeigen zwar zwischen all diesen Kernen eine strukturelle Ähnlichkeit, aber dennoch ist eine Differenzierung nicht auszuschließen (AMARAL, PRICE ET AL. 1992).

Intra-Amygdala Verbindungen.

I \Leftarrow L, AB

6 Literatur

- AGGLETON J.P. (1993) „*The contribution of the amygdala to normal and abnormal emotional states*“; Trends in Neurosciences 16(8), S.328-333
- AMARAL D.G., PRICE J.L., PITKÄNEN A & CARMICHAEL S.T (1992) „*Anatomical organization of the primate amygdaloid complex*“; in J.P. AGGLETON (Hrsg.) „*The Amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*“; Wiley-Liss Inc., S.1-66
- BRODAL P. (1992) „*The central nervous system - structure and function*“; Oxford University Press
- HALL E. (1972) „*Amygdaloid structural organization*“; in B.E. ELEFTHERIOU „*Advances in behavioural biology Vol.2: The neurobiology of the amygdala*“; New York: Plenum Press, S.95-121
- KAADA B.R. (1972) „*Stimulation and regional ablation of the amygdaloid complex with reference to functional representation*“; in B.E. ELEFTHERIOU „*Advances in behavioural biology Vol.2: The neurobiology of the amygdala*“; New York: Plenum Press, S.95-121
- MCDONALD A.J. (1992) „*Cell types and intrinsic connections of the amygdala*“; in J.P. AGGLETON (Hrsg.) „*The Amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*“; Wiley-Liss Inc., S.67-96

WHITLOCK D.G. & NAUTA W.J.H. (1956) „*Subcortical projections from the temporal neocortex in the macaca mulatta*“; Journal of comparative Neurology 106, S.183-212

... Der Bed nucleus der stria terminalis weist anatomisch auffällige Ähnlichkeiten zu den Nuclei centralis und medialis auf (AMARAL, PRICE ET AL. 1992) und kann auch aufgrund der phylogenetischen Entwicklung (McDONALD 1992) als ‘erweiterte Amygdala’ aufgefasst werden. Wie der zentrale und der mediale Kern, so stellt der Bed nucleus ein Relais für Projektionen zum Hypothalamus und zum Hirnstamm. ...