

und mit der Kontrolle von Antriebsprozessen und der Affektsteuerung in Verbindung gebracht wird. Von dort verlaufen Faserverbindungen über das zentrale Höhlengrau im Mittelhirn und die *Formatio reticularis* zu den Hirnnervenkernen, wo sie Kehlkopf- und Vokaltraktbewegungen auslösen. Das limbische Vokalisationssystem hat eine geringe „Plastizität“, d. h., es kann durch motorische Lernvorgänge vermutlich nicht verändert werden. Tatsächlich haben subhumane Primaten eine nur sehr gering ausgeprägte Fähigkeit, ihre angeborenen Laute durch Training zu beeinflussen oder willkürlich – z. B. als gelernte Reaktion auf einen Stimulus – Laute zu produzieren (Ackermann u. Ziegler 2010; Abb. 3.1).

Das im motorischen Kortex der lateralen Präzentralregion entspringende Vokalisationssystem (Abb. 3.1) steuert dagegen die Willkürbewegungen der Sprechmuskulatur. Dieses System ist z. B. beim Imitieren von Mundbewegungen aktiv, beim Grimassenschneiden, beim Singen oder beim Summen eines Tones, beim Luftanhalten, bei Vokalhalte- oder Silbenwiederholungsaufgaben oder eben auch beim Sprechen.

Im Unterschied zum limbischen hat das willkürmotorische System eine hohe Plastizität, ist also durch motorische Lernvorgänge veränderbar. Aus diesem Grund kann man davon ausgehen, dass sich die Architektur dieses Netzwerks während des langen Prozesses des Sprechens differenziert und sich ein für das Sprechen spezialisiertes motorisches System entwickelt.

Die beiden Netzwerke, das im limbischen und das im Neokortex entspringende, sind im Übrigen nicht völlig unabhängig voneinander. Sie sind auf mehreren Etagen verbunden, z. B. über die supplementärmotorische Area (SMA) und über die Basalganglien (Abb. 3.1). Auf diesem Weg nehmen vermutlich die emotionale Befindlichkeit oder das Erregungsniveau eines Sprechers Einfluss auf den Sprechvorgang, was sich dann in der Stimmqualität, der emotionalen Färbung der Prosodie oder im Redefluss zeigt.

Sprechmotorische Planung und „dorsaler Strom“

Das erwähnte neokortikale motorische System benötigt für die Ausführung von Sprechbewegungen Bewegungspläne aus „höheren“ motorischen Zentren (motorische Assoziationskortex). In der Organisation der Gliedmaßenmotorik übernimmt der laterale prämotorische Kortex in Verbindung mit parietalen Arealen solche Planungsfunktionen. Für die Planung oder Programmierung von Sprechbewegungen werden vor allem Areale der linken Hemisphäre als zuständig erachtet und zwar in erster Linie der hintere Anteil des inferior-frontalen Kortex (Broca-Area) und/oder der vordere Anteil der linken Insula. Das sind die Areale, die mit dem Syndrom der Sprechapraxie in Verbindung gebracht werden (Ziegler 2008, Aichert u. Staiger 2009). Sie spielen im weiteren Verlauf dieser Darstellung keine Rolle mehr. Wichtig für das Verständnis ist allerdings, dass die für die sprechmotorische Planung zuständigen Areale in der sprachdominanten Hemisphäre beheimatet sind, dass also eine nur linksseitige Schädigung dieser kortikalen Zentren zu schweren und anhaltenden (sprechpraktischen) Störungen führen kann. Für die in Zusammenhang mit den Dysarthrien diskutierten kortikalen Regionen gilt dies nicht: Einseitige Läsionen dieser Regionen, ob rechts oder links, führen meistens nur zu vorübergehenden und leichten (dysarthrischen) Störungen.

Die linkshemisphärischen motorischen Planungsareale des Sprechens sind Teil eines „dorsalen Stroms“, in dem die motorische Information mit auditiver Information aus der oberen Temporalwindung integriert wird. Dabei spielen auch Strukturen des inferioren Parietallappens eine Rolle, die einerseits mit der Verarbeitung somatosensorischer Information aus dem Vokaltrakt in Verbindung gebracht werden, andererseits auch als Repräsentationsareal für „abstrakte“ sprechmotorische und phonologische Prozesse gelten (Hickok u. Poeppel 2004; Abb. 3.1). Der dorsale Strom ist vermutlich die neuronale Grundlage der in Kapitel 2 besprochenen Prozesse des Erwerbs auditorisch-motorischer Repräsentationen während der Sprachentwicklung und der auditiven und somatosensorischen Feedbackprozesse bei erwachsenen Sprechern (s. Abb. 2.1). Für die Dysarthrien hat das System keine weitere Bedeutung, dagegen aber für das Verständnis der phonologischen Störungen bei aphasischen Patienten.

Komponenten des willkürmotorischen Netzwerks

Die folgenden Abschnitte beschreiben das Netzwerk, das für die Kontrolle der Ausführung von Sprechbewegungen im engeren Sinne zuständig ist. Dieses Netzwerk umfasst

- den primärmotorischen Kortex und das von dort zu den motorischen Kernen führende „absteigende“ Fasersystem,
- einen Schaltkreis, der die Basalganglien einschließt,
- einen zweiten, zerebellären Schaltkreis,
- ein dem Ganzen vorgeschaltetes weiteres motorisches Rindenareal, die supplementär-motorische Area (Abb. 3.1).

Motorische Rinde und erstes (zentrales) motorisches Neuron

Kernstück des sprechmotorischen Systems sind die Repräsentationsareale der Sprechorgane im lateralen präzentralen Kortex (primärmotorischer Kortex, Brodmann-Area 4) und die Projektionen dieser Regionen auf die motorischen Kerne im Hirnstamm und Rückenmark (Abb. 3.2). Aus elektrischen Stimulationsstudien, aus Läsionsstudien und neuerdings auch aus Studien mit bildgebenden Verfahren weiß man, dass Zunge, Kehlkopf und Lippen in relativ großen Rindenarealen im unteren Drittel der lateralen Präzentralwindung beider Hemisphären repräsentiert sind („motorischer Gesichtskortex“). Die größte Ausdehnung des motorischen Kortex der Gesichts-, Mund- und Kehlkopfmuskulatur liegt in der Tiefe der Zentralfurche (Amunts u. Zilles 2007). Die Repräsentationsareale der Atmungsmuskulatur befinden sich in der dorsolateralen Präzentralregion, nahe der Mantelkante.



Funktionelle Differenzierung der motorischen Rinde

Der primärmotorische Kortex ist kein funktionell homogenes Areal. Er besteht aus verschiedenen parallel verlaufenden Subarealen (Area 4a, 4p), die wichtige funktionelle Unterschiede in der motorischen Kontrolle aufweisen (Weiss-Blankenhorn u. Fink 2007). Dies ist bisher allerdings nur für die Bewegungen der Hand und der Finger belegt. Wenn diese Unterteilung auch für die Repräsentationen der Vokaltraktmuskulatur existiert, könnte dies bedeuten, dass weiter rostral gelegene Anteile der motorischen Mund- und Gesichtsregion (Area 4a) komplexere motorische Aktivitäten repräsentieren, als die kaudalen Anteile (Area 4p) und

dass z.B. Läsionen rostraler Anteile des motorischen Gesichtskortex, insbesondere in der linken Hemisphäre, zu komplexeren artikulatorischen Störungsmustern führen als Läsionen, die eher kaudal lokalisiert sind.

Die motorischen Areale der Präzentralregion sind nicht der primäre Ausgangspunkt sprechmotorischer Aktivität. Sie erhalten vielmehr Input aus verschiedenen anderen Kortexarealen, nämlich

- motorische Planungsinformationen aus lateralen prämotorischen Feldern (Greenlee et al. 2004), im Falle der Sprechmotorik vermutlich aus der Broca-Region oder der anterioren Inselrinde (Abb. 3.1),
- Information zur Vorbereitung und Initiierung von Sprechbewegungen aus der supplementär-motorischen Area, einem Rindenfeld auf der Medialseite des Frontallappens (Abb. 3.1) und
- somatosensorische (propriozeptive) Afferenzen aus parietalen Rindenarealen.

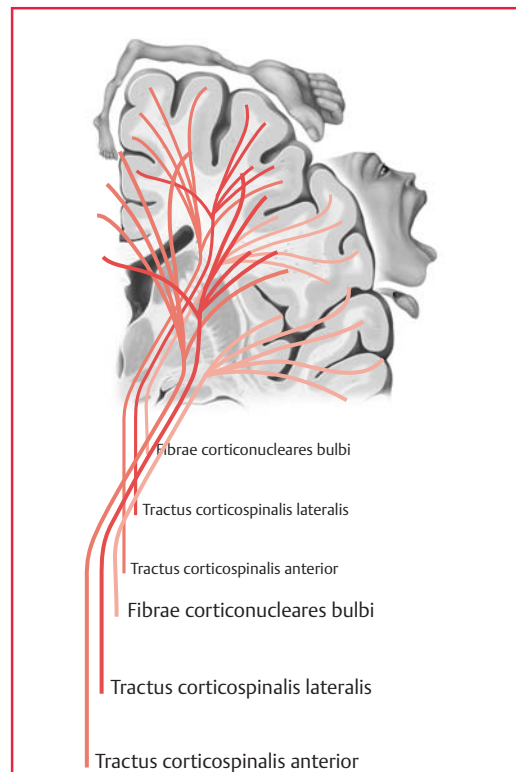


Abb. 3.2 Makroskopische Somatotopie des primärmotorischen Kortex und der absteigenden kortikobulbären und kortikospinalen Bahnen (aus: Schünke et al. 2006).