

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik Freiburg i. Br.
(Direktor: Prof. Dr. T. RIECHERT)

Encephalographische und klinische Untersuchungen zur funktionellen Somatotopik des Pallidum internum bei stereotaktischen Pallidotomien

Von
F. MUNDINGER und P. POTTHOFF

Mit 5 Textabbildungen

(Eingegangen am 13. Juni 1960)

Der *Parkinsonismus* stellt die derzeitige souveräne Indikation für einen stereotaktischen Eingriff dar. Nach diesem, 1947 von SPIEGEL u. WYCIS in die Therapie eingeführten, hirnchirurgischen Verfahren³², haben RIECHERT, MUNDINGER und WOLFF mit einem eigenen Zielgerät und zusammen mit HASSLER in eigener Methodik^{7–11,14,17–23,25–29} seit 1949 1070 (31. 7. 1960) Eingriffe am menschlichen Gehirn durchgeführt. 820 dieser stereotaktischen Operationen galten der Behandlung des Parkinsonismus; und zwar wurden bei 460 dieser Eingriffe das Pallidum internum, bei den übrigen der orale Ventrikel des Thalamus (nach HASSLER) ausgeschaltet.

Es gilt heute als gesichert, daß dem Parkinsonismus, gleich welcher Genese, als pathologisch-anatomischer Vorgang eine Zelldegeneration in der Substantia nigra zugrunde liegt^{4–6}. Pathophysiologisch besteht die Ansicht, daß mit diesem Zelluntergang eine wesentliche Kontrollfunktion im extrapyramidalen System ausfällt. Impulse, die einem System sogenannter „Regelkreise“ zwischen präzentraler Rinde und Basalganglien entstammen, wirken sich durch den Fortfall des Nigro-Neurons — (im Falle des Parkinsonismus durch die Degeneration der Substantia nigra) — zu sehr fördernd auf Rigor und Tremor aus⁶.

Der stereotaktische Eingriff zielt nun auf eine Ausschaltung des *Globus pallidus internus* (= *GPI*) oder/und des oralen Ventrikels des Thalamus, wodurch eine Unterbrechung dieser Regelkreise erzielt wird und die bahnenden Impulse der Pyramidenbahn für Rigor und Tremor blockiert werden. Eine therapeutische Läsion an diesen Stellen bietet den Vorteil, daß die extrapyramidale Symptomatik beseitigt, zumindest gebessert wird, *ohne* daß die Willkürmotorik eine Einschränkung erleidet⁹. Diese Schädigung der Willkürmotorik (Parese) war eine zwangsläufige Folge der älteren hirnchirurgischen Eingriffe, die zur Besserung extrapyramidalen Bewegungsstörungen an der präzentralen Rinde und am Pyramidenbahnsystem durchgeführt wurden^{31,36}.

Unser operatives Vorgehen bei der stereotaktischen Pallidotomie (und Thalamotomie im oralen Ventralkern) besteht in der Befestigung des Zielgerätes am Schädel des Patienten. Durch ein kleines Trepanloch wird von diesem Gerät aus eine Sonde in das Zielsubstrat vorgeschoben, und durch hochfrequenten, ungedämpften, sinusförmigen Wechselstrom unter Kontrolle der Koagulationstemperatur an der Elektroden Spitze¹⁴ und — in besonderen Fällen — durch radioaktive Isotope, mit denen die Sonde beschickt wird, eine umschriebene Läsion in den Stammganglien gesetzt. Diese Läsion nehmen wir in Form einer *gestuften Koagulation* vor: Die isolationsfreie Sondenspitze wird an einem vorher festgelegten Zielpunkt im Läsionssubstrat zentriert. Von diesem Zielpunkt aus wird die Sonde jeweils in Millimeterabständen bis an die Grenzen des Zielsubstrates vorgeschoben oder zurückgezogen („Nadeldurchdringungszone“), und an den einzelnen Punkten vor und hinter dem Zielpunkt mit Strom beschickt. So entsteht im Zielsubstrat ein „Nekrosenkorridor“ geradlinig hintereinander gelagerter Läsionen.

Diese besondere Technik der gestuften Koagulation vermittelte uns vor allem bei der Pallidotomie die wiederholte Beobachtung, daß — abhängig von der Lage der Koagulation im Zielsubstrat — mit einer gewissen Regelmäßigkeit die Rigorlösung mehr oder weniger isoliert auf den Kopf-Schulter-Bereich, respektive die obere oder untere Extremität beschränkt eintritt. Unsere Untersuchungen hatten daher zum Ziel, abzuklären, in welchen Anteilen des GPI die somatische Repräsentation anzutreffen ist.

Diese Fragestellung erfordert: 1. Den GPI im jeweiligen Patientenencephalogramm sichtbar zu umreißen. 2. Die Lage der Koagulationsherde im GPI zu erfassen, und 3. mit der Sondelage bzw. der Koagulationsstelle den klinischen Effekt in Korrelation zu setzen. (Die notwendigen Unterlagen zu 2. und 3. liegen dokumentarisch im Koagulationsprotokoll jeder Operation fest, in dem die Einstellung der Koagulationssonde und der Status präsens des Patienten bei bzw. unmittelbar nach jeder Einzelkoagulation verzeichnet werden. Zu 1. mußten wir eine Methode ausarbeiten, um die Projektionsgrenzen des GPI zu bestimmen und möglichst exakt auf das jeweilige Patientenencephalogramm zu übertragen).

Der *Globus pallidus internus* (= GPI) ist encephalographisch nicht darstellbar. Als Zielsubstrat muß daher vor der Operation seine Lage mit Hilfe eines Referenzverfahrens in Beziehung zu pneumencephalographisch sichtbaren Strukturen determiniert werden. Diese sind in unserem Verfahren^{7,24} vornehmlich die Foramina Monroi und die Commissura posterior. Die Strecke, die im lateralen Encephalogramm diese beiden punktförmig markierbaren Strukturen verbindet, ist die *Basislinie* (Abb. 1), auf der wir auch für die präoperative Zielpunktbestimmung unsere Koordinaten aufbauen.

In räumlicher Betrachtung ist der GPI ein mandelförmiges, gestrecktes Gebilde, dessen Längsausdehnung der Basislinie annähernd parallel verläuft. Eine laterale Projektion, die dem Strahlengang im lateralen

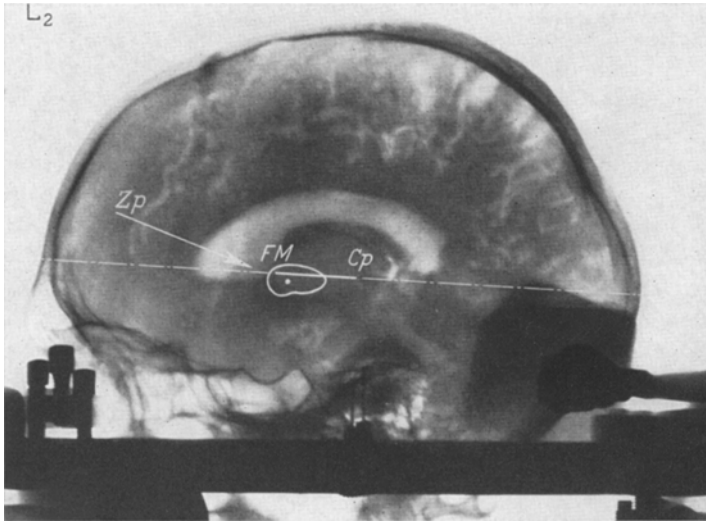
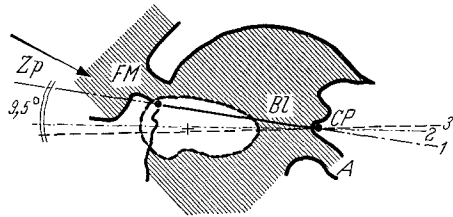


Abb. 1. Laterales Grundring-Encephelogramm bei stereotaktischer Pallidotomie. *Zp* Pfeil in Richtung auf den Zielpunkt, (•) innerhalb der Projektionsgrenzen des GPI; *FM* Punkt förmige Markierung des hinteren, unteren Randes der übereinanderprojizierten Foramina Monroi; *Cp* Punkt förmige Markierung der Commissura posterior. Die ausgezogene Linie *FM*—*Cp* stellt die Basislinie dar, die unterbrochene Linie deren Verlängerung

Skizze zu Abb. 1. Konturen des III. Ventrikels stark ausgezogen, Bereich des III. Ventrikels schraffiert. — Laterale Projektionsgrenzen des GPI; + Zielpunkt innerhalb der Projektionsgrenzen des GPI bei stereotaktischer Pallidotomie (Normlage). *Zp* wie in Abb. 1, *FM* Foramen Monroi, *BL* Basislinie, *Cp* Commissura posterior, *A* Aquädukt, 1 Ebene der Basislinie, 2 Horizontalebene durch Commissura anterior und posterior, 3 Horizontalebene nach SPIEGEL und WYCIS, $9,5^\circ$ = Winkelbeziehung zwischen 1 und 3



Encephelogramm entspricht, bedingt somit eine zuordnende Aufeinanderprojektion von GPI und Basislinie in einer Ebene. Da diese Projektion mit encephalographischer Technik nicht erreichbar ist — der GPI wird nicht dargestellt —, haben wir dessen Projektionsgrenzen im lateralen Strahlengang methodisch konstruiert, um sie anschließend ins Encephelogramm zu übertragen. Dazu gingen wir folgendermaßen vor:

Acht parallel geführte Frontalschnitte im Atlas des menschlichen Gehirnes von SPIEGEL u. WYCIS³² betreffen den GPI und zeigen dessen

anatomische Begrenzung im frontalen Aspekt. Denkt man sich diese acht parallelen Frontalschnitte in einer festgelegten Horizontalebene (der nach SPIEGEL u. WYCIS) hintereinandergestellt und betrachtet man lediglich den Schnittbereich des GPI, so ergibt sich die Vorstellung von der Struktur des GPI aus acht parallelen, hintereinandergestaffelten, asymmetrischen „Scheiben“. Beleuchtet man diese exakt seitlich, so projizieren sich die acht „Scheiben“ als acht parallel nebeneinandergelegene, strichförmige Schatten, deren einzelne Länge jeweils dem größten Höhendurchmesser des betreffenden Frontalschnittes durch den GPI entspricht (bei parallelem Strahlengang und dessen rechtwinkligem Auftreffen auf der Projektionsebene). Die Endpunkte dieser Schattenstrecken ergeben dabei ein punktförmiges Projektionsbild des GPI im lateralen Strahlengang, wie er dem der Röntgenstrahlen im lateralen Encephalogramm entspricht. Diese simplifizierende Darstellung soll lediglich unsere methodische Vorstellung umreißen.

Tatsächlich stellte sich unser Projektionsverfahren unter Berücksichtigung aller Faktoren wie folgt dar: Die Frontalschnitte des GPI (von dem Gehirn einer 31-jährigen, an Bronchiektasen verstorbenen Patientin mit mesocephalem Schädel) wurden von den gegebenen Abbildungen³² auf Millimeterpapier übertragen. Die Größe dieser Schnittbilder wurde nach dem angegebenen Abbildungsmaßstab auf reale Größe korrigiert. Bezugsebene war hierbei die Horizontalebene von SPIEGEL u. WYCIS. Der jeweils größte, senkrechte Abstand der oberen und unteren Peripherie jedes GPI-Frontalschnittes zur Horizontalebene wurde markiert und ausgemessen. Bei lateraler Projektion ordnen sich diese Abstandsstrecken als rechtwinklig, von oben und unten auf die Horizontalebene stoßende Strecken in den Distanzen der Frontalschnitte nebeneinander. Die peripheren Endpunkte dieser Strecken ergeben ein seitliches, punktförmiges Projektionsbild des GPI, dessen Flächenausdehnung der realen Größe des GPI entspricht.

Zur Übertragung dieses Projektionsbildes des GPI in eine Serie lateraler Schädelröntgenogramme war die Erfüllung folgender drei Bedingungen unerlässlich:

1. Das — unter Verwendung von Frontalschnitten durch einen GPI eines menschlichen Gehirnes — entworfene laterale Projektionsbild des GPI mußte im Vergleich zu anderen Gehirnen ausgemessen werden, um eine angenäherte Normalgröße zu sichern. Diese Bestätigung, daß unsere Projektionsgrößen des GPI für ihren Gebrauch als Modellmaß keine groben Mißverhältnisse aufweisen, erlangten wir durch — auf den GPI bezogene — Messungen an den, im obigen Atlas³² dargestellten horizontalen Hirnschnitten; durch vergleichende Untersuchungen zu dem, im stereotaktischen Atlas von TALAIRACH³⁴ angegebenen „système de repérage radiologique“; sowie durch Meßvergleiche an Hirnschnitten im Atlas von SCHALTENBRAND u. BAILEY³⁰, in dem auch unsere Lokalisationsmethode, Röntgen- und Operationstechnik ausführlich beschrieben ist (RIECHERT u. MUNDINGER). (Besonders der letzterwähnte Atlas bietet — durch die große Zahl dargestellter Hirn-

schnitte — die Möglichkeit zu ausgedehnten, vergleichenden Messungen. Wir konnten dabei eine exakte Bestätigung für die Längsausdehnung unseres Projektionsbildes des GPI erhalten, und fanden in allen Frontalserien eine genaue Übereinstimmung der Höhenmaße. Im Vergleich zu den Sagittalsektrien anderer Gehirne in diesem Atlas³⁰ ergab sich jedoch eine allgemeine Verlagerung der unteren Projektionsgrenze des GPI um ca. 2–3 mm nach basal. Wir sehen hierin einen Hinweis, daß im Einzelfall die untere Grenze des GPI noch etwas tiefer anzusetzen ist, als sie in unserem Projektionsbild eingezeichnet ist.)

2. Die reale Größe des Projektionsbildes mußte der durchschnittlichen Röntgenverzeichnung der Encephalogramme angeglichen werden. Diese beträgt in den ausgewerteten Röntgenogrammen 10:11. Das Projektionsbild des GPI wurde daher im Verhältnis 11:10 in den zwei Dimensionen einer Fläche vergrößert.

3. Es mußte eine fest umrissene Markierung im Encephalogramm und im Projektionsbild des GPI bestehen, die eine exakte Deckung beider Bildflächen gestattet. Diese Markierung bildete die — oben erwähnte — Basislinie, deren Einstellung zur Horizontalebene von SPIEGEL u. WYCIŚ als eine Winkelbeziehung von $9,5^\circ$ in der Mediosagittalen zu ermitteln war. Diese Winkelbeziehung wurde in unser Projektionsbild übernommen und damit die Lage der Basislinie in diesem festgelegt.

Das — unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte — auf Millimeterpapier entworfene, laterale Projektionsbild des GPI wurde für den praktischen Gebrauch auf eine flexible, transparente Kunststoffolie eingestanz, die als Schablone für die folgenden Untersuchungen verwendet wurde.

Aus dem Gesamtkollektiv von 460 stereotaktischen Pallidotomien haben wir bei 92 Fällen aus den Jahren 1956 bis Mitte 1958 bestimmt:

1. Die Einfallswinkel der Elektrosonde im anterior-posterior und im lateralen Röntgenbild.

2. Die Lage des Zielpunktes im Projektionsbild des GPI.

3. Die Ausdehnung der Nadeldurchdringungszone.

Nach dem geometrischen Gesetz, daß die Lage einer Strecke (= Nadeldurchdringungszone) in einem vorgegebenen Raum (= GPI) exakt definiert ist durch einen, ihr zugehörigen Raumpunkt (= Zielpunkt), zwei Winkel in senkrecht aufeinanderstehenden Ebenen (= die Einfallswinkel) und durch ihre Eigenlänge (= Ausdehnung der Nadeldurchdringungszone), besteht die Möglichkeit, den intraoperativen Sondenverlauf durch den GPI im Einzelfall zu rekonstruieren. Weiterhin kann ein, durch die gestufte Koagulation an einem bestimmten Koagulationspunkt hervorgerufener Operationseffekt der anatomischen Struktur des GPI annähernd zugeordnet werden.

Praktisch stellt sich unser Vorgehen wie folgt dar: Als röntgenologische Grundlage wurden die ant.-post. und die laterale Röntgenaufnahme benutzt, die während der Operation eines Patienten zur Bestätigung exakter Nadellage im Zielpunkt hergestellt worden sind. Im ant.-post. Röntgenbild bestimmten wir den Winkel, den die im Zielpunkt liegende Sonde mit einer, durch diesen Zielpunkt gelegten Vertikalen bildet. Dieser Winkel wurde für jeden Fall gesondert festgehalten. In die lateralen Aufnahmen übertrugen wir, aus dem präoperativen und zur Berechnung des Zielpunktes dienenden Encephalogramm desselben Patienten, die Markierungen der Basislinie Foramen Monroi-Commissura posterior.

(Dies geschah unter exakter Berücksichtigung der in beiden Röntgenvorgängen auftretenden Röntgenverzeichnung. Bei den Fällen, die die gleiche Röntgenverzeichnung und eine orthograde Projektion aufwiesen, geschah die Übertragung der markierten Basislinie des Encephalogramms in das Operationsröntgenbild durch Deckung beider Aufnahmen. Hierbei orientierten wir uns an den basalen Knochenstrukturen der Sella und des Sinus ethmoidalis sowie an der lamina interna an der Konvexität des Schädeldaches. Auf diese Weise nahmen wir in allen 92 Fällen eine genaue Übertragung der Markierungen der Basislinie in das laterale Operationsröntgenbild vor.)

In diesem lateralen Operationsröntgenbild gelangten nun der Röntgenshatten der Elektrosonde und die eingezeichnete Basislinie bzw. deren Verlängerung, als zwei sich schneidende Geraden zur Darstellung. Deren spitzer Schnittwinkel wurde gemessen und für jeden Einzelfall gesondert festgehalten. Damit waren die Einfallswinkel der Elektrosonde in jedem unserer Fälle für zwei, senkrecht aufeinanderstehende Ebenen festgelegt. Anschließend brachten wir die hergestellte Schablone des lateralen Projektionsbildes des GPI an Hand der Basislinie mit dem Operationsröntgenbild zur Deckung, und gelangten so zu einer Vorstellung, an welchem Punkt des GPI die Nadelspitze lag, d.h. wie sich der Zielpunkt innerhalb der Grenzen des GPI projiziert. Von diesem Zielpunkt aus wurde die Elektrosonde zur gestuften Ausschaltung während der Operation in positiver Richtung (+, d.h. in die Tiefe nach basal-caudal vordringend) um Millimeterdistanzen vorgeschoben, bzw. in negativer Richtung (—, d.h. nach cranial-frontal) zurückgezogen. In entsprechenden \pm Millimeter-Distanzen vom Zielpunkt wurden Hochfrequenzkoagulationen gesetzt (*gestufte Ausschaltung*), deren Lokalisation durch den Millimeterabstand zum Zielpunkt und die Winkellage der Nadel determiniert ist. Nach jeder Koagulation wurde u.a. der klinische Effekt, der an dem Punkte der Koagulation aufgetreten ist, im Koagulationsprotokoll registriert. Dadurch war für uns jetzt die Möglichkeit gegeben, *eine eventuelle Koordination von klinischem Effekt und Sondenlage zu überprüfen.*

Zum Zwecke ausreichender graphischer Wiedergabe stellten wir eine Skizze des lateralen Projektionsbildes des GPI in der Flächenvergrößerung 1:100 auf Millimeterpapier her, in der 1 cm der realen Strecke von 1 mm entspricht. In dieser Skizze wurde der Zielpunkt dort markiert, wo er sich in unserer Schablone lokalisierte, und wir konnten dann unter Berücksichtigung der Einfallswinkel der Sonde, und der, im Koagulationsprotokoll angegebenen \pm Verschiebung der Nadel, die *Durchdringungszone der Elektrosonde im GPI* anschaulich darstellen. Abb. 2 zeigt diese Darstellung für die Fälle 1—25.

Die Durchdringungszone der Fälle 26—92 sind in drei weiteren, gleichartigen Darstellungen erfaßt¹⁶. Auf deren Wiedergabe in der vorliegenden Abbildung wird verzichtet, um die Grenzen des Auflösungsvermögens und damit der graphischen Deutlichkeit nicht zu überschreiten.

Es ist bei dieser Wiedergabe noch darauf hinzuweisen, daß es sich um eine laterale Projektion in die Fläche der Mediosagittalebene handelt. Diese Projektion entspricht der röntgenologischen im lateralen Strahlengang. Sie verursacht durch Schrägprojektion eine, dem im ant.-post. Röntgenogramm gemessenen Einfallswinkel zuzuordnende Längenverzeichnung der Elektrosonde. Denn: Ein stabförmiges Gebilde (z. B. die Elektrosonde) wird durch annähernd parallele Strahlen nur dann längengerecht abgebildet, wenn diese Strahlen sie rechtwinklig treffen. Steht diese Sonde jedoch in einem Winkel zu den Strahlen, der anders ist als ein rechter — das ist, wenn sie nicht genau parasagittal in das Gehirn eingeführt wird —, so wird sie

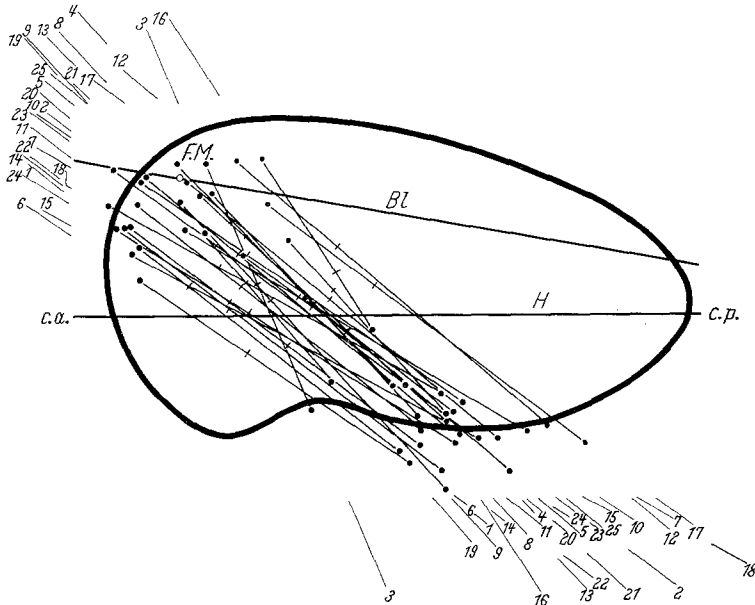


Abb. 2. Durchdringungszonen der Elektrosonde bei 25 Fällen stereotaktischer Pallidotomie im lateralen Projektionsbild des GPI. *BL* Basislinie; *H* Horizontalebene nach SPIEGEL und WYCIS; *FM* Punktformige Markierung des hinteren, unteren Randes der übereinanderprojizierten Foramina Monroi. Der Zielpunkt jeder Durchdringungszone ist als kleiner Querbalken, die Endpunkte sind knopförmig markiert. Die Fallnumerierung am Rande vereinfacht das Auffinden der einzelnen Durchdringungszonen

verkürzt abgebildet. Diese projektive Verkürzung entspricht den Cosinus-Werten des jeweiligen, im ant.-post. Röntgenbild zu messenden Einfallswinkel der Elektrosonde. Sie beträgt bei den gemessenen Einfallswinkeln maximal 13,4%, liegt jedoch in 80% der Fälle zwischen 0 und 6%. Wir haben diese geringe, durch den von der Parasagittalen abweichenden Sondenverlauf bedingte, Verzeichnung berücksichtigt, um eine echte Projektion der Nadeldurchdringungszone im GPI zu erreichen.

An Hand dieser, in Abb. 2 beispielhaft wiedergegebenen, Einzeldarstellung der Nadeldurchdringungszonen für 92 Fälle konnten wir den Versuch unternehmen, ob sich bestimmte operative Besserungseffekte, die bei diesen 92 Pallidotomien intraoperativ an bestimmten Koagulationspunkten registriert wurden, bestimmten Bereichen des GPI zuordnen lassen. Wir beschränkten uns bei der klinischen Beurteilung auf die

Besserungseffekte in der *Rigorsymptomatik* der Parkinsonkranken, die an der kontralateralen Körperseite erfolgen. Die Beeinflussung des Rigors durch gestufte Pallidotomie zeichnet sich in besonderem Maße durch intraoperative, differenzierte (d.h. einzelne Körperabschnitte betreffende) Lösung und durch postoperative Konstanz des Ergebnisses aus. Wir unterteilten die operativen Besserungseffekte in solche auf den Rigor der oberen Extremität (= Armeffekte) und solche auf den Rigor der unteren Extremität (= Beineffekte). Wir fanden außerdem Hinweise auf eine differenzierte Rigorlösung im Bereich des Kopfes.

Es ergaben sich folgende *Befunde*.

1. Bei 65 Einzelkoagulationen aus der Gesamtzahl von 92 untersuchten Fällen wurden deutliche *Armeffekte* bei einer bestimmten Nadellage registriert. Mit Hilfe des obigen Schemas der Nadeldurchdringungszone für jeden Einzelfall und der Angabe der Nadeltiefe zur Zeit dieser Effekte (im Koagulationsprotokoll), war die Lage der Sondenspitze bei Eintreten des betreffenden Effektes festzustellen. Wir konnten also diese Nadellage an Hand der einzelnen Durchdringungszone objektivieren, und ihr den betreffenden Rigoreffekt zuordnen. Lag z.B. eine deutliche Rigorlösung des Ellbogengelenkes bei einer Entfernung der Sondenspitze — 3 mm vom Zielpunkt vor, so wurden in unserer (1:100 in der Fläche, d.h. 1:10 in einer Dimension) vergrößerten Darstellung des Projektionsbildes des GPI, auf der betreffenden Durchdringungszone 3 cm in negativer Richtung (nach cranial-frontal) vom Zielpunkt her abgesteckt. Diese 3 cm wurden im Falle einer Schrägprojektion durch einen, aus der Parasagittalebene abweichenden Sondenverlauf im entsprechenden Prozentsatz verkürzt. Der Zielpunkt-ferne Endpunkt dieser abgesteckten Strecke markierte so den Punkt, an dem der Armeffekt auftrat.

Die jeweilige Nadellage bei den registrierten 65 Einzelkoagulationen mit deutlichem Armeffekt sind in Abb.3 auf diese Weise punktförmig (·) markiert. Die Kreuzpunkte (+) in derselben Abb.3 bezeichnen die Nadellage von 14 Fällen kombinierter Arm-Bein-Effekte, d.h. gleichzeitig bei der Koagulation aufgetretene Rigorbeeinflussung in Arm und Bein kontralateral.

2. Bei 50 Einzelkoagulationen wurden deutliche *Beineffekte* bei einer bestimmten Nadellage registriert. Deren Darstellung erfolgte wie die der Armeffekte. Abb.4 zeigt die punktförmige Markierung der Nadellage bei 50 Koagulationen mit reinem Beineffekt (·), d.h. Rigorlösung an der unteren Extremität.

3. In Abb.4 ist weiterhin die Nadellage an drei Punkten kreuzförmig (+) markiert, an denen während der Koagulation eine plötzliche deutliche Sprachverbesserung beim Patienten registriert wurde. Wir verbinden diese Tatsache mit einer Rigorlösung im Bereich der zur Artikulation dienenden Hals-Kopf-Muskulatur.

In *Diskussion* der Befunde, die die vorstehenden Darstellungen (Abb. 3 und 4) wiedergeben, ist festzustellen: Rigorlösungen an der *oberen Extremität* treten in überwiegender Mehrzahl bei Elektrokoagulationen

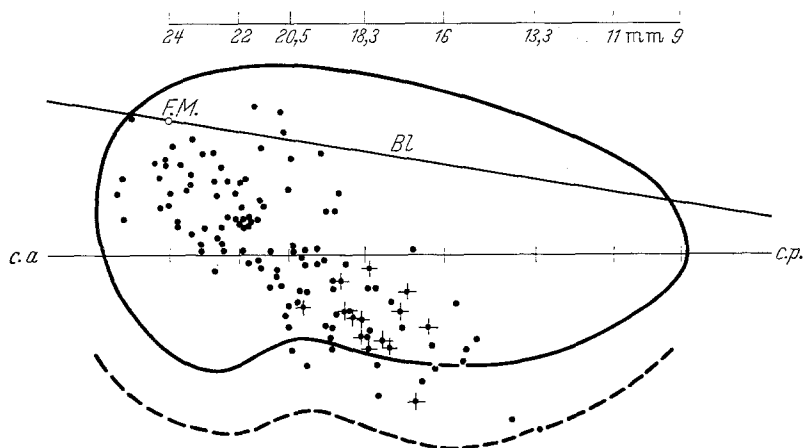


Abb. 3. Lage der Armeffekte und der kombinierten Arm-Bein-Effekte im lateralen Projektionsbild des GPI. • Arm-Effekte, + kombinierte Arm-Bein-Effekte. Die gestrichelte basale Grenzlinie (— — —) bezeichnet schematisch den äußeren Variationsbereich der basalen pallidären Ausdehnung. Die Werte 24, 22, 20,5, 18,3, 16, 13,3, 11, 9 bezeichnen die Entfernung der jeweiligen Frontalschnittebene im Atlas von SPIEGEL u. WYCIS³² vor der Commissura posterior in Millimeter. BL Basislinie; FM Markierung des hinteren, unteren Randes der übereinanderprojizierten Foramina Monroi

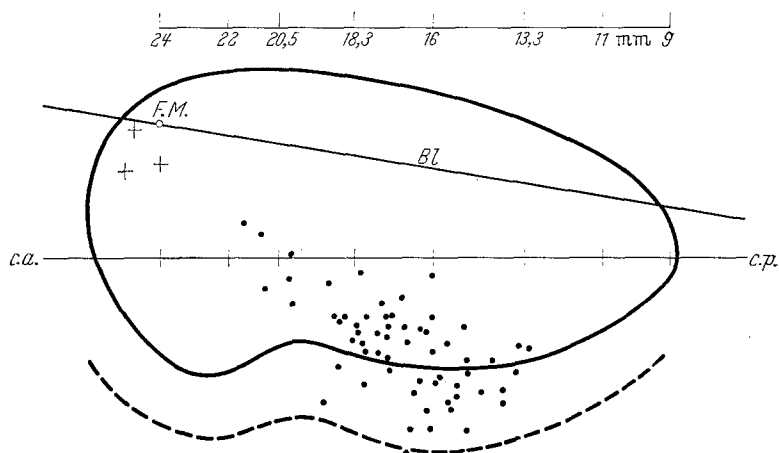


Abb. 4. Lage der Beineffekte und der Spracheffekte im lateralen Projektionsbild des GPI. • Bein-Effekte, + Spracheffekte. Die gestrichelte basale Grenzlinie (— — —) bezeichnet schematisch den äußeren Variationsbereich der basalen pallidären Ausdehnung. Die Werte 24, 22, 20,5, 18,3, 16, 13,3, 11, 9 bezeichnen die Entfernung der jeweiligen Frontalschnittebene im Atlas von SPIEGEL u. WYCIS³² vor der Commissura posterior in mm. BL Basislinie; FM Markierung des hinteren, unteren Randes der übereinanderprojizierten Foramina Monroi

im vorderen Drittel des GPI auf. Dieser Befund wird zusätzlich bestätigt durch elf untersuchte, hier graphisch nicht dargestellte Fälle, bei denen mit der Saitenelektrode* in diesem Gebiet koaguliert und deutliche Armeffekte erzielt wurden. Eine ausgesprochene Beeinflussung des Rigors der unteren Extremität ist im unteren Bereich des mittleren Drittels des GPI nachweisbar. Über den oberen Anteil des mittleren Drittels des GPI kann keine exakte diesbezügliche Aussage gemacht werden, da in dieses Gebiet keine Elektrokoagulation mit der geraden Sonde fällt. Befunde in fünf Fällen bei Elektrokoagulation mit der Saitenelektrode in diesem Gebiet sprechen jedoch dafür, daß zumindest in der „mittleren Etage“ des mittleren Drittels, sowie in den vorderen Anteilen des hinteren Drittels des GPI, eine Beeinflussung des Rigors der unteren Extremität stattfindet. Im vorderen Bereich des mittleren Drittels des GPI ist — als Ausdruck dafür, daß hier der Grenzbereich zwischen Arm- und Bein-Repräsentation im GPI zu liegen scheint — ein gehäuftes Auftreten kombinierter Arm-Bein-Effekte festzustellen, d.h. gleichzeitig auftretende, intraoperative Rigorlösung in Arm und Bein.

(Die Tatsache, daß eine gewisse Anzahl der registrierten Effekte bei unserer projektiven Darstellung außerhalb der Grenzen des GPI zu liegen scheint, führen wir — neben der Eigenschaft unserer Standardschablone, die nicht alle individuellen Ausdehnungsvariationen des GPI erfassen kann — darauf zurück, daß diese Punkte die Lage der Spitze der Elektrosonde bezeichnen. Der Koagulationsbereich dieser Sonden — die an ihrem Ende eine 2 oder 4 mm lange, isolationsfreie Strecke aufweisen — reicht dementsprechend bis in die Grenzen des GPI retrograd hinein. Zum Zwecke der Darstellung wurde jedoch von solchen relativierenden Überlegungen abgesehen. — Für die zwei, in Abb. 3 wiedergegebenen, dorsal weit außerhalb des GPI gelegenen Armeffekte möchten wir eine möglicherweise irrtümliche Registration als Begründung anführen.)

Besonders hinzuweisen bleibt auf die, leider nur in drei Fällen des untersuchten Kollektivs registrierte, deutliche *Sprachverbesserung bei Koagulationen im vordersten Anteil des GPI*. Ein Befund, der sowohl durch einen weiteren Fall (Nr. 15 unseres Kollektivs) bei Koagulation mit der Saitenelektrode in diesem Bereich gestützt wird, als auch durch Einzelbeobachtungen bei späteren Operationen.

Diese Befunde bestätigen die Auffassung einer, zumindest funktionellen, *somato-topischen Gliederung des Globus pallidus internus beim Menschen*. Sie darzulegen wurde nur ermöglicht durch die Methode der gestuften stereotaktischen Koagulation. HASSLER u. RIECHERT haben bereits — auf Grund klinischer Beobachtungen bei stereotaktischer Pallidotomie — auf eine derartige Somatotopik des GPI hingewiesen⁹. Wir haben diese Beobachtung durch detaillierte Untersuchung nun sichern und näher abgrenzen können.

* Saitenelektrode (MUNDINGER), die — mittels einer ausgefahrenen Metallsaite — Koagulationen auch in Bereichen gestattet, die nicht in der Penetrationsachse der gewöhnlichen, starr-geraden Elektrosonde liegen.

Die histologische Anatomie des GPI beim Menschen läßt in ihrer Gleichmäßigkeit keine derartige Gliederung vermuten. 1920 hatten jedoch bereits C. und O. Vogt — auf Grund pathologisch-anatomischer Untersuchungen im Vergleich zu klinischen Erscheinungen — die Vorstellung von einer Somatotopik des Pallidum. In einem ihrer Werke³⁵, in dem sie die Somatotopik des Striatum durch mehrere Fälle belegen, findet sich bei Fall 29, Epikrise, der Hinweis: „Parallel der ausgesprochenen Rigidität finden wir eine starke Pallidumerkrankung. Die letztere ist am stärksten im caudalen Bereich des Pallidum, d.h. demjenigen Teil, den wir als Rücken- und Beinzentrum auffassen.“ Wie wenig sich diese Auffassung jedoch seinerzeit unterbauen ließ, erhellt der Satz (loc. cit.): „... muß einer künftigen feineren somato-topischen Gliederung nicht nur des Putamen, sondern auch des Pallidum vorbehalten sein.“ Bei JAKOB findet sich 1923 lediglich die kursorische Bemerkung¹²: „... daß auch im Pallidum eine, dem Striatum entsprechende somato-topische Gliederung vorliegt,“ wobei kein Hinweis gegeben wird, wie diese sich darstellt.

Die erst in den letzten Jahren sich langsam klärende Vorstellung über die Funktion des gesamten extrapyramidalen Systems, hat die Erörterung dieser Frage bis heute fast ruhen lassen. So findet sich in einem der neuesten Standardwerke über das menschliche Gehirn³⁰ diese kurze, unspezifische Bemerkung von P. C. BUCY: „There is definite, though limited, evidence of a somato-topic representation in the basal ganglia, especially as they are related to abnormal involuntary movements“, — eine Darlegung, die in gleicher Kürze von PAULINE M. COOKE loc. cit geteilt wird.

Zusammenfassend sichern unsere Befunde — ermöglicht durch das von RIECHERT u. Mitarb. entwickelte Zielgerät und Verfahren gestufter Koagulation bei stereotaktischen Hirnoperationen — die Vorstellung einer somato-topischen Gliederung des GPI.

Nach den vorliegenden Untersuchungen besteht eine funktionelle Repräsentation des Körperschema im GPI derart, daß in dessen vordersten Anteil der Kopf, in dessen vorderer Hälfte vornehmlich die obere, und in der hinteren Hälfte des GPI vorwiegend die untere Extremität vertreten wird (Abb.5). Diese somato-topische Gliederung des GPI ähnelt der des Striatum (C. und O. Vogt³⁵ und der Capsula interna, in denen die Repräsentation des Körperschema Kopf, Arm und Bein ebenfalls von rostral nach dorsal erfolgt.

Diese Kenntnis einer somato-topischen Gliederung des GPI hat insofern operationstechnische Bedeutung, als die Lokalisation der Elektrosonde und die Koagulation oder die umschriebene Ausschaltung mit Radio-Isotopen im GPI individuell erfolgen sollte. Der Schwerpunkt der Ausschaltung im GPI wird von uns daher in Anpassung an das klinische

Bild des Parkinson-Kranken gewählt, und z.B. in Fällen grober Sprachbehinderung die Destruktion in den vorderen Anteilen, in Fällen starken Rigors der unteren Extremität in den hinteren Anteilen des GPI betont. Unter diesem Aspekt weisen Verfahren, wie z.B. die Chemonekrose (COOPER et al.) des Pallidum internum, infolge ihrer mangelhaften und unregelmäßigen Herdbegrenzung — wie neuere Untersuchungen über Chemonekrosen gezeigt haben^{3,37} — erhebliche Nachteile auf. Auch erscheint nach unseren Untersuchungen eine Ausschaltung immer des

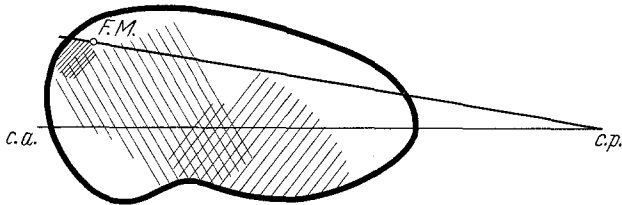


Abb. 5. Schematische Darstellung der Bezirke isolierter Rigorlösung bei gestufter stereotaktischer Pallidotomie im lateralen Projektionsbild des GPI. Kopf // // // //, Arm \ \ \ \ \ Bein / / / / /

gleichen pallidären Bezirkes, wie sie auf Grund einer Zielpunktlokalisation mit festgelegten Standardmaßen (BERTRAND¹, GUIOT u. BRION², OBRADOR¹⁵, SPIEGEL u. WYCIS³², TALAIRACH^{33,34}; zit. nach¹³) durchgeführt wird, keine Berücksichtigung der Somatotopik des GPI zu gestatten, was sich ebenfalls in einer ungenügenden Beeinflussung des Krankheitsbildes äußern kann. Demgegenüber bietet ein gestuftes Vorgehen unter Berücksichtigung der pallidären Somatotopik die Vorteile, daß primär ein optimaler klinischer Effekt erzielt werden kann, zum anderen nicht die gesamte Masse des GPI ausgeschaltet werden braucht, eine Möglichkeit, die bei doppelseitigen Eingriffen erhebliche Bedeutung gewinnt.

Der Begriff „gezielte stereotaktische Hirnoperation“ umfaßt die Forderungen auf Einschränkung der lokalen Noxe am menschlichen Gehirn, auf exakte Lokalisation und Abgrenzung, und auf fortschreitende Differenzierung in der spezifischen Beeinflussung klinischer Syndrome, vornehmlich des extrapyramidalen Systems. Diesen Forderungen bei der stereotaktischen Pallidotomie mit fortschreitender Entwicklung der funktionellen Hirnchirurgie Rechnung zu tragen, führte uns zu der vorliegenden Untersuchung über die funktionellen Somatotopik des Globus pallidus internus.

Zusammenfassung

Die umschriebene Zerstörung des Globus pallidus internus (= GPI) ist eines der hirnochirurgischen Verfahren in der symptomatischen Therapie des Parkinsonismus. RIECHERT, MUNDINGER und HASSLER setzten diese Läsion durch gestufte Elektrokoagulation mit einer stereotaktisch im GPI

plazierten Elektrosonde. Neben Tremor- und mäßiger Akineseeinflussung zeichnet sich die stereotaktische, gestufte Pallidotomie durch intraoperative, differenzierte Rigorlösung und postoperative Konstanz der Rigorbeeinflussung aus.

Durch die postoperative Rekonstruktion der Sondendurchdringungszone in einem lateralen Projektionsbild des GPI, und den Vergleich der einzelnen Koagulationsorte mit dem klinischen Bild der Rigorlösung, ergab sich auf Grund von 92 in dieser Weise untersuchten Fällen eine Zuordnung der Rigorlösung zur anatomischen Struktur des GPI im Sinne einer funktionellen Somatotopik des GPI. Die Repräsentation des Körperschema Kopf, Arm, Bein erfolgt im GPI in rostral-dorsaler Richtung. Daraus ergab sich uns die Möglichkeit einer optimalen operationstechnischen Beeinflussung der Symptomatik bei Parkinsonismus durch entsprechende Wahl des Läsionsortes im GPI.

Literatur

- ¹ BERTRAND, C. M.: A pneumotaxic technique for producing localized cerebral lesions and its use in the treatment of Parkinsonian's disease. *J. Neurosurg.* **15**, 251—264 (1958).
- ² GUIOT, G., et S. BRION: Traitement neuro-chirurgical des syndromes choréo-athétosiques et parkinsonien. *Sem. Hôp. Paris* **28**, 2095—2099 (1952).
- ³ HAKIM, S., and C. MILLER-FISHER: A New Technique for the Microscopic Examination of Cerebral Vessels in vivo. *J. Neurosurg.* **14**, 405—412 (1957).
- ⁴ HASSLER, R.: Zur Pathologie der Paralysis agitans und des postenzephalitischen Parkinsonismus. *J. Psychol. Neurol. (Lpz.)* **48**, 387—476 (1938).
- ⁵ HASSLER, R.: Extrapyramidal-motorische Syndrome und Erkrankungen. In: *Hdb. Innere Med.* V, 3, 676—904. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953.
- ⁶ HASSLER, R.: Die extrapyramidalen Rindensysteme und die zentrale Regelung der Motorik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **175**, 233—258 (1956).
- ⁷ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Indikationen und Lokalisationsmethode bei gezielten Hirnoperationen. *Nervenarzt* **25**, 441—447 (1954).
- ⁸ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Klinische Effekte bei Reizung einiger Thalamuskern am Menschen. *Nervenarzt* **26**, 35—40 (1955).
- ⁹ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Über die Symptomatik und operative Behandlung der extrapyramidalen Bewegungsstörungen. *Med. Klin.* **53**, 817—824 (1958).
- ¹⁰ HASSLER, R., u. T. RIECHERT: Klinische und anatomische Befunde bei stereotaktischen Schmerzoperationen im Thalamus. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **200**, 93—122 (1959).
- ¹¹ HENSCHEN, C., J. KLINGLER u. T. RIECHERT: Kraniozerebrale Korrelationstopographie thalamofrontaler Bahnen und gezielte Hirnoperationen. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **273**, 548—565 (1953).
- ¹² JAKOB, A.: Die extrapyramidalen Erkrankungen. Berlin: Springer 1923.
- ¹³ LÉVY, A.: Die Pallidotomie beim Parkinsonsyndrom. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **199**, 487—507 (1959).
- ¹⁴ MUNDINGER, F., T. RIECHERT u. E. GABRIEL: Untersuchungen zu den physikalischen und technischen Voraussetzungen einer dosierten Hochfrequenzkoagulation bei stereotaktischen Hirnoperationen. *Zbl. Chir.* **85**, 1051 (1960).

- ¹⁵ OBRADOR, S.: Tratamiento quirurgico de la enfermedad de Parkinson y otras disquinesias por operaciones subcorticales. Anal. Acad. nac. Med. (Madr.) **74**, 303—323 (1957).
- ¹⁶ POTTHOFF, P.: Encephalographische und korrelierende, topographisch-klinische Untersuchungen zur stereotaktischen Pallidotomie. Inaug. Diss. Freiburg 1959.
- ¹⁷ RIECHERT, T.: Die Durchschneidung thalamofrontaler Bahnen bei unbeeinflussbaren chronischen Schmerzzuständen. Med. Klin. **44**, 689—692 (1949).
- ¹⁸ RIECHERT, T.: Neurochirurgische Therapie. In: Hdb. Innere Med. V, 1, 1514 bis 1518. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953.
- ¹⁹ RIECHERT, T.: Die Entfernung von tiefsitzenden Hirnstecksplittern mit Hilfe des stereotaktischen Operationsverfahrens. Z. Neurochir. **15**, 159—164 (1955).
- ²⁰ RIECHERT, T.: Die stereotaktische Hypophysenoperation. Acta neurochir. (Wien) Suppl. III, 90—97 (1956).
- ²¹ RIECHERT, T.: Stereotaktische Operationen bei Bewegungsstörungen. Dtsch. Z. Nervenheilk. **175**, 511—519 (1957).
- ²² RIECHERT, T.: Die chirurgische Behandlung des Parkinsonismus. Langenbecks Arch. klin. Chir. **287**, 660—666 (1957).
- ²³ RIECHERT, T.: Die stereotaktischen Hirnoperationen. Dtsch. med. Wschr. **84**, 1669—1683 (1959).
- ²⁴ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Beschreibung und Anwendung eines Zielgerätes für stereotaktische Hirnoperationen (II. Modell). Acta neurochir. (Wien) Suppl. III, 308—337 (1955).
- ²⁵ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Erfahrungen der stereotaktischen Hypophysenoperation mit Radio-Isotopen. Chirurg **28**, 145—151 (1957).
- ²⁶ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Ein kombinierter Zielbügel mit Bohraggregat zur Vereinfachung stereotaktischer Hirnoperationen. Arch. Psychiat. Nervenkr. **199**, 377—385 (1959).
- ²⁷ RIECHERT, T., u. F. MUNDINGER: Stereotaktische Geräte. In: SCHALTENBRAND, G., u. P. BAILEY: Einführung in die stereotaktischen Operationen. Stuttgart: Thieme 1959.
- ²⁸ RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Über ein neues Zielgerät zur intrakraniellen Ableitung und Ausschaltung. Arch. Psychiat. Nervenkr. **186**, 225—230 (1951).
- ²⁹ RIECHERT, T., u. M. WOLFF: Die Entwicklung und klinische Bedeutung der gezielten Hirnoperationen. Med. Klin. **46**, 609—611 (1951).
- ³⁰ SCHALTENBRAND, G., u. P. BAILEY: Einführung in die stereotaktischen Operationen mit einem Atlas des menschlichen Gehirnes. Stuttgart: Thieme 1959.
- ³¹ SCHÜRMAN, K.: Die Chirurgie der extrapyramidalen Hyperkinesen. In: Hdb. Neurochirurgie VI, 58—136. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1957.
- ³² SPIEGEL, E. A., u. H. T. WYDIS: Stereoecephalotomy, Part I: Methods and stereotaxic atlas of the human brain. New York: Grune and Stratton 1952.
- ³³ TALAIRACH, J.: Les explorations radiologiques stéréotaxiques. Rev. neurol. **90**, 556—584 (1954).
- ³⁴ TALAIRACH, J., M. DAVID, P. TOURNOUX, H. CORREDOR et T. KVASINA: Atlas d'Anatomie Stéréotaxique. Paris: Masson 1957.
- ³⁵ VOGT, C., u. O. VOGT: Zur Lehre der Erkrankungen des striären Systems. J. Psychol. Neurol. (Lpz.) **25**, (1920).
- ³⁶ WALKER, E. A.: The surgical treatment of involuntary movements. Tex. Rep. Biol. Med. **10**, 105—129 (1952).
- ³⁷ WHITE, R. J.: Neuropathologic Review of Brain Lesions and Inherent Dangers in Chemopallidectomy. A. M. A. Arch. Neurol. Psychiat. **2**, 12—18 (1960).

Privat-Dozent Dr. FRITZ MUNDINGER und Dr. PETER POTTHOFF,
Neurochirurgische Universitätsklinik Freiburg i. Br., Hugstetter Straße 55