

Der Hirnkreislauf

Physiologie · Pathologie · Klinik
Herausgegeben von H. Gänshirt



Georg Thieme Verlag Stuttgart

Der Hirnkreislauf

Physiologie · Pathologie
Klinik

Herausgegeben von
H. Gänshirt

482 Abbildungen in
780 Einzeldarstellungen
99 Tabellen

Unter Mitarbeit von

V. Alsen
O. H. Arnold
H. Baark
E. Betz
H. Betz
W. Dorndorf
H. J. Freund
H. Gänshirt
H. Hager
E. Herrmann
P. Huber
A. Huhn
D. H. Ingvar
H. Kehrner
F.-W. Kolkman
H. Krayenbühl
P. Krupp
N. A. Lassen
H. Lechner
D. W. Lübbers
M. Reivich
J. Rickenbacher
H. Rösler
W. Rutishauser
W. Schiefer
K. Schmidt
G. Ule
J. Wellauer
J. Wenner
A. Wessing
M. G. Yaşargil



1972
Georg Thieme Verlag
Stuttgart

Diejenigen Bezeichnungen, die zugleich eingetragene Warenzeichen sind, wurden *nicht* besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus der Bezeichnung einer Ware mit dem für diese eingetragenen Warenzeichen nicht geschlossen werden, daß die Bezeichnung ein freier Warenname ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente oder Gebrauchsmuster vorliegen.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1972 – Printed in Germany – Satz und Druck: H. Laupp jr, Tübingen

ISBN 3 13 460101 0

Vorwort

Der Hirnkreislauf und die Störungen der Hirndurchblutung sind nicht mehr Tummelplatz der Intuition und Spekulation, sondern ein Feld der exakten Forschung und der wissenschaftlichen Analyse. Wie auf anderen Gebieten der naturwissenschaftlichen Medizin, so wurden die Fortschritte auf dem der zerebralen Durchblutungsstörungen vornehmlich durch die Entwicklung neuer Methoden und durch gründliche statistische Untersuchungen ermöglicht.

Die Flut des Erarbeiteten hat sich in Einzelpublikationen und Symposienberichten niedergeschlagen und ist deshalb weit in der Literatur verstreut. Sammelwerke sind heute noch Seltenheiten. Dies hat seinen Grund darin, daß die Forschung auf nahezu allen Teilgebieten im Fluß ist. In dieser Phase eine Besinnungspause einzulegen und die Funde zu sichten, zu ordnen und zu gewichten, ist gleichermaßen notwendig wie riskant. Notwendig, weil die Arbeit auf dem Gebiet der Hirnkreislaufstörungen sich von Tag zu Tag mehr spezialisiert und selbst der Spezialist nur mit Mühe den Überblick behält. Riskant mag das Unternehmen genannt werden, weil morgen schon überholt sein kann, was heute geschrieben wird. Dieses Risiko erscheint indessen weniger groß, als zu Beginn der Arbeit angenommen worden war, denn im Laufe der Entstehung des Buches erwies sich einmal mehr, daß die Forschung prinzi-

piell Neues seltener gebiert, als es die Masse an täglich produzierten Daten glauben machen möchte.

Das Buch, angelegt zwischen dem Konzept des Lehrbuches und dem des Handbuchs, also über nur Belehrendes hinausgehend, Vollständigkeit aber, wo sie nur enzyklopädischen Zwecken dient, nicht anstrebbend, wurde mit dem Ziel geschrieben, das derzeitige Wissen auf dem Gebiet des Hirnkreislaufs und seiner Störungen zusammenzufassen und zu den Quellen des Wissens, den Methoden und den Originalarbeiten hinzuführen. Wert wurde darauf gelegt, hinter den zahllosen und vielfältigen Fakten die großen Zusammenhänge erkennbar bleiben zu lassen und eine Synthese zwischen Grundlagenforschung und Klinik zu versuchen.

Das Werk, an dem sich 30 Mitarbeiter beteiligt haben, wäre nicht zustande gekommen ohne die selbstlose Zusammenarbeit aller Beteiligten. Hierfür gebührt allen Mitarbeitern der besondere Dank des Herausgebers. Dem Verlag in der Person von Herrn Dr. med. h.c. GÜNTHER HAUFF sagen wir Dank für seine stete tätige Hilfe und Beratung und für seine nie erlahmende Geduld. Schließlich schulde ich Dank meinem Mitarbeiter Prof. Dr. WOLFGANG DORNDORF, der mich in der herausgeberischen Arbeit kollegial und sachverständig unterstützt hat.

Heidelberg, Juli 1972

H. GÄNSHIRT

Mitarbeiterverzeichnis

- ALSEN, V., Prof. Dr.; Neurologisch-Psychiatrische Klinik der Krankenanstalten Sarepta, 4813 Bethel-Bielefeld, Bethesdaweg 110
- ARNOLD, O. H., Prof. Dr.; Medizinische Klinik und Poliklinik, Klinikum Essen der Ruhr-Universität, 43 Essen, Hufelandstraße 55
- BAARK, H., Dr.; Leitender Arzt der Deutschen Lufthansa AG, 2 Hamburg, Luftwerft
- BETZ, E., Dr. Prof.; Lehrstuhl für angewandte Physiologie der Universität, 74 Tübingen, Gmelinstraße 5
- BETZ, H., Dr.; Neurologische Universitätsklinik, 69 Heidelberg, Voßstraße 2
- DORNDORF, W., Prof. Dr.; Neurologische Universitätsklinik, 69 Heidelberg, Voßstraße 2
- FREUND, H. J., Priv.-Doz. Dr.; Neurologische Klinik mit Abteilung für Klinische Neurophysiologie der Universität, 78 Freiburg, Hansastraße 9
- GÄNSHIRT, H., Prof. Dr.; Neurologische Universitätsklinik, 69 Heidelberg, Voßstraße 2
- HAGER, H., Prof. Dr.; Universitäts-Augenklinik des Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin, 1 Berlin 45, Hindenburgdamm 30
- HERRMANN, E., Prof. Dr.; Neurologische und Psychiatrische Klinik der Städtischen Krankenanstalten, 33 Braunschweig, Salzdahlumer Straße 90
- HUBER, P., Prof. Dr.; Neuroradiologische Abteilung des Strahleninstituts der Universität, Inselspital, CH-3009 Bern
- HUHN, A., Prof. Dr.; Rheinisches Landeskrankenhaus, 53 Bonn, Kölnstraße 208
- INGVAR, DAVID H., Dr.; Department of Clinical Neurophysiology, Universitäts-Hospital, S-22185 Lund
- KEHRER, H., Prof. Dr.; Nervenkrankheiten der Universität, 44 Münster, Roxeler Straße 131
- KOLKMANN, F.-W., Priv.-Doz. Dr.; Institut für Neuropathologie der Universität, 69 Heidelberg, Berliner Straße 5
- KRAYENBÜHL, H., Prof. Dr.; Neurochirurgische Universitätsklinik, Kantonsspital, CH-8006 Zürich, Rämistraße 100
- KRUPP, P., Prof. Dr.; Biologische Forschungslaboratorien der Division Pharma der CIBA-GEIGY AG, CH-4002 Basel
- LASSEN, N. A., Dr.; Department of Clinical Physiology, Bispebjerg-Hospital, Kopenhagen, Bakke 23, Dänemark
- LECHNER, H., Prof. Dr.; Universitäts-Nervenkrankheiten, A-8036 Graz, Auenbruggerplatz 22
- LÜBBERS, D. W., Prof. Dr.; Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, 46 Dortmund, Rheinlanddamm 201
- REIVICH, M., Prof. Dr.; Hospital of the University of Pennsylvania Department of Neurology, Philadelphia 19104 USA
- RICKENBACHER, J., Prof. Dr.; Anatomisches Institut der Universität CH-8006 Zürich, Gloriastraße 19
- RÖSLER, H., Priv.-Doz. Dr.; Zentrales Röntgeninstitut des Inselspitals und der Universität, Inselspital CH-3008 Bern
- RUTISHAUSER, W., Prof. Dr.; Department für Innere Medizin, Kantonsspital, CH-8006 Zürich, Rämistraße 100
- SCHIEFER, W., Prof. Dr.; Neurochirurgische Universitätsklinik, 852 Erlangen, Krankenhausstraße 12
- SCHMIDT, K., Prof. Dr.; Neurochirurgische Klinik im Nervenkrankenhaus, 887 Günzburg
- ULE, G., Prof. Dr.; Institut für Neuropathologie der Universität, 69 Heidelberg, Berliner Straße 5
- WELLAUER, J., Prof. Dr.; Röntgenologisches Zentralinstitut, Kantonsspital, CH-8006 Zürich, Schmelzbergstraße
- WENNER, J., Prof. Dr.; Kinderklinik der Medizinischen Hochschule, 3 Hannover-Kleefeld, Roderbruchstraße 101
- WESSING, A., Prof. Dr.; Augenklinik, Klinikum Essen der Ruhr-Universität Bochum, 43 Essen, Hufelandstraße 55
- YAŞARGIL, M. G., Prof. Dr.; Neurochirurgische Universitätsklinik, Kantonsspital, CH-8006 Zürich, Rämistraße 100

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Mitarbeiterverzeichnis	IV
1 Embryologie der Hirngefäße	
Von J. RICKENBACHER	1
Die Neurulation und das primitive Gefäßmuster des embryonalen Gehirns	1
Die Heraussonderung des definitiven Gefäßver- laufes	3
Arterien	3
Hauptstämme	3
Äste zum Vorder- und Mittelhirn	5
Äste zum Hinterhirn	8
Äste zu anderen Regionen	9
Venen	10
Die Differenzierung (Histogenese) der Hirngefäß- wand	14
Die Anfälligkeit der Hirngefäße gegenüber prä- natalen Störungen	18
Literatur	24
2 Normale und pathologische Anatomie des Hirngefäßsystems	
Allgemeine Morphologie. Von J. RICKENBACHER	25
Abschnitte des Hirngefäßsystems	25
Einbau der verschiedenen Gefäßabschnitte in den Körper	25
Arterien	25
Zervikaler Abschnitt	25
Übergangsstrecken	26
Subarachnoidale Verlaufsstrecke	29
Pialer und intrazerebraler Abschnitt	30
Venen	31
Oberflächliche Hirnvenen	31
Tiefe Hirnvenen	33
Sinus durae matris	33
Anastomosen	36
Arterielle Anastomosen	36
Venöse Anastomosen	38
Arteriovenöse Anastomosen	38
Ernährung der Hirngefäße	38
Innervation der Hirngefäße	39
Histologischer Bau der Hirngefäße	40
Submikroskopischer Bau der Hirngefäße	42
Literatur	45
Pathologische Anatomie. Von G. ULE und F.-W. KOLKMANN	47
Auswirkungen zerebraler Durchblutungsstörun- gen	47
Elektive Parenchymnekrose	47
Totalnekrose	51
Ursachen zerebraler Durchblutungsstörungen	54
Embolische Gefäßverschlüsse	54
Arteriosklerose	62
Allgemeine Bemerkungen	62
Besonderheiten der Hirnarteriosklerose	66
Hypertonische Hirngefäßerkrankung	79
Skalariforme Sklerose	80
Hyalinose	80
Folgen der arteriosklerotischen und hyperten- sionischen Hirngefäßerkrankung	87
Topographie der Hirninfarkte	89
Zerebrale Massenblutung	94
Status lacunaris	96
Senile Hirngefäßveränderungen	99
Entzündliche Erkrankungen der Hirngefäße	106
Unspezifische Arteriitiden	106
Generalisierende und nekrotisierende Arteri- itiden	109
Spezifische Arteriitiden	118
Traumatische Läsionen der Hirngefäße	119
Hirngefäßveränderungen nach Röntgenbestrah- lung	121

Zirkulationsstörungen bei transtentorieller Herniation	124	Infratentorielle Venen des Vertebralisangio-grammes	196
Hirnvenen- und Sinusthrombosen	126	Sinus durae matris	197
Angiomatöse Fehlbildungen und Aneurysmen	129	Die obere Sinusgruppe	197
Angioma cavernosum	131	Basale Sinusgruppe	198
Angioma capillare ectaticum	133	Literatur	199
Angioma capillare et venosum calcificans (Sturge-Weber-Krankheit)	135		
Angioma arteriovenosum aneurysmaticum	138	4 Entwicklung der Kapillarisation und der Sauerstoffversorgung des Gehirns im Säuglingsalter	
Sackförmiges Aneurysma (Forbus)	142	Von J. WENNER	201
Zerebrale Durchblutungsstörungen bei Erkrankungen der inneren Organe	147	Postnatale Hirnentwicklung und Anoxietoleranz	202
Literatur	150	Kapillarisation des Gehirns im ersten Lebensjahr	203
3 Das normale Hirngefäßsystem im angiographischen Bild		Ältere Untersuchungen des Sauerstoffverbrauchs und der Hirndurchblutung im Kindesalter	205
Von H. KRAYENBÜHL und M. G. YAŞARGIL	161	Arteriovenöse Sauerstoffgehaltsdifferenz für das Gehirn im Säuglingsalter	205
Die Hirnarterien	161	Hirnvenöser Sauerstoffdruck als Maß des Sauerstoffangebotes aus den Blutkapillaren an das Hirngewebe	207
Arterien des Karotissystems	161	Versuch einer Schätzung der Entwicklung des O ₂ -Verbrauchs und der Durchblutung des Gehirns im Säuglingsalter	209
Extrakranielle Abschnitte	161	Schlußfolgerungen	211
A. carotis communis	161	Literatur	212
A. carotis externa	161		
Intrakranielle Abschnitte	164	5 Physiologie der Gehirndurchblutung	
A. carotis interna	164	Von D. W. LÜBBERS	214
A. ophthalmica	165	Größe der Gehirndurchblutung	214
A. communicans posterior	166	Normalwerte der Gesamtdurchblutung des Gehirns	214
A. choroidea anterior	168	Normalwerte der regionalen Gehirndurchblutung	214
A. cerebri anterior	169	Situationsbedingte Beeinflussung der Gehirndurchblutung	217
A. communicans anterior	172	Durchblutung und Lebensalter	219
A. cerebri media	173	Durchblutung und Hypothermie	220
A. vertebralis	177	Größe des Energiebedarfs des Gehirns	220
Extrakranieller Abschnitt	177	Normalwerte des Energiebedarfs	220
Intrakranieller Abschnitt	177	Substratumsatz	221
Äste im extrakraniellen Abschnitt	178	Normalwerte	221
Äste im intrakraniellen Abschnitt	179	Akute Hypoglykämie	221
A. basilaris	180	Substratpermeation	223
Äste der A. basilaris	181	Sauerstoffverbrauch des Gehirns	223
A. cerebri posterior	182	Normalwerte	223
Die Vaskularisation des Zentralnervensystems	185	Regionaler Sauerstoffverbrauch	223
Die Hirnvenen	188	Situationsbedingte Beeinflussung des Sauerstoffverbrauchs	224
Topographie	188	Sauerstoffverbrauch und Lebensalter	224
Oberflächliche Hirnvenen	191	Sauerstoffverbrauch bei Hypothermie	224
Vv. cerebri ascendentes	191	O ₂ -Mangel	225
Vv. cerebri descendentes	191		
Variationen	191		
Tiefe Hirnvenen	193		
Vv. cerebri internae	193		
Variationen	194		
Supratentorielle Venen des Vertebralisangio-grammes	195		

Sauerstofftransport im Gehirn	227	Einfluß der nervösen Steuerung auf die Gehirndurchblutung	250
Gehirndurchblutung und Systemkreislauf	232	Vasokonstriktion (Sympathikus)	251
Allgemeine Gesetzmäßigkeiten	232	Vasodilatation (Parasympathikus)	251
Perfusionsdruck	232	Andere nervöse Einflüsse	251
Strömungswiderstand	233	Nervöse Beeinflussung der Blutdruck-, paCO_2 - und paO_2 -Antwortkurven	251
Fließeigenschaften	234	Literatur	254
Strömungswiderstand des Gehirnkreislaufs	234		
Normale Werte	234	6 Methoden der zerebralen Kreislauffunktionsdiagnostik und der Hirndurchblutungsmessung	
Arterielle Strombahn	234	Historische Methoden der Erforschung des Gehirnkreislaufs. Von E. BETZ	261
Verteilungsstörungen	235	Literatur	264
Viskosität	235	Technik der zerebralen Angiographie. Von H. BETZ	265
Einfluß des Blutdrucks auf die Gehirndurchblutung (Blutdruck-Autoregulation)	236	Apparatur	265
Stromstärke-Druckdiagramm	236	Strahlenbelastung	266
Kritische Schwelle	236	Kontrastmittel	266
Zeitkonstante der Autoregulation	237	Darstellung des Karotiskreislaufes	266
Aufhebung der Autoregulation	237	Darstellung des Vertebraliskreislaufes	268
Deutung der Blutdruck-Autoregulation	238	Darstellung der Aortenbogenäste	269
Historie	239	Darstellung der Hirnvenen, Hirnsinus und Orbitavenen	269
Einfluß des Herzminutenvolumens auf die Gehirndurchblutung	239	Literatur	269
Einfluß des Liquordruckes auf die Gehirndurchblutung	239	Angiographische Funktionsdiagnostik des Hirnkreislaufs. Von P. HUBER	270
Einfluß von pH und CO_2 auf die Gehirndurchblutung	240	Die Zirkulationszeit	270
Vorbemerkung	240	Definition der Zirkulationszeit	271
Der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Gehirndurchblutung	241	Bestimmung der Zirkulationszeit	272
pH im arteriellen Blut	241	Einfluß von CO_2 , medikamentöser Vasodilatation und Blutdruck auf die arteriovenöse Zirkulationszeit	272
pH im Extrazellularraum	242	Zirkulationszeit beim gesunden Erwachsenen und Kind	276
Der Einfluß des Kohlendioxyds auf die Gehirndurchblutung	242	Zirkulationszeit unter pathologischen Bedingungen	277
Arterieller Kohlensäuredruck	242	Allgemeine Verzögerungen	277
paCO_2 -Antwortkurve anderer Gehirnteile	244	Allgemeine Zirkulationsbeschleunigung	279
Regionale paCO_2 -Antwortkurve	244	Lokale Verzögerungen	279
Verteilungsstörungen	245	Lokale Beschleunigung	282
CO_2 im Gewebe	245	Kollateralkreisläufe	287
Zeitkonstante der paCO_2 -Wirkung	246	Bedeutung der Druckgradienten für den Kollateralkreislauf	287
CO_2 -Wirkung auf den Blutdruck und den Liquordruck	246	Sichtbare Kollateralkreisläufe zu Beginn einer angiographischen Serie	287
Chronische CO_2 -Wirkung	246	Die Bedeutung der Doppelfüllung	287
CO_2 -Wirkung auf den Stoffwechsel	247	Kollateralkreisläufe bei Gefäßverschlüssen	289
Wirkungsmechanismus	247	Angiographisches Bild des Kollateralkreislaufes	292
Einfluß von Sauerstoff und Glukose auf die Gehirndurchblutung	247		
Sauerstoff	247		
Akute Hypoxie	247		
Reaktionsschwelle	247		
Kritische Schwelle	247		
Hypoxie und Hypokapnie bzw. Hyperkapnie	248		
Hypoxie und Blutdruck-Autoregulation	248		
Chronische Hypoxie	248		
Hyperoxie	249		
Wirkungsmechanismus	249		
Glukose	250		

Die angiographische Bestimmung der Hirndurchblutung	292	Technik	343
Literatur	297	Ergebnisse	344
Impedanzmethoden. Von H. LECHNER	298	Vergleich der regionalen Methode der Hirndurchblutungsmessung mit der Serienangiographie und der Elektroenzephalographie	347
Geschichte der Rheoenzephalographie	299	Praktische Hinweise und weitere Entwicklungsmöglichkeiten der Methode	348
Derzeit gebräuchliche Impedanzmethoden	300	Literatur	348
Gebräuchlichste Ableitungsmethoden	302		
Bioelektrische Grundlagen der Impedanzveränderungen	303	Szintigraphie bei Hirngefäßerkrankungen und Hirndurchblutungsstörungen. Von H. RÖSLER	350
Beurteilung der Impedanzveränderungen	305	Meßsysteme.	351
Normalwerte	308	Manuelle Methode	351
Klinische Korrelationen	310	Orthogonalmethode	351
Ruherheographie	311	Konturszintigraphie	352
Funktionsrheographie	312	Kamerasysteme	352
Karotiskompression	312	Positronenszintigraphie	352
Veränderung der Blutgase	314	Informationsinhalt und -präsentation im Szintigramm	352
Pharmaka	314	Gebräuchliche Radionuklide	352
Klinische Anwendung der Impedanzmethoden	314	¹³¹ J-Verbindungen	353
Literatur	315	¹⁹⁷ Hg- und ²⁰³ Hg-Verbindungen	353
Thermische Methoden zur Messung der Gehirndurchblutung. Von E. BETZ	317	^{99m} Tc-Perthetnetat	353
Registrierung mit Wärmeleitmessern	317	^{113m} In-Verbindungen	354
Meßprinzip	317	Positronenstrahler	354
Elemente zur Messung der lokalen Durchblutung im Innern des Gehirns	318	Radioaktive Makropartikel	354
Temperaturfelder der Sonden	318	Diffusible Substanzen	354
Fortlaufende Registrierung der lokalen Durchblutung der Gehirnoberfläche mit thermischen Methoden	320	Hirnszintigraphische Methoden	354
Quantitative Durchblutungsmessung mit Hilfe geheizter Thermofühler.	322	I. Radioangiographie mit nichtdiffusiblen Substanzen	354
Messung der Jugularvenendurchblutung mit Wärmeleitsonden	323	II. Vaskuläres Hirnszintigramm	358
Literatur	323	III. Herkömmliches Hirnszintigramm	359
Stickoxydul-Technik und Modifikationen. Von E. HERRMANN	324	IV. Angioszintigraphie des Gehirns	359
Prinzip der Methode, Theorie und Berechnung	324	V. Radioangiographie mit diffusiblen Substanzen.	361
Untersuchungstechnik	326	Sonstige hirnszintigraphische Untersuchungsmethoden	361
Grenzen der Methode	329	Szintigraphische Befunde bei zerebrovaskulären Erkrankungen	361
Modifikationen der Stickoxydulmethode	329	A. Expansive Prozesse	361
Literatur	330	1. Extrazerebrales Hämatom	361
Isotopenmethoden	331	2. Arteriovenöse Mißbildungen und kavernöse Angiome	362
Zerebrale Autoradiographie. Von M. REIVICH	331	3. Arteriellcs Aneurysma	364
Prinzip	331	4. Intrazerebrales Hämatom	365
Ergebnisse	337	5. Blutung in eine Metastase	365
Anhang	340	B. Nicht expansive Prozesse.	365
Literatur	341	1. Kardiozerebrale Insuffizienz	367
Quantitative und regionale Messung der Hirndurchblutung. Von N. A. LASSEN und D. H. INGVAR	342	2. Generelle zerebrovaskuläre Insuffizienz	367
Prinzip	342	3. Funktionsstörungen ohne Infarkt	368
		4. Verschlüsse und Stenosen der Hauptarterien	368
		5. Störungen der venösen Strombahn	369
		6. Hirninfarkt	370
		Literatur	376

Ophthalmodynamographie in der Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Karotiden. Von H. HAGER.	378
Prinzip der Ophthalmodynamographie . . .	378
Durchführung der Ophthalmodynamographie	378
Kriterien der Blutdruckwerte und des Pulsationsvolumens.	379
Befunde bei Stenosen und Verschlüssen im Bereich der Karotiden	380
Diagnostische Möglichkeiten der Ophthalmodynamographie	383
Literatur	384
Fluoreszenzangiographie der Retina und Messung der Arm-Retina-Zeit. Von A. WESSING	385
Methodik	385
Beobachtung mit dem Ophthalmoskop . . .	386
Fluoreszenzphotographie	386
Photometrische Messung	387
Ergebnisse	389
Schlußfolgerungen	391
Literatur	391
Ultraschallpulskurvenschreibung an Karotiden und Vertebralarterien. Von H.-J. FREUND	392
Theoretische Grundlagen	392
Methodik	393
Pulskurvenregistrierung von der A. carotis interna und von der A. vertebralis durch Intensitätsmodulation	394
Befunde bei Normalpersonen	394
Ergebnisse der Pulskurvenregistrierung bei Patienten mit zerebralen Durchblutungsstörungen	397
Pulskurvenschreibung durch Wegmessung der Arterienwand	399
Wertung und Kritik der Methode	400
Literatur	400
Röntgendensitometrie. Von W. RUTISHAUSER und J. WELLAUER	401
Technische Grundlagen	401
Prinzip der Durchflußmessung.	402
Resultate von Durchflußmessungen durch Hals- und Gehirngefäße	404
Ausblick	406
Literatur	406
Die Wertigkeit der Methoden und ihre Bedeutung für die Klinik. Von H. GÄNSHIRT	407
Methoden, die Hirndurchblutung messen . . .	407
Zerebrale Angiographie.	407
Stickoxydulmethode	407
Xenonclearance	408
Wärmeleitmessung	408

Autoradiographie	408
Radioangiographie.	408
Vaskuläres Hirnszintigramm	408
Rheoenzephalographie	408
Methoden, die Angaben über die Durchblutung in einzelnen Hirngefäßen machen	408
Densitometrie	408
Ultraschallpulskurvenschreibung	409
Ophthalmodynamographie	409
Methoden, die die Folgen von Durchblutungsstörungen am Hirngewebe erfassen	409
Konventionelle Szintigraphie	409
Ausblick	409
Literatur	409

7 Pharmakologie des Gehirnkreislaufs

Von E. BETZ.	411
Gehirngefäßwiderstand bei Änderung der Atemgase und des pH im Blut und im Gehirn	411
Wirksame Stoffe.	411
Atemgase.	411
Wirkung fixer Säuren auf die Gehirndurchblutung.	413
Wirkung von Bikarbonat	415
Einflüsse von Narkotika auf die Gehirndurchblutung	416
Unterschiede der Regulation in Narkose und im Wachzustand	416
Wirkung verschiedenartiger Narkotika auf den Gehirnkreislauf	417
Injektionsnarkotika	417
Gasförmige Narkosemittel	418
Die Wirkung von Narkotika auf die Beziehung zwischen Durchblutung und Sauerstoffaufnahme des Gehirns.	419
Narkosezwischenfälle	421
Vasoaktive Substanzen	423
Bedeutung für die Therapie von Durchblutungsstörungen des Gehirns	423
Körpereigene Stoffe	425
Wirkung körperfremder vasoaktiver Substanzen	426
Psychopharmaka	428
Durchblutungsänderung durch osmotisch wirksame Stoffe	428
Antikoagulantien und Fibrinolytika	431
Sofort wirksame Stoffe	431
Oral wirksame Substanzen für Langzeitbehandlung mit langsamem Wirkungseintritt	431
Fibrinolyse	432
Schlußbemerkung	432
Literatur	433

8 Hirndurchblutung und Elektroenzephalographie

Von P. KRUPP 441

Veränderungen des EEG bei generalisierter Hypoxie 441

Pathophysiologische Vorbemerkungen 441

Elektroenzephalographische Befunde beim Tier 443

Elektroenzephalographische Befunde beim Menschen 446

Pathogenese generalisierter hypoxischer oder ischämischer Veränderungen im EEG. 448

Veränderungen des EEG bei lokalen Durchblutungsstörungen 451

Arterielle Ischämien 452

Durchblutungsstörung im Bereich der A. cerebri media 452

Durchblutungsstörungen im Bereich der A. cerebri anterior und posterior 453

Durchblutungsstörung im Bereich der A. carotis interna. 453

Durchblutungsstörung im Bereich der vertebralen und basilaren Arterien 454

Erweichungsherde 454

Zerebrale Hämorrhagien 454

Ruptur der Aa. lenticulostriatae 454

Blutungen aus Aneurysmen und Angiomen 455

Thrombosen im Bereich des intrakraniellen Venensystems 455

Diffuse Arteriosklerose der Hirngefäße 455

Funktionelle Beziehungen zwischen der Hirndurchblutung und dem EEG. 456

Wirkung von zerebralen Aktivitätsänderungen auf die Hirndurchblutung. 457

Dissoziation zwischen der Aktivität des EEG und der Hirndurchblutung 458

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Literatur 460

Aneurysmen der A. communicans posterior 470

Aneurysmen der A. cerebri media 470

Aneurysmen der A. vertebralis und basilaris 471

Extrakranielle Aneurysmen 473

Diagnose und Behandlung der Subarachnoidalblutung. 473

Therapie unmittelbar nach der Blutung. 473

Zeitpunkt und Technik der zerebralen Angiographie. 473

Prognose und Indikation zur Behandlung 475

Zeitpunkt der Operation 476

Auswahl der Operationsmethode 476

Postoperative Phase 479

Arteriovenöse razemöse Angiome (arteriovenöse Mißbildungen) 480

Formen und Lokalisation der arteriovenösen razemösen Angiome 480

Blutversorgung der arteriovenösen Mißbildungen 482

Symptomatologie 483

Diagnose 486

Röntgennativdiagnostik. 487

Pneumenzephalographie 487

Angiographie 487

Therapie der arteriovenösen Mißbildungen vor der Angiographieära (1890-1930) 487

Extrakranielle Angiome. 487

Intrakranielle Angiome. 488

Therapie in der Angiographieära. 489

Operationsmortalität. 492

Unbehandelte Fälle. 492

Angioma cavernosum 495

Klinik 495

Symptome 495

Diagnose 497

Therapie 497

Angioma capillare et venosum calcificans (STURGE-WEBER-Krankheit). 497

Klinik 497

Alter und Geschlecht. 498

Lokalisation 498

Symptome 498

Röntgenveränderungen 499

Diagnose 499

Luftenzephalographie 500

Elektroenzephalographie 500

Angiographie 500

Therapie 500

Arteriovenöse Fisteln. 501

Pathogenese 501

Symptomatologie 502

Diagnose 502

Therapie 502

Literatur 505

9 Klinik der Gefäßmißbildungen und Gefäßfisteln

Von H. KRAYENBÜHL und M. G. YAŞARGIL 465

Sackförmige Aneurysmen 466

Vorkommen und Häufigkeit. 466

Alters- und Geschlechtsverteilung 466

Lokalisation 466

Multiplizität 467

Symptomatologie und Verlaufstypen 467

Aneurysmen der A. carotis interna 469

Aneurysmen der A. communicans anterior und der A. cerebri anterior 469

Aneurysmen im distalen Abschnitt der A. cerebri anterior 470

10 Klinik der arteriellen zerebralen Gefäßverschlüsse

Von W. DORNDORF und H. GÄNSHIRT	512
Definitionen.	512
Hirnarterien	512
Ischämischer Insult.	512
Ischämische Attacken	513
Hirnfarkt	513
Ursachen zerebraler Arterienverschlüsse	514
Atherosklerose	514
Arteriitiden	515
Verletzungen	517
Embolie	517
Epidemiologie.	518
Entstehung von Funktionsstörung und Infarkt	520
Historisches	520
Gegenwärtige Theorien.	521
Lokale Strombahneinengung und Thrombose	521
Blutdruckabfallkrise	522
Hypertensive Krise.	523
Mikroembolie.	523
Intrazerebraler Steal (Hämometakinese)	524
Hämorrhagien in atherosklerotische Plaques	524
Halsarterieneinengung durch Zug und Knickbildung	525
Sinus caroticus, Baro- und Chemorezeptoren	525
Hirnfarkte bei intrakraniellen Aneurysmen	526
Kollateralen	527
Kollateralsysteme der Hirnarterien	528
Karotis-Vertebris-Verbindungen	528
Querverbindungen zwischen gleichnamigen Hirnarterien	530
Vertikale, gleichseitige Kollateralen proximal des Willisschen Zirkels	530
Circulus arteriosus cerebri	533
Leptomenigeales Anastomosennetz	538
Blutentzugssyndrome („Steal“-Syndrome)	542
Extrakranielle „Steal“-Mechanismen	542
Verschluß der A. subclavia	543
Verschluß des Truncus brachiocephalicus	543
Verschluß der A. carotis communis	545
Arteriovenöse Fisteln der V. jugularis interna	545
Das Subklavia-Blutentzugssyndrom („Subclavian-steal“)	545
Symptomatologie	545
Provokationsmethoden	547
Intrakranieller Blut-„steal“	548
Symptomatologie der Hirnarterienverschlüsse	549
Aortenbogensyndrom	549
Truncus brachiocephalicus und A. subclavia	550
A. carotis communis	551
A. carotis externa	552
A. carotis interna	552

Symptome	554
Diagnose	557
A. choroidea anterior.	557
A. cerebri media.	558
A. cerebri anterior	561
A. cerebri posterior	563
A. vertebralis und A. basilaris	566
Symptome	567
Die bulbo-, ponto-, mesenzephalen Gefäßsyndrome	570
Syndrome der Medulla oblongata	571
Syndrome der Brücke	572
Mesenzephalale Syndrome	574
Hinweise für die Unterscheidung zwischen Kreislaufstörungen im Gebiet der A. carotis interna und der A. vertebralis – A. basilaris	574
Hinweise für die Unterscheidung Thrombose – Embolie	574
Hinweise zum Untersuchungsgang bei Hirnarterienverschlüssen	575
Frischer Hirnfarkt	575
Transitorische Insulte	575
Palpation	576
Auskultation	576
Nicht mehr frische Hirnfarkte	576
Extrapyramidal motorische und pseudobulbäre Störungen	577
Arteriosklerotischer Parkinsonismus	577
Symptome	577
Diagnose	578
Verlauf und Prognose	578
Therapie	578
Hyperkinetische Syndrome	578
Hemichorea, Hemiballismus	578
Hemiathetose	579
Pseudobulbärparalyse	579
Symptome	579
Diagnose	579
Therapie	580
Posttraumatische Hirnarterienverschlüsse	580
Verletzungen der Aortenbogenäste	581
Verletzungen der Karotiden und Vertebralarterien.	581
Verletzungen intrakranieller Arterien	583
Klinik, Diagnose, Differentialdiagnose	583
Behandlungsmaßnahmen	586
Luftembolie, Gasembolie, Dekompressionskrankheit	586
Luft- und Gasembolie	586
Geschichte, Vorkommen, Ursachen.	586
Luftembolie im kleinen Kreislauf.	586
Luftembolie im großen Kreislauf.	587
Diffusionsembolie (Überdruckembolie)	587
Therapie, Prognose	587

Dekompressionskrankheit	588	Hyperbare Sauerstofftherapie	614
Dekompression auf Atmosphärendruck (Taucherkrankheit, Caissonkrankheit)	588	Änderung des arteriellen CO ₂ -Druckes	615
Dekompression unter Atmosphärendruck (Höhendekompression, Fliegerkrankheit)	588	Antikoagulantien	616
Explosive Dekompression	589	Therapeutische Anwendung	617
Therapie und Prognose der Dekompressionskrankheit	589	Gefahren	618
Fettembolie	589	Indikationen	618
Geschichte	589	Kontraindikationen	619
Vorkommen	590	Ergebnisse	619
Ursachen	590	Thrombolytische Behandlung	621
Pathogenese	590	Thrombolytische Agentien	622
Symptome	591	Behandlungsergebnisse	623
Pulmonale Fettembolie, Fettembolie des kleinen Kreislaufs	591	Operative Behandlung	624
Zerebrale Fettembolie, Fettembolie des großen Kreislaufs	591	Indikationen	624
Differentialdiagnose	592	Operationstechnik	625
Prognose	592	Ergebnisse	626
Prophylaxe und Therapie	593	Komplikationen	628
Verlauf und Prognose der zerebralen arteriellen Verschlüsse	593	Mortalität	629
Vorboten und Krankheitsbeginn	593	Literatur	629
Prognose des arteriosklerotischen Hirninfarktes	595	11 Klinik der venösen Abflußstörungen des Gehirns	
Frühmortalität	596	Von A. HUHNS	651
Rezidivfrequenz	597	Allgemeine Pathogenese venöser Abflußstörungen des Gehirns	652
Spätmortalität	597	Kompression von Hirnvenen	652
Abhängigkeit der Prognose von Lebensalter und Geschlecht	597	Stase im Kapillargebiet	653
Einfluß der Lokalisation und Ausdehnung des Infarktes	599	Lokalisation der venösen Stase	653
Koexistierende Krankheiten	599	Pathogenese thrombotischer Verschlüsse der Hirnvenen und Sinus	653
Beziehungen zwischen dem angiographischen Befund und der Prognose	600	Entstehungsort intrakranieller venöser Thrombosen	655
Zustand der Überlebenden	600	Ausdehnung und Verteilung intrakranieller venöser Thrombosen	656
Prognose der Hirnembolie	601	Klinische Symptomatik bei nicht thrombotisch bedingter venöser Abflußstörung	656
Schlußfolgerungen	601	Klinik der Fehlbildungen von Hirnvenen und Sinus	656
Therapie	602	Krankheitsbilder bei venöser Stase	657
Allgemeine Richtlinien	602	Klinik der intrakraniellen venösen Thrombose	657
Prophylaktische Maßnahmen	602	Alters- und Geschlechtsverteilung	657
Therapie ischämischer Attacken	603	Klinische Symptomatik der Hirnvenen- und Sinusthrombosen	657
Akute Krankheitsphase des Schlaganfalles	604	Allgemeine Erscheinungen	658
Rehabilitation	607	Neurologische Symptomatik	658
Behandlung der Hirnembolie	608	Das Syndrom des Sinus sagittalis superior	660
Spezielle Behandlungsmethoden	608	Syndrome ascendierender und descendierender Venen des Hirnmantels	660
Rheologische Maßnahmen	608	Das Syndrom des Sinus transversus	661
Vasoaktive Therapie	610	Das Syndrom des Sinus cavernosus	661
Vasodilatoren	611	Die Syndrome der inneren venösen Quellgebiete	662
Theophyllinderivate	611		
Andere vasoaktive Pharmaka	612		
Analeptika	612		
Blutdrucksteigernde Mittel	612		
Antihypertensiva	613		
Herzmittel	613		
Sympathikusausschaltung	614		

Liquorveränderungen.	663	Hirnszintigraphie	690
Veränderungen im Elektroenzephalogramm	663	Schädelübersichtsaufnahme	690
Veränderungen im Serienangiogramm	663	Hirngefäßdarstellung.	690
Der Krankheitsverlauf bei zerebraler Venen-		Luftdarstellung der Hirnkammern	692
thrombose	668	Zuverlässigkeit, Aussagekraft und Grenzen	
Spätfolgen der zerebralen Venenthrombose	669	der diagnostischen Methoden	692
Diagnose und Differentialdiagnose	670	Differentialdiagnose	694
Therapie der Hirnvenen- und Sinusthrombose	671	Symptomatologie und Klinik der infratentoriellen	
Die Thrombolyse und die Antikoagulan-		Blutungen	696
tientherapie.	671	Spontane Kleinhirnblutungen	696
Thrombosebehandlung mit Acetylsalizyl-		Hilfsuntersuchungen	698
säure	673	Prognose der Kleinhirnblutung	699
Therapie mit Nebennierensteroiden	673	Primäre Ponsblutungen.	699
Symptomatische Behandlung der Hirnvenen-		Differentialdiagnose infratentorieller Blutungen	
und Sinusthrombose.	674	Pathogenese und Klinik des spontanen intrazere-	
Operative Behandlung der Hirnvenen-		bralen Hämatoms	702
thrombose	674	Die sogenannte traumatische Spätapoplexie	703
Indikation zur operativen hinteren Entlastung.	674	Verlauf und Prognose	703
Antikonvulsive Therapie	674	Die Therapie intrazerebraler Blutungen.	704
Spätbehandlung	674	Konservative Behandlung	704
Begutachtungsfragen bei Hirnvenen- und Sinusthrombosen	675	Operative Behandlung	705
Beurteilung der Dauerfolgen nach Hirnvenen- und Sinusthrombosen	675	Rehabilitation.	709
Indikation zur Schwangerschaftsverhütung und zum Schwangerschaftsabbruch	675	Literatur	709
Das Syndrom des venösen (otitischen) Hydrozephalus oder die postinfektiöse intrakranielle Drucksteigerung.	676	13 Hirndurchblutung bei intrakranieller Drucksteigerung und beim Hirnödem	
Kapilläre Hirnvenenthrombose beim Moschowitz-Syndrom	677	Von K. SCHMIDT	715
Literatur	678	Hirndurchblutung bei intrakranieller Drucksteigerung	715
12 Klinik der intrazerebralen Massenblutungen und spontanen Hämatome		Effektives intrakranielles Blutdruckgefälle	715
Von W. SCHIEFER	680	Hirnsauerstoffaufnahme und effektives intrakranielles Blutdruckgefälle (Drosselungstoleranz)	715
Statistische Angaben	680	Effektives intrakranielles Blutdruckgefälle, Hirndurchblutung und reaktive Blutdrucksteigerung (CUSHING-Reflex)	716
Häufigkeit zerebrovaskulärer Erkrankungen	680	Operative und konservative Therapie der Hirndurchblutungsstörung bei Hirndruck	717
Ursachen	680	Hirndurchblutung und Hirnödem	719
Häufigkeit der Massenblutungen.	680	Hirndurchblutung und Kreislauffunktion (CUSHING-Reflex)	720
Ätiologie intrazerebraler Massenblutungen	680	Hirndurchblutung und Hirnsauerstoffaufnahme	720
Bedeutung der Hypertonie	680	Hirndurchblutung und arteriovenöse Sauerstoffvolumendifferenz (AVDO ₂ Vol%)	721
Andere Ursachen	681	Arterieller Sauerstoffdruck beim Hirnödem	721
Pathogenese der hypertonen Massenblutungen	682	Hirnvenöser Sauerstoffpartialdruck bei Hirnödem	724
Lokalisation	682	Histotoxische Hypoxydase	724
Ventrikeleinbruch	683	Autoregulation	724
Disposition, Altersverteilung, Auslösung der Blutung	683	Verteilungsänderung der Hirndurchblutung und Dissoziation von Hirndurchblutung und zerebralem Stoffwechsel	725
Symptomatologie und Klinik	684	Hyperventilationssyndrom und Hirndurchblutung.	725
Sicherung der Diagnose durch Hilfsuntersuchungen	686		
Liquoruntersuchung	686		
Elektroenzephalographie	687		
Echoenzephalographie	688		

Dyskonnektionssyndrom und Hirndurchblutung	726	Hirndurchblutung bei hormonalen Störungen	766
Therapie	726	Toxische Ursachen zerebraler Durchblutungsstörungen	767
Kontrollierte künstliche Hyperventilation	727	Literatur	768
Gefäßweiternde und durchblutungsfördernde Therapie	727		
Osmo- und Onkotherapie	727	15 Gefäßschäden durch Therapie und Diagnostik	
Literatur	729	Strahlenschäden am Gefäßsystem des Gehirns. Von H. RÖSLER	776
14 Störungen des Gehirnkreislaufs bei inneren Erkrankungen		Verlaufsformen der Strahlenschädigung des Gehirns	776
Von O. H. ARNOLD	730	Frühreaktion	776
Erkrankungen des Herzens und der großen Gefäße	730	Spätschäden	777
Endokarditis und Endokarderkrankungen unbekannter Genese	730	Morphologie und Pathogenese der Strahlenspätnekrose	777
Myokarderkrankungen	731	Einfluß von physikalischen Faktoren	778
Erworbene Klappenfehler	733	Einfluß von biologischen Faktoren	778
Angeborene Herzfehler	735	Klinik der radiogenen Schäden am Hirnkreislauf	779
Rhythmusstörungen	735	Literatur	780
Erkrankungen der Aorta ascendens und des Aortenbogens	737	Zwischenfälle bei der Hirngefäßdarstellung. Von W. SCHIEFER	781
Aortenbogensyndrom	737	Schäden durch Punktion und Injektion	782
Aortenisthmusstenose	738	Schäden durch das Kontrastmittel	783
Thrombosen der A. subclavia mit Umkehrung des Blutstromes in den Aa. vertebrales	738	Kreislaufwirkungen der Röntgenkontrastmittel	783
Erkrankungen der A. carotis	738	Zerebrale Reiz- und Ausfallserscheinungen	784
Arterielle Hypertonie	739	Allgemeine Überempfindlichkeitsreaktionen	786
Arterielle Hypotonie	747	Häufigkeit zerebraler Komplikationen	787
Zerebrale Durchblutungsstörungen durch arterielle Hypotonie	748	Bedeutung des Grundleidens für das Auftreten einer Komplikation	788
Schock	750	Verhütung von Komplikationen	791
Krankheiten der Lunge	752	Aufklärungspflicht	791
Störungen der Blutbildung	754	Literatur	793
Polyzythämie	754		
Anämien	756	16 Psychopathologie der chronisch-progredienten, gefäßbedingten Hirnschädigungen	
Hämoblastosen	757	Von V. ALSEN	797
Störungen der Hämostase	758	Vasales Grundsyndrom	798
Angiopathien	758	Struktur des Grundsyndroms	799
Thrombopathien	758	Wesensbestimmung des Grundsyndroms	800
Koagulopathien	759	Ausformung des Grundsyndroms	802
Erkrankungen des Stoffwechsels	760	Überformungssyndrome	806
Diabetes mellitus	760	Exogene Syndrome	806
Niereninsuffizienz	762	Erscheinungsformen	806
Angeborene Fettstoffwechselstörungen	762	Syndromgenese	807
Entzündliche Gefäßerkrankungen	762	Endoforme Syndrome	808
Polyarteriitis nodosa und verwandte Krankheitsbilder	763	Manisches Syndrom	808
Primär chronische Polyarthritis	764	Depressives Syndrom	808
Lupus erythematosus visceralis	764		
Anaphylaktoide Purpura	765		
Thrombotische, thrombopenische Purpura	765		
Endangiitis obliterans	765		
Zerebrale Durchblutungsstörungen durch Thrombosen der intrakraniellen Venen und Sinus	766		

Paranoides Syndrom	809	Zivilrechtliche Fragen	823
Syndromgenese	810	Strafrechtliche Konsequenzen	825
Umschriebene gefäßbedingte Hirnschädigungen	810	Beurteilung der Hirndurchblutungsstörungen im ärztlichen Gutachten	826
Nichtarteriosklerotische zerebrale Gefäßkrankungen	811	Arbeits- und Erwerbsfähigkeit	827
Hyalinose der Hirngefäße und Hypertonie	811	Trauma und Störungen des Hirnkreislaufes	828
Thrombangiitis obliterans	811	Hirndurchblutungsstörungen als historisches und kulturelles Problem	830
Polyarteriitis nodosa	812	Literatur	832
Literatur	812		
17 Psychiatrische und soziale Probleme bei Störungen der Hirndurchblutung		18 Reisefähigkeit von Hirnkreislaufkranken in Flugzeugen	
Von H. E. KEHRER	816	Von H. BAARK	834
Seelische Rückwirkungen von zerebralen Kreislaufstörungen auf den Kranken	816	Sauerstoffdruck der Atmungsluft beim Fliegen	834
Auswirkungen auf das Familienleben und den Beruf	817	Allgemeine Richtlinien	835
Prophylaxe der Hirndurchblutungsstörungen	818	Ärztliches Attest über die Flugreisefähigkeit Kranker	835
Therapie der psychischen Störungen	820	Spezielle Richtlinien	836
Rehabilitation	821	Ausblick	837
Fürsorgeprobleme	823	Anmerkungen zum Hubschraubertransport	837
		Literatur	838
Arzneimittelverzeichnis	839		
Sachverzeichnis	844		

1 Embryologie der Hirngefäße

Von J. RICKENBACHER

Die Neurulation und das primitive Gefäßmuster des embryonalen Gehirns

Das Gehirn bildet sich aus dem vorderen Teil der Nervenplatte, welche beim menschlichen Keimling ungefähr am 18. Tag nach der Befruchtung im Ekto-derm sichtbar wird. Sie wölbt sich zu einer Rinne auf und schließt sich in der Folge zu einem Rohr. Dieser Prozeß ist etwa am 27. Tag post conceptionem abgeschlossen.

Der Kreislauf beginnt im Keimling am 21.–23. Tag zu funktionieren. Die erste Anlage des Gehirns befindet sich somit in einem primitiven, kreislauflosen Organismus, dessen Ernährung nur durch Diffusion erfolgt. Dabei sind die Diffusionswege relativ lang. Zu Beginn der 4. Schwangerschaftswoche weist die Chorionblase etwa 1 cm Durchmesser auf. Der Abstand der Keimscheibe von der nächsten mütterlichen Blutlücke beträgt mindestens 3 mm. Durch Vermittlung des Trophoblasten und eines flüssigkeitsreichen Mesenchyms, des Magma reticulare, erhält der Embryonalschild seine Energie- und Aufbau-stoffe, welche in der ersten, kreislauflosen Phase nicht nur aus dem mütterlichen Blut, sondern zu einem wesentlichen Teil auch aus aufgelöstem mütterlichem Gewebe stammen.

Im Verlauf der 4. Schwangerschaftswoche ändert sich der Versorgungstypus durch die Ausgestaltung eines intra- und extraembryonalen Kreislaufes, welcher vor allem eine Verbesserung der Sauerstoffversorgung mit sich bringt. In diese Umstellungsphase fällt der wichtige Vorgang des Neuralrohrschlusses, der mit einer Steigerung des Energiestoffwechsels verbunden ist.

Das Neuralrohr besitzt zunächst eine rein epitheliale, einschichtige Wand. Wie bei andern Epithelien liegen auch hier die Gefäße außerhalb des Gewebes. Die Ernährung der Hirnwand erfolgt somit weiterhin durch Diffusion, aber die Diffusionsstrecke ist verkürzt. In dieser zweiten Phase mit ausschließlich *extrazerebralen Gefäßen* gliedert sich das Hirnrohr in das Prosenzephalon und das Rhombenze-phalon. Diese beiden Abschnitte sind im Bereich des nicht scharf abgrenzbaren Mesenzephalon nach ventral gegeneinander abgeknickt.

Bei den ersten Gefäßen im Kopf handelt es sich um die weiten, wenig verzweigten Stämme der dorsalen Aorten. Diese werden durch das Mesoderm von der im Hirnbereich noch offenen Nervenrinne ge-

trennt (Abb. 1.1). Später liegen ihre Abkömmlinge und Äste direkt der Hirnanlage an. Ist die Rinne zum Rohr geschlossen, wird die epitheliale Wand bald mehrschichtig, und es setzt die Differenzierung des Neuroepithels ein, welches Neuroblasten und Glioblasten entstehen läßt. Parallel zu diesem Vorgang, der vom Hinterhirn zum Vorderhirn abläuft, wachsen nun Gefäße in die Hirnwand ein. Damit ist die dritte Phase und der endgültige Zustand, nämlich Ernährung des Gehirns durch *intrazerebrale Gefäße* erreicht.

Die Hirnwand erfährt im Zusammenhang mit der Differenzierung eine typische Schichtung in verschiedene Zonen. Zuvorderst, der Ventrikellichtung anliegend, findet man die Proliferationszone oder Matrix. Sie ist durch eine dichte Lagerung der Zellen und das Vorkommen von Mitosen gekennzeichnet. Nach außen schließt sich ihr die Mantelzone an, in welcher die Zellen eine lockere Anordnung aufweisen. Sie ist die Differenzierungszone, in welcher die morphologische und funktionelle Ausgestaltung der primitiven Bauelemente des Zentralnervensystems stattfindet. Oberflächlich wird die Wand des embryonalen Gehirns abgeschlossen durch eine zellfreie Randzone oder den Randschleier, welcher aus zarten, eben gebildeten Nerven- und Gliafasern besteht (Abb. 1.2 a). Diese Schichtung beobachtet man auch in jenen Hirnabschnitten, in denen eine Rinde ausgebildet wird. Die Rindenentwicklung erfolgt erst später und ist durch eine Zellwanderung aus der Differenzierungszone gegen die Oberfläche gekennzeichnet.

Die ins embryonale Hirn einwachsenden Gefäße ziehen zunächst *radiär* durch die Rand- und Mantelzone, um an der Grenze zwischen Proliferations- und Differenzierungsbereich in einen zur Oberfläche tangentialen Verlauf überzugehen (Abb. 1.2a, b). Dabei wachsen nicht in alle Gehirnabschnitte gleichviel Gefäße ein. Ganz allgemein findet man beim embryonalen Gehirn zuerst nur in den ventralen Abschnitten Gefäße; die dorsalen Teile bleiben noch längere Zeit gefäßfrei. Beim 6 mm langen Embryo* findet man überdies noch keine Gefäße in den Großhirnhemisphärenblasen und im Zwischenhirn; ins

* Wenn nicht anders vermerkt, ist die Größe der Embryonen als Scheitel-Steiß-Länge (SSL) angegeben.