

Bachelorarbeit

Ein neues Leben entsteht

**- die physiologischen Veränderungen von der Frühentwicklung bis zum
Neugeborenen**

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (BSc)
der Gesundheits- und Pflegewissenschaft
an der
Medizinischen Universität Graz

Eingereicht von

Sandra Krotmeier

Begutachterin

Ao. Univ. Prof. Dr. phil. Anna Gries

Institut für Physiologie

Harrachgasse 21/V

8010 Graz

Lehrveranstaltung

Physiologie

Graz, 22. September 2015

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

Graz, 22. September 2015

(Sandra Krotmeier, eh.)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 2. Intrauterine Entwicklungsvorgänge | 2 |
| 2.1. Embryonalperiode..... | 3 |
| 2.1.1. Blastogenese | 4 |
| 2.1.2. Embryogenese..... | 6 |
| 2.2. Fetalperiode | 7 |
| 3. Physiologische Versorgung des heranreifenden Kindes..... | 10 |
| 3.1. Amnion und Amnionflüssigkeit | 10 |
| 3.2. Nabelschnur | 11 |
| 3.3. Dottersack | 12 |
| 3.4. Plazenta | 13 |
| 3.4.1. Aufbau der Plazenta..... | 13 |
| 3.4.2. Funktion der Plazenta | 15 |
| 4. Spezielle Embryologie..... | 17 |
| 4.1. Kardiovaskuläres System | 17 |
| 4.1.1. Herz..... | 18 |
| 4.1.2. Gefäßsystem | 21 |
| 4.1.2.1. Arterien | 22 |
| 4.1.2.2. Venen | 23 |
| 4.1.3. Lymphatisches System | 25 |
| 4.2. Respirationstrakt | 26 |
| 4.3. Verdauungssystem | 28 |
| 4.4. Urogenitalsystem | 30 |
| 4.4.1. Nierenentwicklung und Harnwege | 30 |
| 4.4.1.1. Nierensystem..... | 31 |
| 4.4.1.2. Harnblase und Urethra..... | 31 |
| 4.4.2. Genitalsystem | 32 |
| 4.4.2.1. Männlicher Embryo..... | 34 |
| 4.4.2.2. Weiblicher Embryo | 35 |
| 4.5. Zentralnervensystem..... | 36 |
| 4.5.1. Rückenmark | 36 |
| 4.5.2. Gehirn | 36 |
| 4.5.3. Autonomes Nervensystem | 38 |
| 4.6. Schlundentwicklung..... | 39 |
| 4.6.1. Schlundbögen | 39 |
| 4.6.2. Schlundtaschen | 40 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 4.6.3. | Schlundfurchen | 40 |
| 4.6.4. | Gesichtsentwicklung..... | 41 |
| 4.6.4.1. | Nase..... | 41 |
| 4.6.4.2. | Gaumen | 41 |
| 4.6.4.3. | Zähne..... | 42 |
| 4.6.4.4. | Schilddrüse..... | 42 |
| 4.6.4.5. | Zunge..... | 42 |
| 4.6.4.6. | Ohr..... | 42 |
| 4.6.4.7. | Auge..... | 43 |
| 4.7. | Haut und Anhangsorgane..... | 43 |
| 4.8. | Skelettsystem | 44 |
| 4.8.1. | Achsen skelett..... | 44 |
| 4.8.2. | Extremitäten..... | 45 |
| 4.9. | Muskelsystem | 46 |
| 4.9.1. | Quergestreifte Muskulatur | 46 |
| 4.9.2. | Glatte Muskulatur | 46 |
| 4.9.3. | Sehnen..... | 47 |
| 4.9.4. | Herzmuskulatur..... | 47 |
| 4.9.5. | Bindegewebe..... | 47 |
| 5. | Vom intrauterinen zum postpartalen Kreislauf | 48 |
| 5.1. | Fetalkreislauf..... | 48 |
| 5.2. | Kreislauf bei der Geburt | 49 |
| 5.3. | Postnatale Adaptation..... | 50 |
| 5.3.1. | Atmungsadaptation | 50 |
| 5.3.2. | Kreislaufadaptation..... | 51 |
| 5.3.3. | Thermoregulation | 51 |
| 5.3.4. | Verdauung..... | 52 |
| 5.3.5. | Leberfunktion | 52 |
| 5.3.6. | Nierenfunktion..... | 52 |
| 5.3.7. | Abwehrfunktion..... | 53 |
| 6. | Schlussfolgerung | 54 |
| I | Abkürzungsverzeichnis | 56 |
| II | Abbildungsverzeichnis..... | 57 |
| III | Literaturverzeichnis | 60 |
| IV | Glossar | 62 |

1. Einleitung

Die Samenzelle konnte in das reife Ei eindringen und die Befruchtung findet statt, die Erbanlagen von Mutter und Vater vermischen sich und ein einmaliges Individuum beginnt sich zu entwickeln. Meiner Meinung nach ist diese Entwicklung vom Embryo zum Neugeborenen nicht nur faszinierend und ein Wunder, sondern es ist beeindruckend, dass aus zwei fast unsichtbaren Zellen, aus denen nach nur wenigen Wochen ein Embryo entsteht, der nach ein paar weiteren Wochen schon zum Fetus herangereift ist, ein neues Leben entstehen kann. Es ist sehr interessant herauszufinden, wann sich welches Organ, welcher physiologische Ablauf und welcher Kreislauf entwickelt.

Verstärkt wird mein Interesse zu diesem Thema, da ich selbst als Diplomierte Kinderkrankenschwester auf einer Intensivstation für Früh- und Neugeborene arbeite. Hier sehe ich vor allem die besonderen physiologischen Herausforderungen eines Frühgeborenen und eines kranken Neugeborenen mit diversen Fehlbildungen. Umso mehr interessiert es mich daher, wann genau welche Entwicklung intrauterin stattfindet.

Die Embryonalperiode ist die Zeit, in der viele Frauen noch nicht wissen, dass sie schwanger sind. Es ist auch jener Schwangerschaftsabschnitt, in dem viele Embryos unbemerkt abgehen. Diese Phase ist auch für die Entwicklung sehr wichtig, denn hier werden während der Organogenese alle Organe angelegt. Hier kann das heranreifende Kind sehr viel Schaden erleiden. Mit Ende der achten Schwangerschaftswoche besteht ein fließender Übergang in die Fetalperiode. Die Fetalperiode ist die Zeit, in der es zum Wachstum und zur Ausreifung der angelegten Organe und Organsysteme kommt. Eine weitere Umstellung ist die Veränderung vom fetalen Kreislauf während der Geburt bis zum Kreislauf des Neugeborenen. Dabei ist die peripartale kardiopulmonale Umstellung eine der wichtigsten und kritischsten. Es muss alles sehr schnell gehen, damit das Neugeborene keinen Schaden davon trägt und damit es zu keinen Komplikationen kommt.

Somit komme ich zu folgender Forschungsfrage: „Wie ist der physiologische Ablauf bei der intrauterinen Entwicklung eines Menschen und wie bzw. wann entsteht welches Organ bzw. Organsystem?“

Ziel meiner Arbeit ist es aufzuzeigen, wie wichtig eine komplikationslose Entwicklung ist. Ich beginne mit der Befruchtung, beschreibe anschließend die Entwicklungsvorgänge und Phasen. Schwerpunkt meiner Arbeit ist die spezielle Embryologie, da diese die Voraussetzung für eine physiologische Entwicklung schafft. Weiters beschreibe ich die verschiedenen, notwendigen Kreislaufumstellungen im Rahmen der Geburt.

2. Intrauterine Entwicklungsvorgänge

Bei allen Altersangaben (Entwicklungsstage, -wochen und -monate sowie Schwangerschaftstage, -wochen und -monate) wird in dieser Arbeit, die nicht gesondert mit p. m. (post menstruationem) gekennzeichnet sind, vom Zeitpunkt der Konzeption (post conceptionem = p. c.) ausgegangen, da dies die genauere Altersangabe, bezogen auf die intrauterine Entwicklung, ist. In diesem Zusammenhang wird auch vom Gestationsalter oder vom Ovulationsalter (post ovulationem = p. o.) gesprochen.

Die tatsächliche bzw. echte Schwangerschaftsdauer ist die Zeit von der Konzeption bis zum Geburtstermin p. c. und beträgt durchschnittlich 266 Tage (263-273 Tage), das sind 38 Wochen bzw. 9 ½ Lunarmonate zu je 28 Tagen. Weiters wird von einer Schwangerschaftsdauer von 280 Tagen bzw. 40 Wochen nach dem ersten Tag der letzten Menstruation p. m. ausgegangen. (vgl. Pschyrembel 2007, 1742f und vgl. Sadler 2014, 149f)

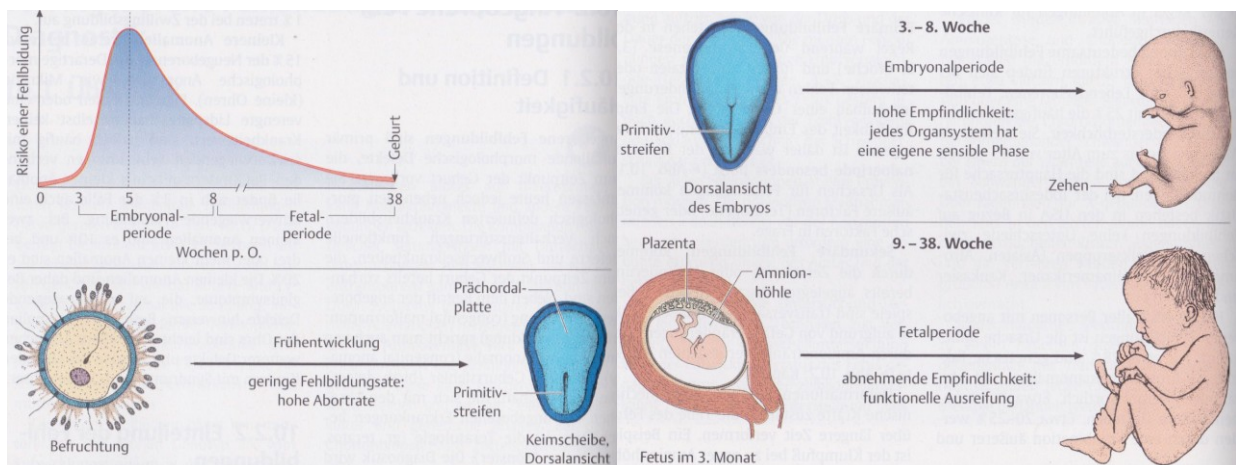


Abb. 1: Intrauterine Entwicklung und Sensibilität für das Entstehen einer Fehlbildung im Verlauf einer Schwangerschaft.

Die Frühentwicklung beinhaltet die Befruchtung, den Eileitertransport, die Implantation und die Bildung der Keimscheibe. In dieser Phase wird das heranreifende Kind Keim genannt. Die Embryonalentwicklung befasst sich mit der Abfaltung des Keimes, der ab jetzt Embryo heißt und der Organogenese, in der die Organe und Organsysteme angelegt werden. Anschließend besteht ein fließender Übergang in die Fetalperiode, die mit der neunten Schwangerschaftswoche (9. SSW) beginnt. Ab diesem Zeitpunkt wird der Embryo Fetus genannt. Die Fetalperiode zeichnet sich durch ein schnelles Wachstum des Feten aus. Die Differenzierung tritt hinter das Wachstum zurück und die Organe reifen aus. (vgl. Faller 2004, 567-570)

Für eine normale Entwicklung des heranreifenden Kindes existieren zwei Prinzipien, genetische Prinzipien und die Voraussetzung, dass alle Prozesse ungestört ablaufen. Das Resultat gestörter Interaktionen zwischen genetischer Konstitution und Umweltfaktoren, die zu einem beliebigen Zeitpunkt in die Entwicklungsprozesse eingreifen können, sind die sogenannten angeborenen

Anomalien. Die Umweltfaktoren beinhalten das Verhalten der Schwangeren, den Konsum von Genussmitteln und die Einnahme von Medikamenten. Weiters spielen das Alter der Schwangeren, genetische Faktoren, Stoffwechselstörungen bei der Schwangeren sowie pränatale Infektionen in der Schwangerschaft eine Rolle. (vgl. Knörr/Knörr-Gärtner 1981, 1.45) Die Schwangere stellt die unmittelbare Umwelt des heranreifenden Kindes dar, daher können Umweltbedingungen, denen die Schwangere ausgesetzt ist, Einfluss auf die Entwicklung des Ungeborenen nehmen. (vgl. Knörr/Knörr-Gärtner 1981, 1.30)

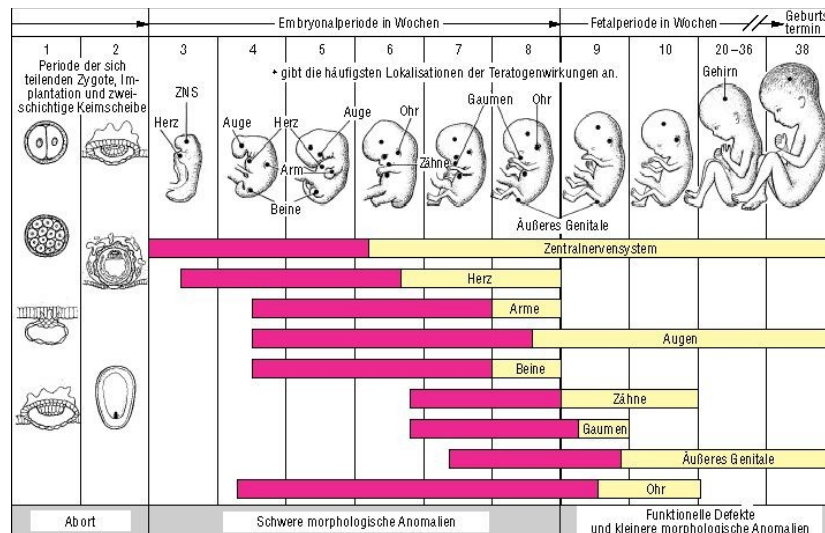


Abb. 2: Fehlbildungsrisiko; rosa: stark gefährdetes; gelb: weniger stark gefährdetes Stadium.

Je nachdem in welchem Stadium sich das heranreifende Kind befindet, können diese Umweltfaktoren zu intrauterinen Entwicklungsstörungen während der Blastogenese, welche als Blastopathien, sowie während der Embryo- bzw. Organogenese, welche als Embryopathien oder während der Fetogenese, welche als Fetopathien bezeichnet werden, führen. (vgl. Friese/Kämmerer 2009, 10-12)

2.1. Embryonalperiode

Die Embryonalperiode beinhaltet die Frühentwicklung oder Blastogenese und die Embryogenese. Die Blastogenese ist die Keimentwicklung, die embryologische Entwicklung der Zygote und Blastozyste. (vgl. Pschyrembel 2007, 250) Sie reicht vom 1.-13. Gestationstag und endet mit dem Beginn der Embryogenese. (vgl. Sadler 2014, 83) Die Embryogenese umfasst die Embryonalentwicklung, die Entwicklung des Embryoblasten zum Embryo. Sie beinhaltet die Organogenese, in der alle Organe und Organsysteme angelegt werden. (vgl. Pschyrembel 2007, 509) Diese Entwicklung dauert vom 14.-56. Gestationstag. (vgl. Sadler 2014, 135f)



Abb. 3: 8. SSW; Plazenta mit anhängender Fruchtblase, mit einem 4 cm großen Embryo.

2.1.1. Blastogenese

Die ovulierte Eizelle ist nur zwölf bis maximal 24 Stunden nach der Ovulation und die Spermien sind bis zu 72 Stunden im weiblichen Genitalapparat überlebensfähig. Ungefähr zwölf Stunden nach der Ovulation treffen üblicherweise Ei- und Samenzelle in der Ampulle der Tube aufeinander. Dazu muss das Spermium die ovulierte Eizelle aktiv aufsuchen. Es beginnen 200-300 Millionen Spermien den Weg vom hinteren Scheidengewölbe, wo sie nach der Kohabitation deponiert sind, durch die Gebärmutterhöhle bis zur Ampulle des Eileiters zu wandern. Diesen beschwerlichen Weg schaffen nur etwa 300 Spermien, die dafür ein bis drei Stunden benötigen. (vgl. Faller 2004, 557f)

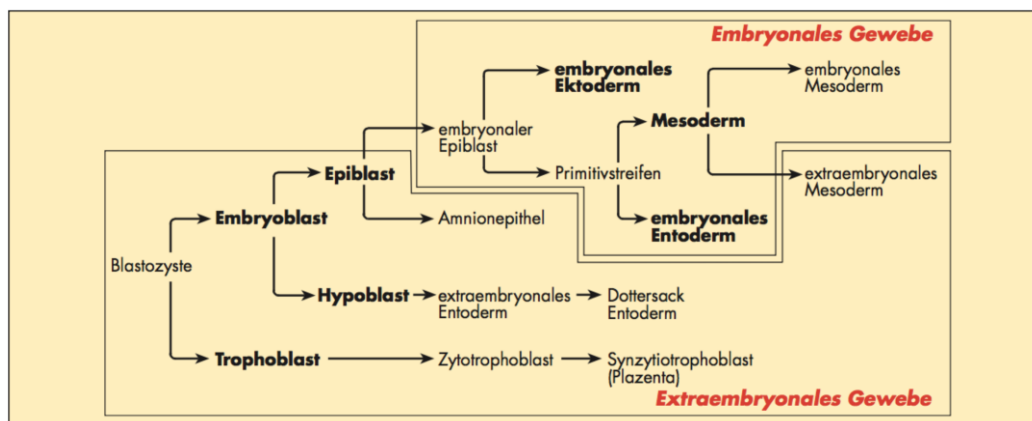


Abb. 4: Weiterentwicklung der Blastozyste.

Die Befruchtung wird in drei Phasen unterteilt, beginnend mit der ersten Phase, in der das Spermium die Corona radiata, die Follikelepithelzellen durchdringt. In der zweiten Phase findet die Auflösung der Zona pellucida statt. In diesen ersten beiden Phasen läuft die sogenannte Akrosomreaktion ab, für die das Spermium die Hilfe der Enzyme des Akrosoms benötigt. In Phase drei findet die Fusion der Zellmembranen von Ei- und Samenzelle statt, welche dem Spermium das Eindringen in die Eizelle ermöglicht. Die sogenannte kortikale Reaktion findet hier bei der Berührung von Ei- und Samenzelle statt. Der sogenannte Polyspermieblock, der durch diese Reaktion entsteht, verhindert, dass weitere Spermien in die Eizelle eindringen können. Die Eizelle beendet zu diesem Zeitpunkt gerade ihre zweite Reifeteilung und bildet den weiblichen Vorkern. Anschließend verschmelzen der weibliche und der männliche Vorkern miteinander zur diploiden Zygote. Der männliche Vorkern besitzt das ausschlaggebende Geschlechtschromosom, entweder X oder Y und ist nun dafür zuständig, ob sich ein weiblicher Keim mit XX oder ein männlicher Keim mit XY bildet. (vgl. Faller 2004, 557-561)

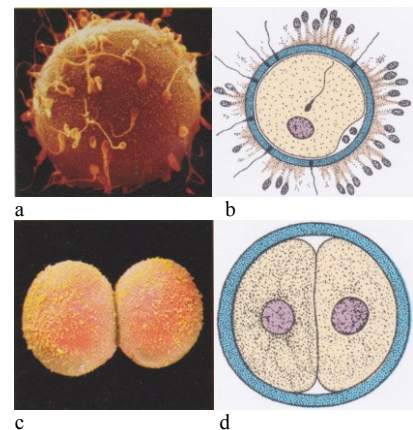


Abb. 5: Zellentwicklung.
a und b ist die Befruchtung.
c und d ist ein 2-Zell-Stadium.

Die Wanderung der befruchteten Eizelle dauert von der Ampulle bis zum Uteruslumen vier bis fünf Tage. (vgl. Faller 2004, 561) Sie beginnt sich währenddessen zu teilen und wird als Ergebnis der Furchung am dritten bis vierten Tag als Morula, einer soliden kugeligen Ansammlung von Blastomeren, die von der Zona pellucida umgeben ist, bezeichnet. (vgl. Pschyrembel 2007, 1244) Dieser Transport wird von einem Flüssigkeitsstrom und durch den uteruswärts gerichteten Zilienschlag der Flimmerzellen unterstützt. Im Uteruslumen angekommen, entwickelt sich innerhalb der nächsten zwei Tage eine Blastozyste oder Keimblase. In dieser Blastozyste ist ein Trophoblast, der später die kindlichen Anteile der Plazenta bildet und ein Embryoblast, der sich im weiteren Verlauf zu einem Embryo entwickelt, sichtbar. In der Regel verlässt die Blastozyste am fünften Tag die Zona pellucida, die bis dahin die vorzeitige Einnistung des Keimes in die Tubenwand verhindert, um sich nun mit Hilfe von Enzymen in die Uterusschleimhaut abzusenken. Die Uterusschleimhaut befindet sich etwa fünf bis sechs Tage nach der Ovulation am Höhepunkt der Sekretionsphase und wird im weiteren Verlauf der Schwangerschaft als Decidua bezeichnet.

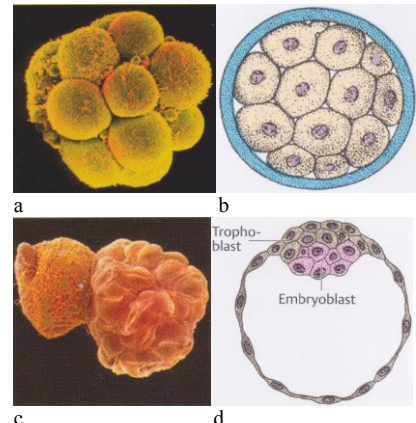


Abb. 6: Zellentwicklung.
a und b sind eine Morula.
c und d sind eine späte Blastozyste.

Die Implantation oder Einnistung findet normalerweise im Fundus uteri, dem fundusnahen Abschnitt des Uterus, statt. Zu diesem Zeitpunkt bildet der Trophoblast Chorionzotten aus. Diese beinhalten zuerst einen Bindegewebskern und später den kindlichen Teil der Plazenta bzw. die kindlichen Gefäße. (vgl. Faller 2004, 561-564)

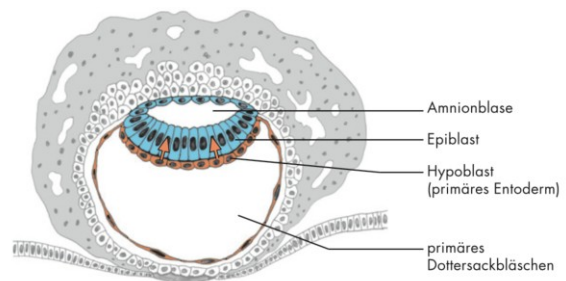


Abb. 7: Keimscheibe am elften. Tag.

„Blastopathien als Ausdruck einer Defektbildung stellen sich häufig in Form von Doppelfehlbildungen dar, die durch fehlende oder partielle Trennung der ersten embryonalen Zellen einer Zygote oder einer Zellgruppe im frühen Entwicklungsstadium entstehen.“ (Friese/Krämerer 2009, 10) Nach der Befruchtung gilt das Alles-oder-Nichts-Gesetz, entweder entsteht eine Schwangerschaft oder nicht. (vgl. Knörr/Knörr-Gärtner 1981, 1.46)

Wenn während der Blastogenese eine schwere Schädigung entsteht, führt dies zum Fruchttod und somit zum Abort. Allerdings können geringgradige Schäden auch ohne Defekt ausheilen, da die Zellen in diesem Stadium sehr regenerationsfähig sind. (vgl. Friese/Krämerer 2009, 10)

2.1.2. Embryogenese

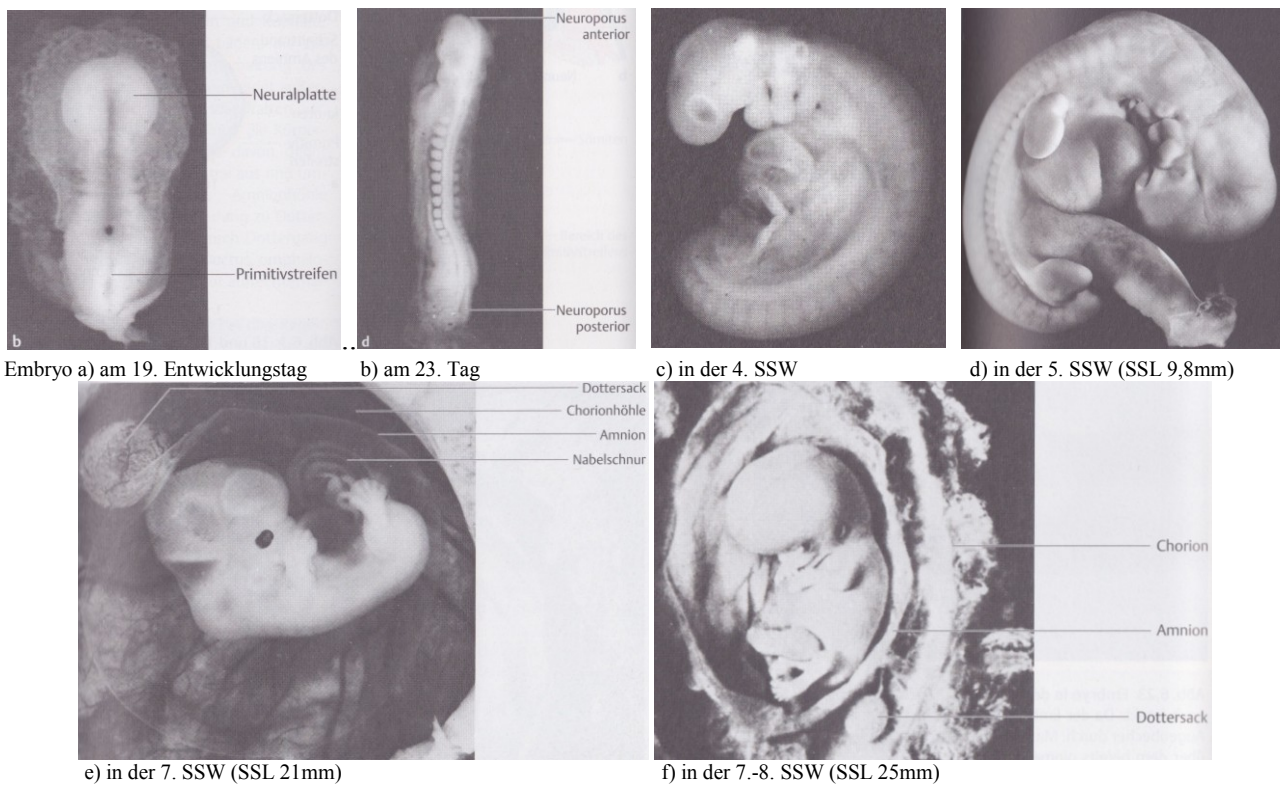


Abb. 8: Entwicklungsstadien während der Embryogenese.

Nach vollständiger Implantation bilden die Zellen des Embryoblasten eine zweiblättrige Keimscheibe, woraus sich anschließend der Embryo entwickelt. Diese besteht aus einem Entoderm und einem Ektoderm, denen jeweils ein flüssigkeitsgefülltes Bläschen aufliegt. Das Entodermbläschen ist der sogenannte Dottersack und das Ektodermbläschen wird als Schafshaut oder Amnion, welches die Amnionhöhle bildet, bezeichnet. (vgl. Fallner 2004, 567f) Auf der Oberfläche des Ektoderms erscheint bei einem etwa 16 Tage alten Keim ein Primitivstreifen woraus sich weiter eine dreiblättrige Keimscheibe mit dem Mesoderm entwickelt. Am Primitivknoten, dem vorderen Ende des Primitivstreifens, bildet sich eine Primitivgrube, von der sich der Kopffortsatz oder die Chordaanlage unter das Ektoderm schiebt. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 43-45) In der 3. SSW beginnt die Entwicklung der Organanlagen aus den drei Keimblättern. Aus dem äußeren Keimblatt entwickeln sich hauptsächlich die Anlage des Zentralnervensystems, welches das Gehirn, das Rückenmark, die Ohrbläschen, die Riechgrube und die Augenlinse betreffen, sowie das Oberflächenepithel, die Epidermis. Das Skelett, die Skelettmuskulatur, die Kreislauforgane sowie die

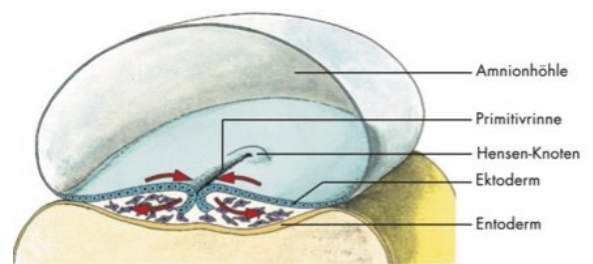


Abb. 9: Querschnitt einer dreiblättrigen Keimscheibe.

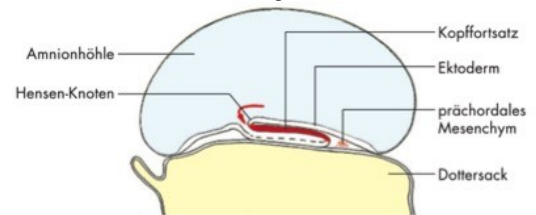


Abb. 10: Längsschnitt einer dreiblättrigen Keimscheibe.

Das Skelett, die Skelettmuskulatur, die Kreislauforgane sowie die

Harn- und Geschlechtsorgane werden aus dem mittleren Keimblatt gebildet. Aus dem inneren Keimblatt entstehen in der weiteren Entwicklung vor allem die epithelialen Anlagen der Verdauungs- und Atemwege. (vgl. Faller 2004, 567-569)

Am Vorder- und Hinterende beginnt sich der Keim einzuschnüren, damit bis zum Ende der 4. SSW die Grundform des Rumpfes entsteht. Derzeit nimmt der Kopf ein Drittel der gesamten Körperlänge des Embryos ein und mit Beginn der 5. SSW treten die oberen und unteren Gliedmaßen zum Vorschein. Zwischen der 5.-7. SSW krümmt sich der Embryo und die Nacken- und Scheitelbeuge tritt auf. Die Herzaktivität kann mittels Ultraschall ab der 5. SSW nachgewiesen werden und bis zur 8. SSW muss der Nachweis bei einem gesunden Embryo möglich sein. Am Ende der Embryonalperiode beträgt die Größe des Kopfes etwa 50 % der gesamten Körperlänge und der Embryo liegt geschützt in einer mit Fruchtwasser gefüllten Amnionhöhle. (vgl. Faller 2004, 569f)

„Embryopathien sind phasen- und nicht ursachenspezifisch.“ (Pschyrembel/Dudenhausen 1986, 154) Es sind intrauterine Entwicklungsstörungen des Embryos während der Embryogenese. (vgl. Pschyrembel 2007, 510) Das Ausmaß der Fehlbildung hängt immer vom Zeitpunkt der Schädigung ab, wobei in der 4.-8. SSW die größte Gefahr besteht, eine stärkere morphologische Abnormität zu entwickeln. Es besteht die Möglichkeit zur Restitutio ad integrum, wenn das betroffene Blastem noch undifferenziert ist und die Außeneinwirkungen keine letalen Folgen haben. Befindet sich das Blastem in der Differenzierungsphase während eine Schädigung erfolgt, entsteht die typische Embryopathie in Form einer Einzelfehlbildung. Als kritische bzw. sensible Phase wird jene bezeichnet, in der eine Noxe eine Missbildung hervorrufen kann. Somit kann jede bestimmte Art von Fehlbildung nur zu einem gewissen Zeitpunkt ausgelöst werden und ist weniger von der auslösenden Noxe abhängig. Eine Schädigung kann, wenn die Differenzierung abgeschlossen ist, keine Fehlbildungen mehr auslösen. (vgl. Friese/Krämerer 2009, 11)

2.2. Fetalperiode

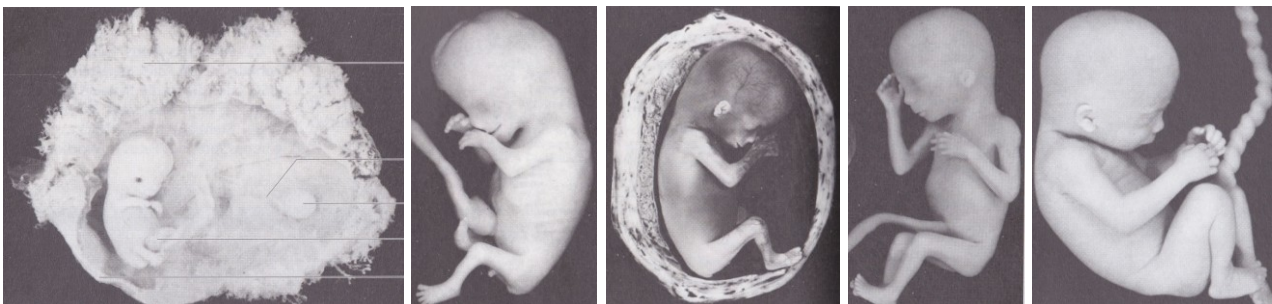


Abb. 11: Fetus in der a) 9. SSW

b) 11. SSW

c) 12. SSW

d) 18. SSW

e) und im 7. Monat.

In dieser Phase wird der Embryo Fetus genannt. (vgl. Pschyrembel 2007, 599) Es besteht ein fließender Übergang von der Embryogenese in die Fetogenese. Während der Fetogenese wächst der

gesamte Organismus, Organe differenzieren sich, aber sie entwickeln sich nicht mehr und ihre Funktionen werden aktiv. (vgl. Pschyrembel 2007, 596) Diese pränatale Entwicklung beginnt mit dem 57. Schwangerschaftstag und endet mit der Geburt. (vgl. Sadler 2014, 149)

Die Scheitel-Steiß-Länge (SSL) oder die Scheitel-Fersen-Länge (SFL) drücken das Alter des Feten aus. Das Längenwachstum, welches etwa 5 cm pro Schwangerschaftsmonat beträgt, überwiegt im dritten, vierten und fünften Schwangerschaftsmonat. In den beiden letzten Schwangerschaftsmonaten der Schwangerschaft steht allerdings die

| Alter (Wochen) | Scheitel-Steiß-Länge (SSL, cm) | Gewicht (g) |
|----------------|--------------------------------|-------------|
| 9–12 | 5–8 | 10–45 |
| 13–16 | 9–14 | 60–200 |
| 17–20 | 15–19 | 250–450 |
| 21–24 | 20–23 | 500–820 |
| 25–28 | 24–27 | 900–1300 |
| 29–32 | 28–30 | 1400–2100 |
| 33–36 | 31–34 | 2200–2900 |
| 37–38 | 35–36 | 3 000–3 400 |

Abb. 12: Längen- und Gewichtübersicht des Feten.

Gewichtszunahme im Vordergrund, die etwa 700 g pro Monat beträgt. Die relative Verlangsamung des Kopfwachstums, verglichen mit dem des übrigen Körpers, ist während der Fetalperiode eine der auffälligsten Veränderungen. (vgl. Sadler 2014, 149f) Im dritten Schwangerschaftsmonat wird das Gesicht des Feten immer menschenähnlicher, da sich die Augen, die zu Beginn lateral gerichtet sind, auf die Ventralseite des Gesichts verlagern und die Ohren allmählich ihre endgültige Lage an der Seite des Kopfes einnehmen.

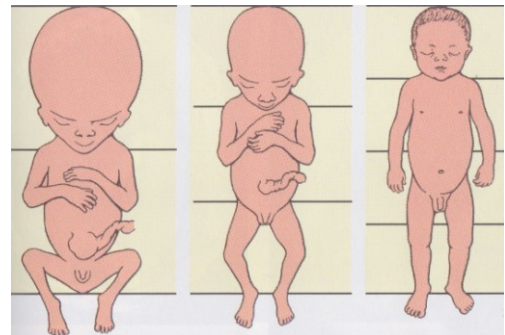


Abb. 13: Größenverhältnis zwischen Kopf und Rumpf.

(vgl. Sadler 2014, 150) Die Entwicklung der Armanlagen geht der Entwicklung der Beinanlagen um etwa zwei Tage voraus, wodurch die unteren Extremitäten etwas kürzer und weniger entwickelt sind als die oberen Extremitäten. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 46) In der 12. SSW ist es möglich, mittels Ultraschall das Geschlecht des Kindes zu erkennen, da die äußeren Genitale so weit entwickelt sind. Weiters treten Knochenkerne in den langen Röhrenknochen und im Schädel auf. Die Darmschlingen ziehen sich in die Leibeshöhle zurück. Die Nabelschnur ist nur mehr durch den physiologischen Nabelbruch aufgetrieben. Der Fetus reagiert bereits mit Reflexen als Zeichen der Muskelaktivität. Die Schwangere kann jedoch die in utero Bewegungen des Feten noch nicht wahrnehmen, da diese noch zu schwach sind. (vgl. Sadler 2014, 151)

Der Fetus wächst im vierten und fünften Schwangerschaftsmonat rasch in die Länge. Er erreicht am Ende der ersten Schwangerschaftshälfte etwa 15 cm SSL, was der Hälfte der SSL eines Neugeborenen entspricht. Im Vergleich dazu ist die Gewichtszunahme sehr gering und der Fetus wiegt am Ende des fünften Schwangerschaftsmonats noch unter 500 g. Die Körperoberfläche des Feten ist mit der Lanugobehaarung bedeckt und die Augenbrauen und die Kopfbehaarung sind

vorhanden. Kindsbewegungen können im fünften Schwangerschaftsmonat normalerweise eindeutig wahrgenommen werden. (vgl. Sadler 2014, 151)

Ab dem sechsten Schwangerschaftsmonat, aber vor allem in den letzten zehn Wochen steht die Gewichtszunahme im Vordergrund. Der Fetus hat im sechsten Schwangerschaftsmonat noch kein Unterhautfettgewebe und somit eine runzelige, rot gefärbte Haut. Bei einer Frühgeburt im sechsten oder am Beginn des siebenten Monats ist die Überlebenschance sehr gering bzw. gering, da die Lungen und das Zentralnervensystem (ZNS) noch nicht genügend ausgereift sind und die Koordination zwischen den beiden noch fehlt. Der Fetus wird im Prinzip ab der 28. SSW als lebensfähige Frühgeburt bezeichnet. Die Körperform des Feten wird rundlicher, da sich subkutanes Fett abgelagert. Eine weißlich fettige Substanz bedeckt die Hautoberfläche gegen Ende der Schwangerschaft. Sie ist ein Ausscheidungsprodukt der Talgdrüsen und wird als Vernix caseosa bezeichnet. (vgl. Sadler 2014, 150-152)

| Entwicklungsschritt | Alter (Wochen) |
|---------------------------------|----------------|
| Auftreten von Geschmacksknospen | 7 |
| Schluckbewegungen | 10 |
| Atmungsbewegungen | 14-16 |
| Saugbewegungen | 24 |
| Wahrnehmung von Geräuschen | 24-26 |
| Lichtreaktion der Augen | 28 |

Abb. 14: Entwicklungsschritte in der Fetalperiode.

Der Kopfumfang ist am Ende des neunten Schwangerschaftsmonats der größte Umfang des Feten und bestimmt somit den Durchtritt durch den Geburtskanal. Der Fetus wiegt nun zwischen 3000-3500 g, seine SSL beträgt etwa 36 cm und seine SFL etwa 50 cm. Normalerweise befinden sich die Hoden im Skrotum und die Geschlechtsmerkmale sind komplett ausgebildet. (vgl. Sadler 2014, 153)

„Fetopathien sind differenzierte Krankheitsbilder mit Ursachenspezifität.“ (Pschyrembel/Dudenhausen 1986, 154) Während der fetalen Entwicklung kommt es kaum mehr zu Missbildungen, sondern hauptsächlich zu funktionellen Schäden, da diese Phase mehr durch Wachstum, fortschreitende Gestaltung und Aufnahme von Funktionen gekennzeichnet ist. (vgl. Knörr/Knörr-Gärtner 1981, 1.46) Die Organentwicklung ist abgeschlossen und somit treffen die Schädigungen nur noch auf schon bereits differenzierte Strukturen. (vgl. Friese/Krämerer 2009, 12)

3. Physiologische Versorgung des heranreifenden Kindes

Aus der Trophoblastenschicht der Blastomere entstehen die Plazenta und das Chorion und aus dem Embryoblasten entwickeln sich extraembryonales Gewebe wie das Amnion, der Dottersack, die Allantois bzw. der Urharnsack und das extraembryonale Mesoderm, woraus die Nabelschnur oder Funiculus umbilicalis und die Blutgefäße der Plazenta entstehen. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 193)

„Infolge der kraniokaudalen Krümmung des Embryos kommt die Umschlagfalte zwischen Amnion und Oberflächenektoderm auf die Ventralseite des Embryos zu liegen. Die amnioektodermale Umschlagfalte bildet dann eine ovale Durchtrittsstelle, die als Nabelring bezeichnet wird.“ (Sadler 2014, 169) Durch den Nabelring ziehen in der Mitte des zweiten Schwangerschaftsmonats der Haftstiel mit Allantois und Nabelgefäßen, bestehend aus zwei Arterien und einer Vene. Ebenfalls gehen der Stiel des Dottersacks, der sogenannte Dottergang, begleitet von den Dottergefäßen und der Kanal, der die intra- und extraembryonale Zölohmöhle miteinander verbindet, durch den Nabelring. (vgl. Sadler 2014, 169)

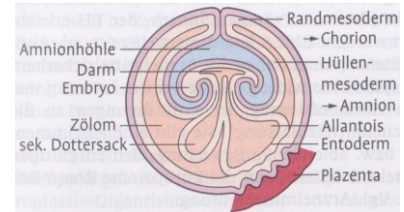


Abb. 15: Schema der anatomischen Verhältnisse während der Embryogenese (3. SSW).

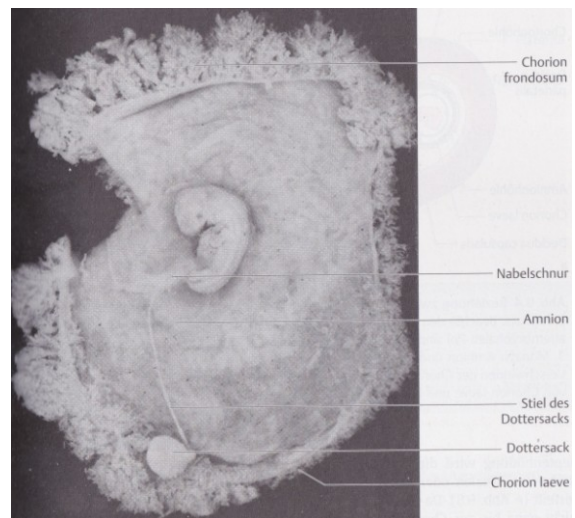


Abb. 16: Embryo in der 6. SSW; Amnion und Chorion sind eröffnet; ein außergewöhnlich langer Dottersackstiel ist sichtbar.

3.1. Amnion und Amnionflüssigkeit

Die Amnionhöhle erscheint zum ersten Mal um den siebenten Schwangerschaftstag und ist mit Amnionflüssigkeit bzw. Fruchtwasser, welches von deren Zellen sezerniert wird, gefüllt, damit der Embryo und später der Fetus frei darin schwimmen kann. Das Amnion kommt mit dem zunehmenden Wachstum des Embryos dem Chorion immer näher. Die Außenfläche des Amnioblasten und die Innenseite der Chorionzellen sind von einem Mesoderm bedeckt, welches bei Kontakt locker miteinander verschmilzt. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 203) „Die Eihäute schützen die Frucht und geben Faktoren in das Fruchtwasser ab, die seine Aktivität beeinflussen und darüber hinaus die Physiologie des Uterus mitbestimmen.“ (Coad/Dunstall 2007, 203) Ein wichtiger Schutz für den Embryo bzw. Feten

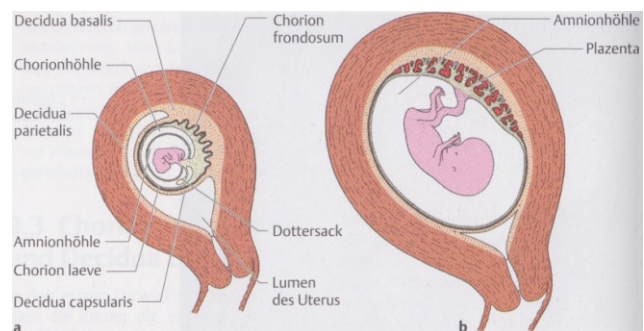


Abb. 17: Beziehung zwischen den Eihäuten und der Uteruswand.

stellt die Amnionflüssigkeit dar, indem sie ihn vor Austrocknung und mechanischen Belastungen schützt. Ebenso werden dadurch ein symmetrisches Wachstum und gleichmäßige Bewegungen des Feten ermöglicht. (vgl. Sadler 2014, 171) Das Fruchtwasser hat bakteriostatische Eigenschaften und ist für die Aufrechterhaltung der konstanten Körpertemperatur zuständig. Bis etwa zur 20. SSW bzw. bis zur Keratinisierung der Haut ähnelt die Amnionflüssigkeit der fetalen Gewebsflüssigkeit sehr, da die Flüssigkeit und die Elektrolyte frei durch die Haut diffundieren. Nach der Keratinisierung trägt das Transsudat aus mütterlichen und fetalen Flüssigkeiten kaum mehr zur Fruchtwasserbildung bei, aber die Harnausscheidung und die Lungensekretion des Feten spielen nun eine bedeutende Rolle. Etwa 20 ml Fruchtwasser schluckt der Fetus pro Stunde, das dann über den Darm in den fetalen Kreislauf eintritt, die Plazenta passiert und über den mütterlichen Kreislauf ausgeschieden wird. Gegen Ende der Schwangerschaft beträgt die normale Fruchtwassermenge 500-1000 ml, wobei man bei einer Menge >2000 ml von einem Polyhydramnion und bei <500 ml von einem Olygohydramnion spricht. Ein Polyhydramnion hängt meist mit Schluckstörungen wie z.B. bei einer Ösophagusatresie zusammen und ein Olygohydramnion meist mit einer Nierenfunktionsstörung des Feten. Die Amnionflüssigkeit enthält viele mütterliche und fetale Proteine und Fetalzellen, die für eine genetische Untersuchung wichtig sein können. Bei einer Amniozentese wird eine kleine Menge Fruchtwasser entnommen und anhand dessen Zusammensetzung kann z.B. eine Spina bifida oder eine Trisomie 21 festgestellt werden. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 203f)

3.2. Nabelschnur

In der Nabelschnur ist die Allantois, die eine Ausstülpung des hinteren Darmendes ist, eingelagert. Sie ist ein Teil des sich zu bildenden Harnsystems und dient auch zur Sammlung des Urnierenharns. In der Allantoiswand entwickeln sich während der 3.-5. SSW Blutzellen. Die Blutgefäße der Allantois wandeln sich in Nabelschnurgefäße um. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 210f) Somit enthält die Nabelschnur den ehemaligen Haftstiel mit Allantoisdivertikel und Nabelgefäßen, sowie den Dottergang mit den Dottergefäßen. Allerdings kommt es auch zur vorübergehenden Auslagerung einiger Darmschlingen in das extraembryonale Zölon innerhalb der Nabelschnur, da diese sich in Relation zur Leibeshöhle zu rasch entwickeln, wodurch ein physiologischer Nabelbruch

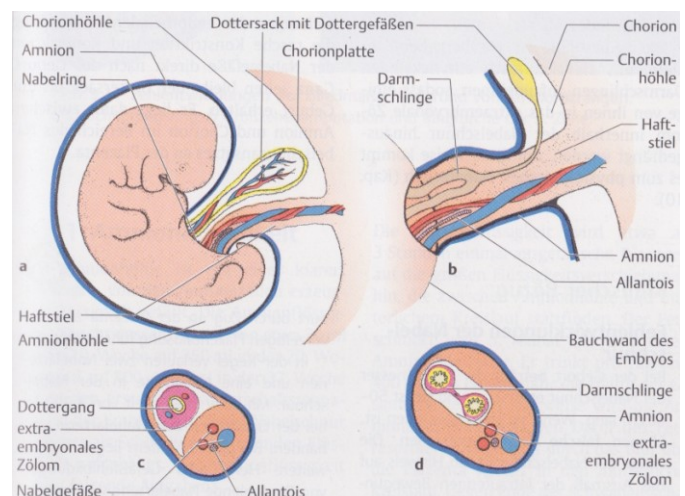


Abb. 18: Entwicklung der Nabelschnur;
a) 5 Wochen alter Embryo b) Nabel-schnur bei einem 10 Wochen alten Embryo
c) Querschnitt des primitiven Nabelrings (5. SSW) d) Querschnitt der Nabelschnur mit physiologischem Nabelbruch (10.SSW).

entsteht. Gegen Ende des dritten Schwangerschaftsmonats werden diese Darmschlingen wieder in den Embryonalkörper zurückgezogen. In der Nabelschnur bleiben nur die Nabelgefäße zurück, nachdem die Zölonhöhle, die Allantois, der Dottergang und die Dottergefäße obliteriert sind. Die sogenannte Wharton-Sulze umgibt die Nabelgefäße bzw. Blutgefäße und dient als prallelastische Schutzschicht. Sie besteht aus wenig mesenchymalen Zellen und enthält viele Glukosaminoglykane. (vgl. Sadler 2014, 170) „Die Nabelschnur verfügt über zwei Umbilikalarterien, die sauerstoff- und nährstoffarmes Blut vom Fetus zur Plazenta transportieren, sowie eine Umbilikalvene, die umgekehrt sauerstoff- und nährstoffreiches Blut von der Plazenta zum Feten transportiert.“ (Coad/Dunstall 2007, 211) Es kann bei der Geburt nur eine Umbilikalarterie vorhanden sein, indem nur eine angelegt wurde oder die zweite sich vorzeitig zurück gebildet hat. Dabei besteht eine Häufigkeit von 1:200 bei der Geburt und bei 20 % der Neugeborenen liegen weitere Herz- und Gefäßmissbildungen vor. (vgl. Sadler 2014, 170)

Die Nabelschnur ist gegen Ende der Schwangerschaft etwa 2 cm dick und 50-60 cm lang. Zu kurze, zu lange aber auch zu stark gewundene Nabelschnüre können zu Komplikationen führen. Durch die spiralförmigen Verdickungen der endothelialen Auskleidung und da die Media der Arterienwände aus vielen Muskelzellen und elastischen Fasern besteht, kommt es zu einer raschen Konstriktion und Kontraktion der Nabelgefäße nach der Geburt. (vgl. Sadler 2014, 170)



Abb. 19: Nabelschnur (im 7. Monat).

3.3. Dottersack

Auf der ventralen Seite der Keimscheibe entwickelt sich der Dottersack und spielt, währenddessen sich der uteroplazentare Kreislauf bildet, eine große Rolle bei der Ernährung des Embryos. Im Gewebe des Dottersacks entstehen die primordialen Keimzellen und die Blutinseln. Ab der 6. SSW wird seine bisherige Aufgabe, die Hämatopoese von der Leber übernommen.



Abb. 20: Embryo mit Dottersack in der 4. SSW.

Weiters wird er von der Nabelschnur und vom Urdarm einverleibt, indem er im Verlauf immer länger und dünner wird. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 210) Der Dottersack selbst liegt jedoch immer in der Chorionhöhle. Am Ende des dritten Schwangerschaftsmonats geht der Dottersack zugrunde, kann jedoch ganz selten zwischen Amnion und Chorion im Bereich des Nabelschnuransatzes an der Plazenta bis zur Geburt erhalten bleiben. (vgl. Sadler 2014, 169f)

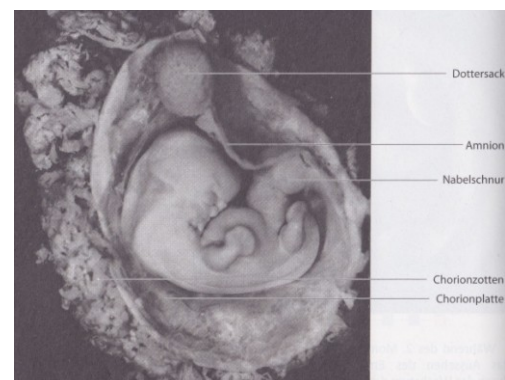


Abb. 21: Embryo in der 6. SSW und 13 mm SSL.

3.4. Plazenta

„Die mütterliche Plazenta dient dem Fetus als „Darm“ (Nährstoffaufnahme, z.T. durch aktiven Transport), als „Niere“ (Abgabe von Abbauprodukten) und als „Lunge“, d.h. zur O₂-Aufnahme und zur CO₂-Abgabe. Trotz der (gegenüber dem Erwachsenen) nach links verschobenen O₂-Bindungskurve des fetalen Hämoglobins wird dieses in der Plazenta zu 60 % mit O₂ gesättigt.“

(Silbernagel/ Despopoulos 2012, 232)

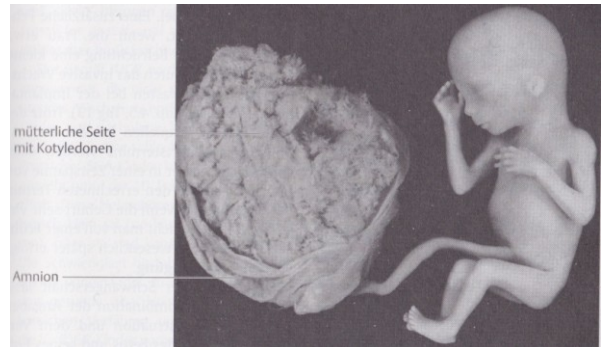


Abb. 22: Fetus (18.SSW) mit Nabelschnur und Plazenta.

3.4.1. Aufbau der Plazenta

Durch Zellfusion bildet der Zytotrophoblast bei der Implantation in der 2. SSW eine sogenannte Riesenzelle, das Synzytium, mit dem er sich in die Uterusschleimhaut hineinfrisst. Es entstehen im Synzytium Lakunen, in die mütterliches Blut hineinfließt und zwischen diesen Lakunen dringt der Zytotrophoblast in die Synzytiumtrabekel ein und wandelt sie in primäre Zotten um.

Der Trophoblast wird durch eine Zytotrophoblasthülle, die durch Konfluation der durchgewanderten Zytotrophoblastanteile entsteht, gegen das mütterliche Gewebe abgegrenzt. Die Trophoblasthöhle entwickelt sich durch die Auskleidung mit extraembryonalem Mesoderm zur Chorionhöhle und der Trophoblast zum Chorion. Die primären Zotten werden durch das Eindringen vom Chorionmesoderm zu sekundären Zotten umgewandelt und weiters entstehen Tertiärzotten durch die Ausbildung von Gefäßen im mesodermalen Kern. Die Stammzotten sind einerseits in der äußeren Zytotrophoblasthülle und andererseits in der Chorionplatte verankert. Von ihnen ausgehend bewegen sich die Zottenaufzweigungen und Verästelungen im mütterlichen Blut, das die ehemaligen Lakunen, den intervillösen Raum, durchströmt, hin und her. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 38f)

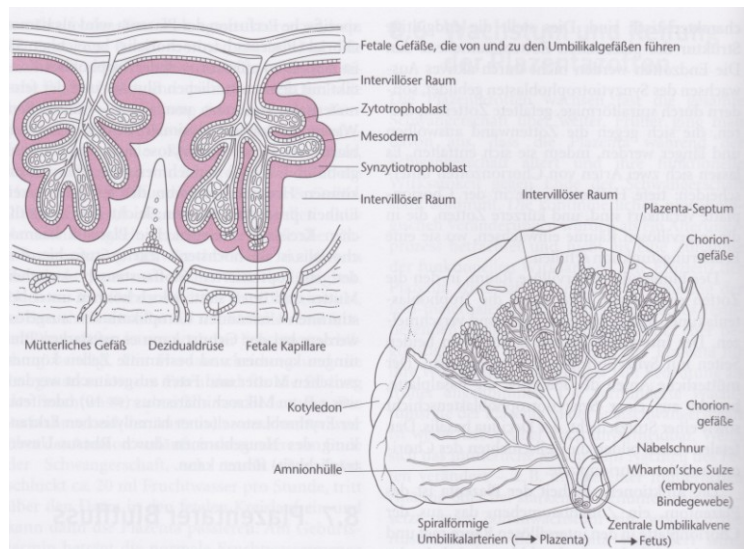


Abb. 23: Kreislauf durch die Plazenta und die Nabelschnur (Funiculus umbilicalis).

Die Stammzotten sind einerseits in der äußeren Zytotrophoblasthülle und andererseits in der Chorionplatte verankert. Von ihnen ausgehend bewegen sich die Zottenaufzweigungen und Verästelungen im mütterlichen Blut, das die ehemaligen Lakunen, den intervillösen Raum, durchströmt, hin und her. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 38f)

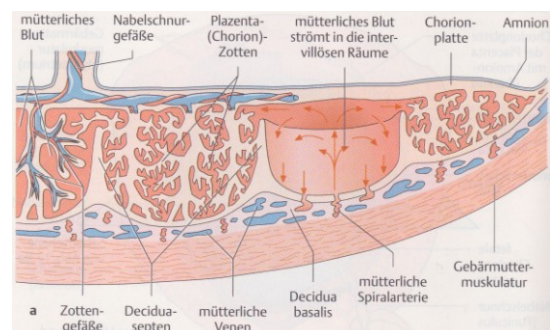


Abb. 24: Querschnitt durch eine Plazenta.

Die Stammzotten sind einerseits in der äußeren Zytotrophoblasthülle und andererseits in der Chorionplatte verankert. Von ihnen ausgehend bewegen sich die Zottenaufzweigungen und Verästelungen im mütterlichen Blut, das die ehemaligen Lakunen, den intervillösen Raum, durchströmt, hin und her. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 38f)

Mit Beginn der 9. SSW steigen der Nährstoff- und Sauerstoffbedarf des Feten, wodurch es zu größeren Veränderungen an der Plazenta kommt. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 207) Dabei ist die wichtigste die Oberflächenvergrößerung, die den Austausch erleichtert. Weiters verändert sich die Anordnung der extraembryonalen Häute durch die Fruchtwasserzunahme. Die Plazenta besteht ab dem vierten Schwangerschaftsmonat aus zwei Teilen, aus dem fetalen Anteil, der die Zottenbäumchen des Chorions enthält und dem mütterlichen Anteil, der von der Decidua basalis abstammt. (vgl. Sadler 2014, 157-160) Die Deziduaplatte oder Basalplatte wird von bis zu 200 Spiralarterien durchbrochen, wobei jede einzelne einen bestimmten Bereich der Plazenta, ein sogenanntes Kotyledon, versorgt. Im Blutstrom der Spiralarterien baden die Zottenverästelungen eines Kotyledons, wobei das Blut von mütterlichen Sinusoiden, unregelmäßig verteilten venösen Öffnungen, in die Deziduaplatte wieder aufgenommen und in den mütterlichen Kreislauf zurückgeleitet wird. Die Zytotrophoblastschicht und das fetale Bindegewebe zwischen den fetalen Kapillaren und dem Synzytium verschwinden im vierten Schwangerschaftsmonat. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 39)

Vom kindlichen Herzen angetrieben, wird auf der fetalen Seite das sauerstoffarme Blut durch die beiden Nabelarterien zur Plazenta geführt und durchströmt dort die Kapillaren der Zottenbäumchen. Im intervillösen Raum werden durch das Diffusionsgefälle gegenüber dem mütterlichen Blut Sauerstoff aufgenommen und lösliche Abfälle ausgeschieden. Das nun sauerstoffreiche Blut kehrt über die Nabelvene wieder zum Fetus zurück. Die Chorionzotten haben etwa eine Oberfläche von 4-14 m² und werden vom Blut in den intervillösen Räumen umspült. Bei einer reifen Plazenta fassen diese Räume etwa 150 ml Blut, wobei sich dieses Blut etwa 3-4 mal pro Minute erneuert. Der plazentare Austausch findet aber nur bei den Zotten statt, bei denen die fetalen Gefäße im engen Kontakt mit der sich überziehenden Synzytiumschicht stehen. Meist besitzt das Synzytium dieser Zotten einen Bürstensaum aus zahlreichen Mikrozotten, welche wiederum den Stoffaustausch zwischen mütterlichem und fetalem Kreislauf intensivieren. (vgl. Sadler 2014, 164f)

Als sogenannte Plazentaschranke wird die Trennschicht zwischen den beiden Kreislaufsystemen bezeichnet und diese besteht nur aus fetalem Gewebe. Sie wird in den Frühstadien aus vier Schichten aufgebaut, der endothelialen Innenauskleidung der fetalen Blutgefäße, dem Bindegewebe im Zottenkern, der Zytotrophoblastschicht und dem synzytialen Überzug. (vgl. Sadler 2014, 165)

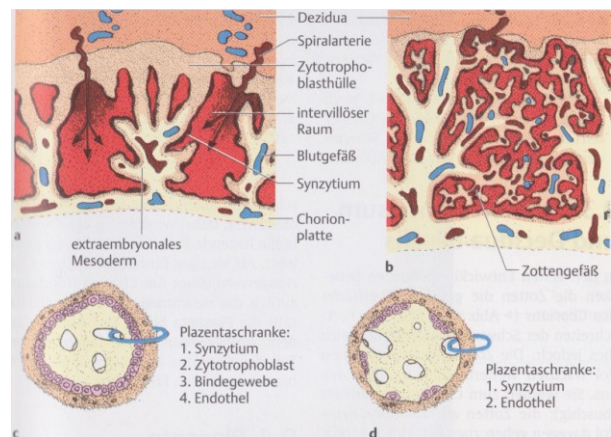


Abb. 25: Zottenaufbau (a und b) und Plazentaschranke (c und d). a) in der 4. SSW b) im 4. Monat c) Zottenquerschnitt (4. SSW) d) Zottenquerschnitt (4. Monat).

Ab dem vierten Schwangerschaftsmonat wird sie wesentlich dünner, indem die meisten Zotten ihre Zytotrophoblastschicht verlieren und das Bindegewebe, das die fetalen Kapillaren umgeben, verschwindet. Dadurch legt sich das Endothel der Kapillaren direkt an die Synzytiumschicht und somit kann ein verbesserter Stoffaustausch stattfinden. (vgl. Voß/ Bommas-Ebert 2011, 39) Normalerweise findet durch das Vorhandensein der Plazentaschranke keine Vermischung zwischen mütterlichem und fetalem Blut statt. (vgl. Sadler 2014, 165) Kindliche Zellen können durch physiologische Einrisse, die gegen Ende der Schwangerschaft möglich sind, in das mütterliche Blut übertreten. Ebenfalls können bei Mikrodefekten vereinzelte fetale Blutzellen in die Plazenta austreten. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 39)

Mit fortschreitendem Wachstum des Feten wächst der Uterus sowie die Plazenta, die während der gesamten Schwangerschaft etwa 25-30 % der inneren Uterusoberfläche einnimmt, einer Scheibe ähnelt und zum Schluss einen Durchmesser von 15-20 cm hat. Die Zunahme der Plazentadiecke entsteht durch die Verzweigung der bestehenden Zotten. Sie beträgt am Ende der Schwangerschaft etwa 3 cm und die Plazenta weist ein Gewicht von 500-600 g auf. Nach der Geburt des Kindes löst sich die Plazenta und wird etwa 30 Minuten später ausgestoßen. Die deziduale oder mütterliche Seite zeigt 15-20 leicht erhabene Areale, die Kotyledonen mit ihren Septen und ist mit einer dünnen Schicht aus Decidua basalis überzogen. Ein Teil der Dezidua bleibt vorerst im Uterus zurück und wird mit den anschließenden Blutungen ausgeschieden. Die fetale Seite wird von der Chorionplatte gebildet und vom Amnion bedeckt und zeigt

die Choriongefäße, eine große Anzahl von Venen und Arterien, die gegen die Nabelschnur hin konvergieren. Normalerweise inseriert die Nabelschnur exzentrisch und gelegentlich sogar marginal. (vgl. Sadler 2014, 162) Die Plazenta weist gegen Ende der Schwangerschaft einige Veränderungen auf, die einen verminderten Stoffaustausch anzeigen können. Es kommt häufig durch die gesteigerte Fibrinoidbildung z.B. zu

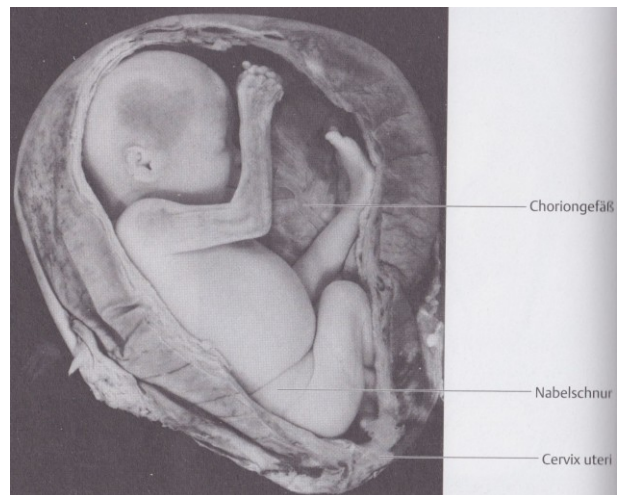


Abb. 26: Fetus in der 23. SSW in Steißlage.

einer Infarzierung von einzelnen intervillösen Blutseen bzw. von einem ganzen Kotyledon, die als weißlicher Bereich erkennbar ist. (vgl. Sadler 2014, 168)

3.4.2. Funktion der Plazenta

Der Austausch von Stoffwechselprodukten und Gasen sowie die Bildung von Hormonen zählen zu den Hauptaufgaben der Plazenta, wobei eine vollständige Trennung zwischen dem mütterlichen und dem fetalem Blut gegeben ist. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 193)

Die Diffusion ermöglicht den Austausch von Gasen wie Sauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Der Fetus entnimmt gegen Ende der Schwangerschaft 20-30 ml Sauerstoff pro Minute aus dem mütterlichen Kreislauf. Aus diesem Grund ist es verständlich, dass jede kurze Unterbrechung schon zu einer Schädigung des Feten führt. (vgl. Sadler 2014, 165f)

Mit fortschreitender Schwangerschaft nimmt der Austausch von Stoffwechselprodukten wie Aminosäuren, freien Fettsäuren, Kohlenhydraten und Vitaminen ständig zu. (vgl. Sadler 2014, 166) Am Ende der 12. SSW beginnt sich die immunologische Kompetenz zu entwickeln und ebenfalls zu diesem Zeitpunkt werden alle Komponenten des Komplementsystems vom Fetus gebildet. Ab etwa der 14. SSW treten mütterliche IgG (Immunglobuline G) von der Mutter in den Fetus über. Somit sind ausschließlich mütterliche IgG vorhanden und schützen den Fetus vor Infektionskrankheiten, da dieser passiv immunisiert wird. Erst nach der Geburt beginnt die eigene IgG-Produktion und erreicht erst mit drei Jahren die Menge eines Erwachsenen. (vgl. Sadler 2014, 166)

Die Plazenta bildet am Ende der 16. SSW genug Progesteron, welches im Zytoplasma des Synzytiums synthetisiert wird, um die Schwangerschaft aufrecht zu erhalten und übernimmt somit die Funktion des Corpus luteums. Weiters bildet die Plazenta zunehmend östrogene Hormone wie vor allem Östriol. Am Ende der Schwangerschaft erreicht die Östrogenbildung ihr Maximum und stimuliert somit das Wachstum des Uterus und der Milchdrüsen. Das Choriongonadotropin (HCG), welches ähnlich wie das luteinisierende Hormon (LH) des Hypophysenvorderlappens wirkt und das Corpus luteum aufrecht erhält, wird vom Synzytiotrophoblasten gebildet. Über den Urin wird das HCG von der Mutter ausgeschieden und in der frühen Schwangerschaft als Schwangerschaftsnachweis verwendet. Das Somatomammotropin ist ein weiteres Hormon, welches von der Plazenta produziert wird und dem Wachstumshormon der Hypophyse ähnelt. Es stimuliert das Brustwachstum bei der Mutter und verschafft in Bezug auf den Blutzuckerspiegel dem Fetus Priorität, wodurch eine diabetogene Stoffwechsellage bei der Mutter entsteht. (vgl. Sadler 2014, 167f)

4. Spezielle Embryologie

„Die Embryologie ist die Lehre von der pränatalen Entwicklung.“ (Pschyrembel 2007, 509) Sie beginnt mit der Befruchtung und geht bis zur Geburt und beinhaltet den Blastozysten, den Embryo sowie den Fetus. (vgl. Pschyrembel 2007, 509)

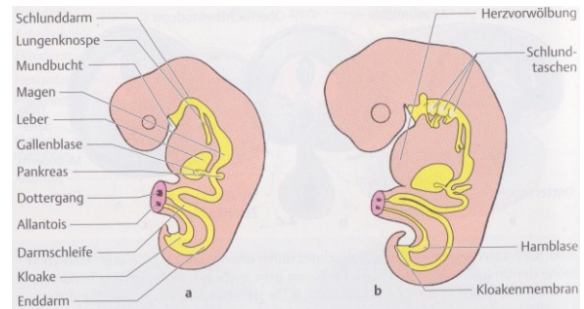


Abb. 27: Derivate des Endoderms. a) 4. SSW b) 5. SSW. Im Schlunddarm entstehen Schlundtaschen, Lungenknospen und die Trachea. Im Mitteldarm entwickeln sich Leber, Galle und Pankreas. Die Hamblase trennt sich von der Kloake ab und setzt sich in diesem Stadium noch in die Allantois fort.

| Tage | Somit | Länge (mm) | Charakteristische Eigenschaften |
|-------|-------|------------|--|
| 14–15 | 0 | 0,2 | Entwicklung des Primitivstreifens |
| 16–18 | 0 | 0,4 | Chordafortsatz; Blutinseln im Dottersack |
| 19–20 | 0 | 1,0–2,0 | intraembryonales Mesoderm voll ausgebildet; Primitivstreifen vollständig; Nabelgefäße und die kranialen Neuralfalten entstehen |
| 20–21 | 1–4 | 2,0–3,0 | Aufrichtung der kranialen Neuralfalten und Einsenkung der Neuralrinne; Beginn der Abfaltung |
| 22–23 | 5–12 | 3,0–3,5 | Neuralrohrverschluss im Halsbereich; Neuroporus anterior und posterior weit offen; 1. und 2. Schlundbogen; Ausbildung der Herzschleife |
| 24–25 | 13–20 | 3,0–4,5 | kraniokaudale Krümmung; Neuroporus anterior schließt sich; Augenbläschen vorhanden; Entwicklung der Ohrplakoden |
| 26–27 | 21–29 | 3,5–5,0 | Neuroporus posterior schließt sich, Armknospe erscheint; drei Schlundbögen |
| 28–30 | 30–35 | 4,0–6,0 | 4. Schlundbogen entsteht; Auftreten der Beinknospen; Ohrbläschen und Riechplakode vorhanden |
| 31–35 | | 7,0–10,0 | Armknospen im Paddelstadium; Riechgrübchen eingesenkt; Embryo C-förmig gekrümmt |

| | | | |
|-------|--|-----------|---|
| 36–42 | | 9,0–14,0 | Finger- und Zehenstrahlen abgegrenzt; Gehirnbläschen deutlich ausgeprägt; Ohrmuskeln entstehen aus den Ohrmuschelhöckern; Beginn des physiologischen Nabelbruchs |
| 43–49 | | 13,0–22,0 | Pigmentierung des Auges sichtbar; Trennung der Finger- und Zehenstrahlen; Brustwarzen und Augenlider ausgebildet; Oberkieferwülste verschmelzen mit medialen Nasenwülsten bei der Bildung der Oberlippe; physiologischer Nabelbruch auf dem Höhepunkt |
| 50–56 | | 21,0–31,0 | Extremitäten sind im Ellenbogen und Knie abgewinkelt; Finger und Zehen getrennt; bereits menschliche Gesichtszüge; der Schwanz bildet sich zurück; physiologischer Nabelbruch ausgeprägt; er kehrt erst am Ende des 3. Monats wieder in den Körper zurück |

Abb. 28: Schlüsselereignisse während der Embryonalperiode.

4.1. Kardiovaskuläres System

In der Mitte der dritten Entwicklungswoche entstehen das Gefäß- und das Herz-Kreislauf-System. Der Embryo kann seinen Nährstoffbedarf nicht mehr allein durch Diffusion von Sauerstoff und Nährstoffen decken. (vgl. Sadler 2014, 241) Als eines der ersten Organsysteme entwickelt sich das Herz-Kreislauf-System. Es ist eines von wenigen, bei dem seine volle Funktion von der frühen Entwicklung an aktiv ist und dessen Funktion auch von Anfang an eine wichtige Rolle spielt. (vgl. Coad/Dunstall 2007, 233)

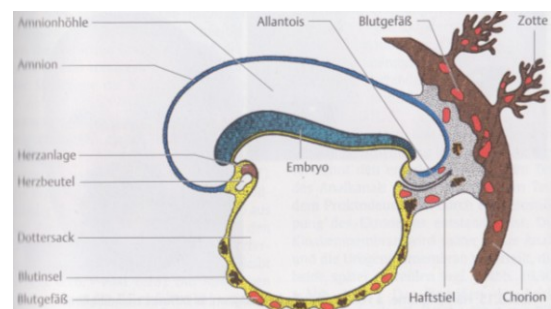


Abb. 29: Entwicklung der extraembryonalen Blutgefäße.

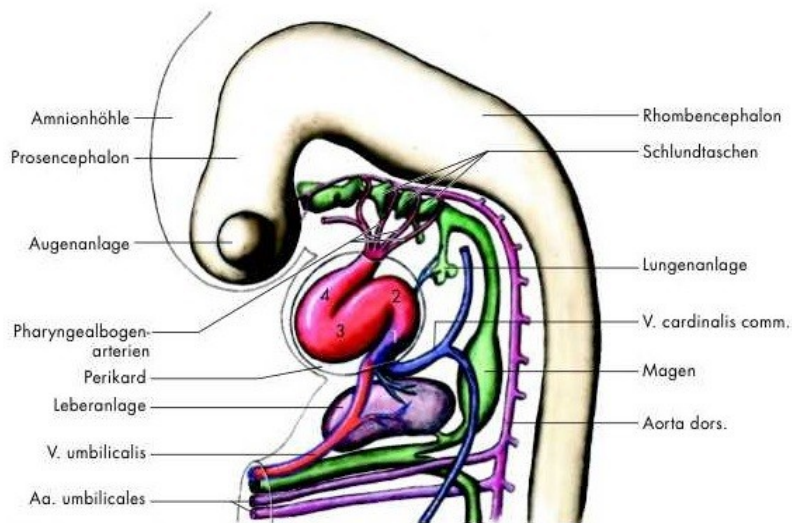


Abb. 30: Herz- und Gefäßanlage bei einem etwa 26. Tage alten Embryo.

4.1.1. Herz

Das Herz entwickelt sich aus dem Mesoderm und stammt aus dem mittleren Keimblatt ab. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 56) Das primäre Herzfeld entsteht, wenn die kardiogenen Vorläuferzellen des Herzens zwischen dem

16.-18. Entwicklungstag durch den Primitivstreifen bis in kranial von den Neuralfalten gelegene Bereiche wandern, um sich dort zu einer hufeisenförmigen Region im viszeralem Blatt der Seitenplatten anzuordnen. Die Zellen werden, während sie migrieren, durch den Lateralitätssignalweg bezüglich ihrer Seiten-

zugehörigkeit und ihrer regionalen Identität wie Atrien, linker Ventrikel und Teile des rechten Ventrikels, spezifiziert. Aus dem sekundären Herzfeld entstammen die Zellen, welche die restlichen Bereiche des Herzens, wie die übrigen Teile des rechten Ventrikels, den Conus cordis und den Truncus arteriosus, umfassen. Das sekundäre Herzfeld wird durch die Neuralleistenzellen, die durch die Schlundbögen in diese Region einwandern, reguliert und befindet sich nahe dem

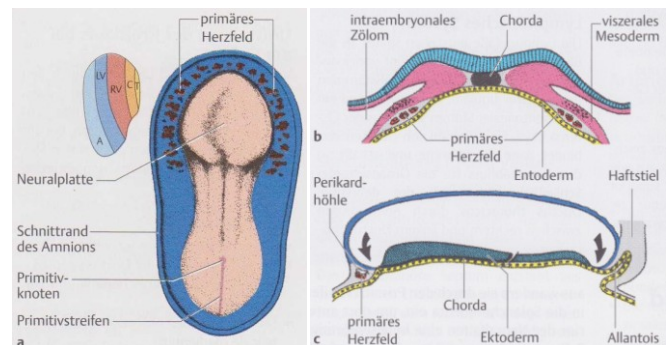


Abb. 31: Herzanlage im 18 Tage alten Embryo. a) Dorsalansicht b) Querschnitt c) Sagittalschnitt.

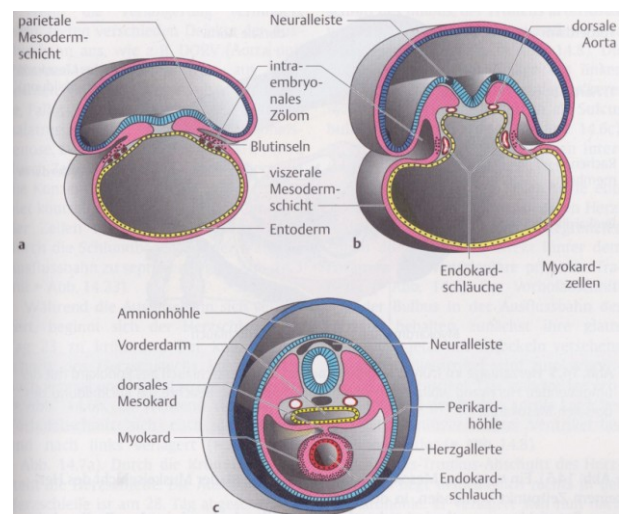


Abb. 32: Entwicklung des Herzschlauchs im Verlauf der Abfaltung. a) 17. b) 18. und c) 22. Entwicklungstag.

Boden des hinteren Pharynx. (vgl. Sadler 2014, 241f) Bei Störungen des sekundären Herzfeldes kommt es zu Fehlbildungen der Herzausflussbahnen sowie z.B. auch zu Transpositionen der großen Arterien und Pulmonalstenosen. Diverse Herzdefekte entstehen durch Störungen im Lateralitätssignalweg. (vgl. Sadler 2014, 244)

Das vordere Entoderm initiiert die Induktion der kardiogenen Region, welches die Herzprogenitorzellen unterlagert, wodurch die Herzmuskelzellen und Blutgefäße entstehen. Weiters ist das Entoderm mitverantwortlich für die Expression des Schlüsselgens der Herzentwicklung. Aus dem primären Herzfeld entwickelt sich ein Teil der Zellen zu Endothelzellen, welche sich zu einem hufeisenförmigen Schlauch anordnen. Die restlichen Zellen entwickeln sich zu Herzmuskelzellen und umgeben den endothelialen Schlauch. (vgl. Sadler 2014, 239) Die Enden des Hufeisens werden bis zum 22. Entwicklungstag durch die seitlichen Körperfalten in der ventralen Mittellinie zusammengeführt. Bis auf die kaudalen bzw. atrialen Abschnitte verschmelzen sie miteinander zu einem gemeinsamen Herzschlauch, welcher aus einem inneren endokardialen Schlauch mit einem myokardialen Mantel besteht. (vgl. Sadler 2014, 244f) In der vierten Entwicklungswoche entwickelt sich daraus eine Herzschleife. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 57)

Durch diesen Vorgang nimmt das Herz seine normale Lage im linken Thorax ein. Die Einstrom- und Ausflussbahn nähern sich einander an. Allerdings befinden sich die Atrien hinten und die Ventrikel weiter vorne. Bis zu diesem Zeitpunkt kann es durch Defekte zu einer Dextrokardie kommen. (vgl. Sadler 2014, 250)

Vier Endokardkissen umgeben den Atrioventrikularkanal. Die Öffnung wird bei der Verschmelzung des vorderen bzw. oberen und des hinteren bzw. unteren Kissens in ein linkes und ein rechtes Atrioventrikularostium unterteilt. Indem sich die Endokardkissen bindegewebig umwandeln, entstehen auf der linken Seite die Mitralklappen und auf der rechten Seite die Trikuspidalklappen. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 81f) Durch abnormes Endokardkissengewebe entstehen Fehlbildungen der Segelklappen oder ein ungeteilter Atrioventrikularkanal. (vgl. Sadler 2014, 259f)

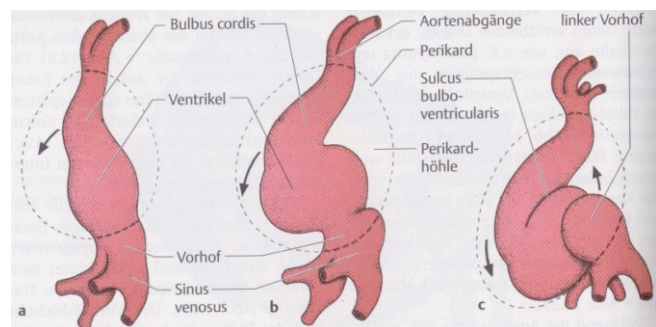


Abb. 33: Entwicklung der Herzschleife vom 23.-24. Tag (a-c).

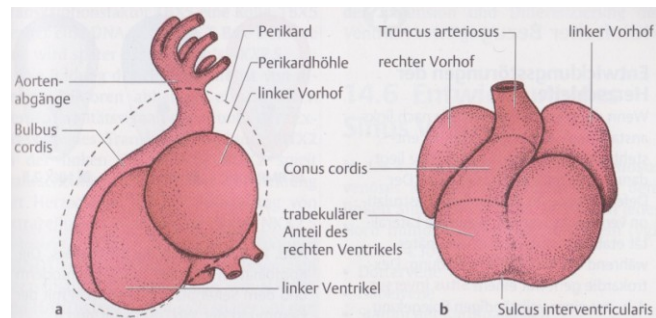


Abb. 34: Entwicklung der Herzschleife am 28. Tag (5mm SSL)
Ansicht a) von links b) frontal.

Indem sich die Endokardkissen bindegewebig umwandeln, entstehen auf der linken Seite die Mitralklappen und auf der rechten Seite die Trikuspidalklappen. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 81f) Durch abnormes Endokardkissengewebe entstehen Fehlbildungen der Segelklappen oder ein ungeteilter Atrioventrikularkanal. (vgl. Sadler 2014, 259f)

Sowohl das Atrium als auch der Ventrikel werden durch die Septumbildung geteilt. Das Septum primum wächst als sichelförmige Leiste vom Dach des Atriums herab, teilt somit die Vorhöfe aber lässt eine kleine Öffnung, das Ostium primum. Bei der Fusion zwischen dem Septum primum und dem Endokardkissen wächst das Ostium primum zu, wobei ein Zelluntergang im Septum primum stattfindet und das Ostium secundum entsteht. Das Septum secundum bildet sich und lässt zwischen den Atrien das Foramen ovale bestehen. Die beiden Septen werden bei der Geburt, wenn der Druck im linken Atrium ansteigt, aneinander gedrückt und verschließen somit die Öffnung im Vorhofseptum. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 81f)

Zwischen den Ventrikeln entsteht das Septum interventriculare und besteht

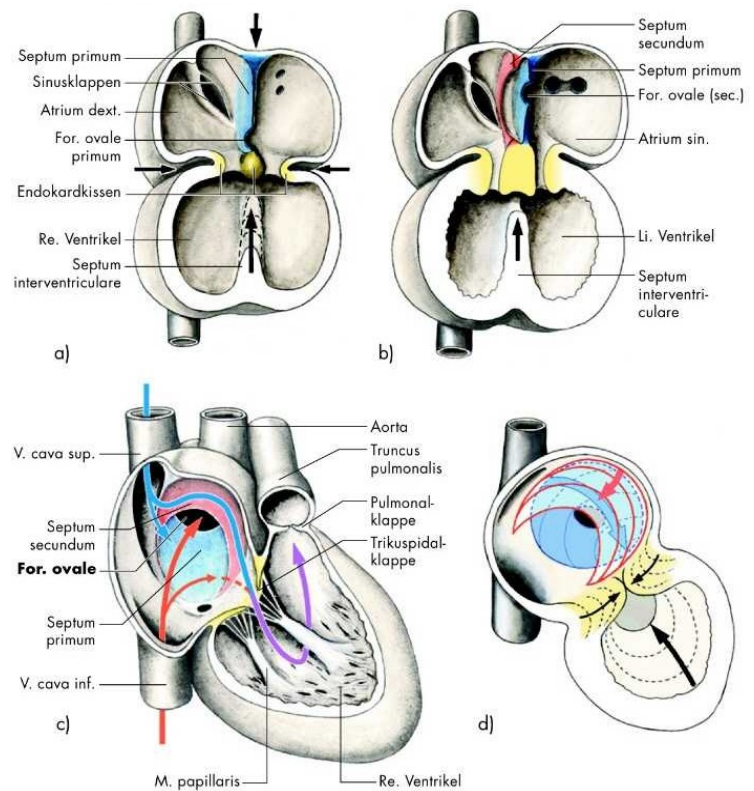


Abb. 35: Entstehung der Vorhofsepten (Frontalschnitt).
 a) am 28. und b) 36. Entwicklungstag.
 c) in der 8. Entwicklungswoche im Längsschnitt durch das rechte Herz
 d) Schema der Wachstumsprozesse, die zur Herztrennung führen:
 - Im Vorhofbereich: blau = Septum primum, rote Linie = Wachstumsphasen, roter Pfeil = Wachstumsrichtung.
 - Im Kammerbereich: breiter Pfeil = Bildung des Septum interventriculare.
 - Im Bereich der späteren Ventilebene: gelb und dünne Pfeile = Verschmelzung der Endokardkissen.

aus einem dicken muskulären und einem dünnen membranösen Abschnitt. Aus dem unteren Endokardkissen im Atrioventrikularkanal, dem linken und rechten Konuswulst, entsteht das membranöse Septum. Bei einer unvollständigen Verschmelzung dieser drei Komponenten entsteht ein offenes Foramen interventriculare. Diese Fehlbildung kann isoliert oder in Kombination mit anderen kompensatorischen Defekten auftreten. (vgl. Sadler 2014, 265f)

Im Bulbus kommt es zu einer weiteren Septumbildung. Dieser wird vom Truncus, dem Truncus aortae und dem Truncus pulmonalis, vom Konus, der Ausflussbahn der Aorta und des Truncus pulmonalis und vom trabekulären Abschnitt des rechten Ventrikels gebildet. Durch das spiralförmige Septum aorticopulmonale wird die Truncusregion in die beiden Hauptarterien unterteilt. Die Ausflussbahn von Aorta und Arteria pulmonalis wird von den Konuswülsten unterteilt und verschließt zusammen mit dem Gewebe des unteren Endokardkisses das Foramen interventriculare. Bei fehlerhafter Unterteilung der Konus-Truncus-Region kommen viele Fehlbildungen, wie die Transposition der großen Gefäße und die Pulmonalatresie, zustande. (vgl. Sadler 2014, 267f)

Der Sinus venosus erhält in der vierten Entwicklungswoche venöses Blut aus dem linken und rechten Sinushorn. (vgl. Sadler 2014, 251) Drei große Gefäße, die Dottervene, die Nabelvene und der Stamm der Kardinalvenen, münden in jedes Sinushorn ein. In der vierten und fünften Entwicklungswoche findet im embryonalen Venensystem eine Verlagerung des Blutstroms nach rechts, dem Links-Rechts-Shunt, statt. Dadurch verlagert sich die Eintrittsstelle des Sinus auch nach rechts. Durch die Obliteration der rechten Nabelvene und der linken Dottervene in der fünften Entwicklungswoche und die Rückbildung des linken Stammes der Kardinalvenen in der zehnten Entwicklungswoche bleiben schlussendlich vom linken Sinushorn nur die V. obliqua des linken Vorhofs und der Sinus coronarius zurück. Das rechte Sinushorn stellt nun die einzige Verbindung zwischen dem ursprünglichen Sinus venosus und dem Vorhofabschnitt dar und vergrößert sich durch den Shunt des Blutstromes erheblich. Weiters vergrößern sich dadurch auch die rechten Venen beträchtlich. (vgl. Sadler 2014, 251f)

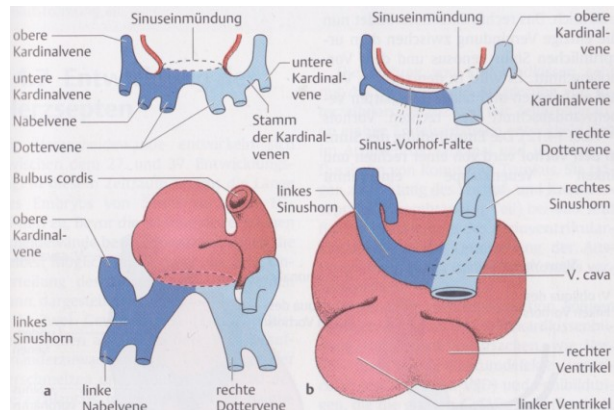


Abb. 36: Entwicklung des Sinus venosus in Dorsalansicht. a) 24. und b) 35. Entwicklungstag.

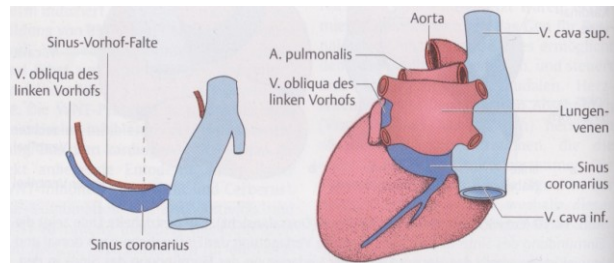


Abb. 37: Definitive Lage des Sinus coronarius und der großen Venen.

Der Schrittmacher des Herzens liegt zu Beginn auf der linken Seite des kaudalen Bereichs des Herzschlauches und wird später von Sinus venosus übernommen. Das Schrittmachergewebe liegt jetzt, nach der Einbeziehung des Sinus venosus, im rechten Atrium an der Einmündung der oberen Hohlvene, woraus der Sinusknoten entsteht. (vgl. Sadler 2014, 270)

4.1.2. Gefäßsystem

Blutgefäße können auf zwei Arten entstehen, entweder durch Vaskulogenese, dabei verschmelzen Angioblasten zu Endothelschläuchen, oder durch Angiogenese. Hier findet eine Aussprossung bereits bestehender Gefäße statt. Durch Vaskulogenese entstehen die großen Gefäße, wie die dorsale Aorta und die Kardinalvenen. Durch Angiogenese entsteht das restliche Gefäßsystem. (vgl. Sadler 2014, 270)

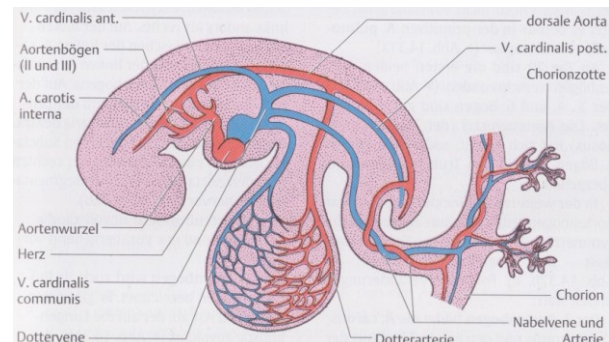


Abb. 38: Intra- und extraembryonale Gefäße am Ende der 4. Woche.

4.1.2.1. Arterien

In der vierten und fünften Entwicklungswoche entwickeln sich die Schlundbögen und mit jedem Schlundbogen ein eigener Schlundbogennerv und eine eigene Arterie. Sie werden auch als primitive Aortenbögen bezeichnet und somit wird der Schlunddarm von sechs primitiven Aortenbögen eingefasst. Diese sind zuerst paarig angelegt und bilden sich entweder wieder zurück oder werden in definitive Gefäße umgewandelt. Somit kommt es zu paarigen und unpaarigen Gefäßen. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52)

Die Schlundbögen sind nicht alle gleichzeitig vorhanden sondern entwickeln sich und ihre Gefäße von kranial nach kaudal. Insgesamt bilden sich fünf von den sechs Schlundbögen zu vollständigen Aortenbogenpaaren aus. (vgl. Sadler 2014, 271) Der fünfte Aortenbogen ist oft nicht angelegt oder entwickelt sich nur unvollständig und ist nur vorübergehend vorhanden. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52)

Am 27. Entwicklungstag sind der erste und zweite Aortenbogen bereits größtenteils verschwunden und der dritte Bogen ist zu diesem Zeitpunkt gut ausgebildet. (vgl. Sadler 2014, 271) Vom ersten Aortenbogen bleibt nur ein sehr kleiner Anteil über, der an der Bildung der A. carotis externa und A. maxillaris beteiligt ist. Der dritte Bogen bildet gemeinsam mit der dorsalen Aorta die A. carotis interna. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52) Der vierte und sechste Aortenbogen entstehen gerade, wobei der sechste bereits in der primitiven Arteria pulmonalis einen Hauptast besitzt. Am 29. Entwicklungstag sind die ersten beiden Aortenbögen verschwunden und der dritte, vierte und sechste gut ausgebildet. Weiters hat sich die

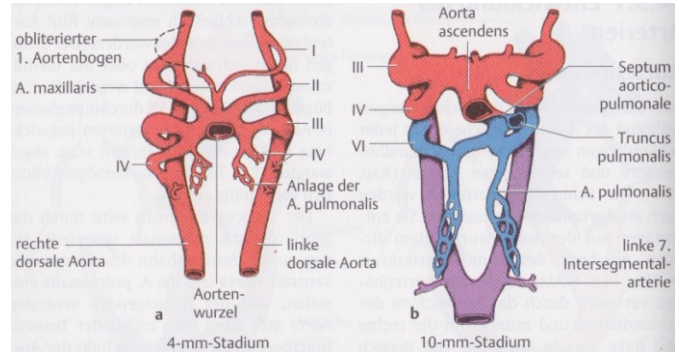


Abb. 39: Entwicklung der Aortenbögen. a) am Ende der 4. und b) am Anfang der 6. Woche.

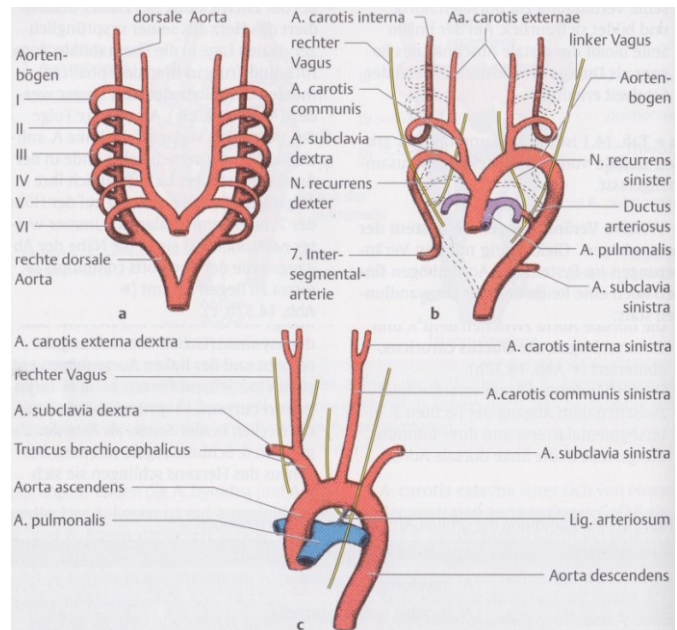


Abb. 40: Umbildung der Aortenbögen zu den definitiven Gefäßen. Aortenbögen und dorsale Aorten: a) vor der Umbildung, b) nach der Umbildung und c) beim Erwachsenen.

| Aortenbogen | Abgeleitete Arterie |
|-------------|---|
| 1 | A. maxillaris |
| 2 | A. hyoidea und A. stapedia |
| 3 | A. carotis communis und erster Abschnitt der A. carotis interna* |
| 4 | auf der linken Seite: Aortenbogen zwischen der linken A. carotis und der linken A. subclavia** auf der rechten Seite: A. subclavia dextra, proximaler Abschnitt*** |
| 6 | auf der linken Seite: linke A. pulmonalis und Ductus arteriosus auf der rechten Seite: rechte A. pulmonalis |

* Die übrige A. carotis interna stammt von der dorsalen Aorta im Kopfbereich ab. Die A. carotis externa sprosst aus dem 3. Aortenbogen aus.
** Der proximale Abschnitt des Aortenbogens stammt aus dem linken Horn des Truncus arteriosus ab. Das rechte Horn bildet den Truncus brachiocephalicus auf der rechten Seite.
*** Der distale Abschnitt der rechten A. subclavia entsteht wie die linke A. subclavia aus der 7. Intersegmentalarterie.

Abb. 41: Abstammung der großen Arterien von den Aortenbögen.

weiteres hat sich die

Aortenwurzel, der Truncus arteriosus, geteilt, sodass beide sechsten Bögen in den Truncus pulmonalis übergehen. (vgl. Sadler 2014, 272) Aus der vierten Arterie entstehen zwei unpaarige Gefäße. Der vierte linke Aortenbogen wird zum definitiven Aortenbogen umgewandelt. Die vierte rechte Schlundbogenarterie entwickelt sich zum Truncus brachiocephalicus und ein Teil ist an der Entwicklung der A. subclavia beteiligt. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52) Aus dem proximalen Abschnitt des vierten Aortenbogens und der siebenten Intersegmentalarterie wird die rechte Arteria subclavia gebildet. (vgl. Sadler 2014, 272) Die sechste Schlundbogenarterie entwickelt sich ebenfalls zu unpaarigen Gefäßen. Aus der linken Arterie bilden sich der Truncus pulmonalis und der Ductus arteriosus Botalli, der sogenannte Umgehungskreislauf der Lunge. Die A. pulmonalis entsteht aus der rechten Schlundbogenarterie. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52)

Der Dottersack wird von den paarigen Dotterarterien versorgt, die allmählich miteinander verschmelzen und die Arterien im dorsalen Mesenterium des Darms bilden. Schlussendlich wandeln sie sich in den Truncus coeliacus und die A. mesenterica superior um. Allerdings werden die Aa. Mesentericae inferiores aus der Nabelarterie bzw. aus den Umbilikalarterien gebildet. Der Vorder-, Mittel- und Enddarm wird von diesen drei Arterien versorgt. Die Nabelarterien verlaufen in Verbindung der Allantois zur Plazenta. Sie sind ursprünglich paarig angelegte, ventrale Äste der dorsalen Aorta und jede Arterie gewinnt in der vierten Entwicklungswoche einen sekundären Anschluss an einen dorsalen Ast der Aorta, die A. iliaca communis. Somit verlieren sie die Verbindung zur Ursprungsstelle. Der distale Anteil obliteriert nach der Geburt beiderseits und wird zum Lig. Umbilicale medianum und der proximale Abschnitt bleibt als A. iliaca interna und A. vesicalis erhalten. (vgl. Sadler 2014, 275)

Die häufigsten Fehlbildungen der Aortenbögen sind ein offener Ductus arteriosus, eine Aortenisthmusstenose und ein persistierender rechter Aortenbogen sowie eine abnorme rechte A. subclavia, die Atem- und Schluckbeschwerden verursachen können. (vgl. Sadler 2014, 275-277)

4.1.2.2. Venen

In der fünften Entwicklungswoche sind drei große Venenpaare, die Dottervenen, die Nabelvenen und die Kardialvenen vorhanden. Die Dottervenen bilden einen Venenring um das Duodenum und die Leberanlage. Sie durchströmen das Mesenchym des Septum transversum und treten dann in den Sinus venosus ein. Es entsteht ein weites Kapillarnetz aus Lebersinusoiden, indem die auswachsenden Leberzellbälkchen in die Strombahn der Venen einsprossen. (vgl. Sadler 2014, 279) Das Blut des linken Sinushorns fließt durch dessen Rückbildung auf die rechte Seite. Dies führt zur Ausweitung und der rechte Herz-Leber-Kanal entsteht. Dieser bildet schließlich den post-hepatischen Abschnitt der V. cava inferior. Die linke Dottervene verliert ihre Funktion, denn der proximale Abschnitt obliteriert und der distale bildet sich vollständig zurück. Aus dem distalen

Abschnitt der rechten Dottervene entsteht die V. mesenterica superior, die das Blut aus den primitiven Darmschlingen ableitet.

Die V. portae ist das einzige Gefäß, das aus den Anastomosen um das Duodenum entsteht. Zu Beginn laufen die Nabelvenen an beiden Seiten der Leberanlage vorbei, wobei sie bald eine Verbindung zu den Lebersinusoiden aufnehmen.

Die ganze rechte Nabelvene und der proximale Abschnitt der linken Nabelvene bilden sich zurück. Das Blut wird nur mehr von der linken Nabelvene aus der Plazenta zur Leber befördert. Es entsteht durch die

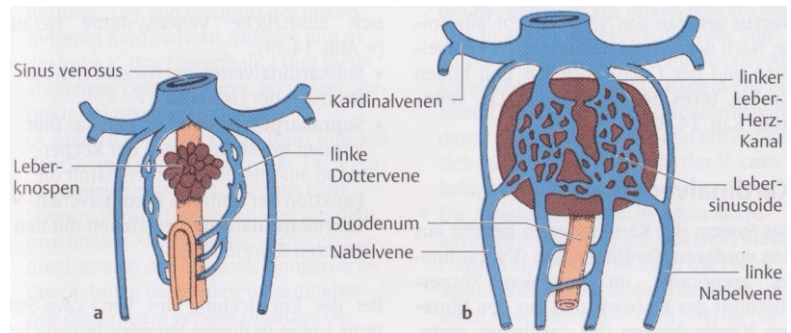


Abb. 42: Dottervene und Nabelvene in der a) 4. und b) 5. Entwicklungswoche.

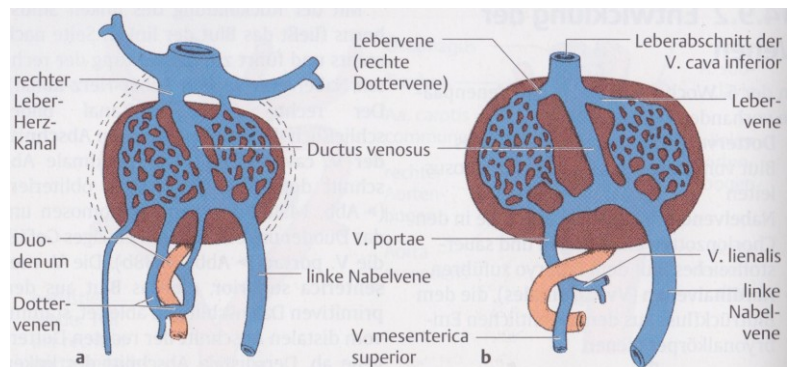


Abb. 43: Dottervene und Nabelvene im a) 2. und b) 3. Entwicklungsmonat.

Verstärkung des Plazentakreislaufs eine direkte Verbindung zwischen dem rechten Leber-Herz-Kanal und der linken Nabelvene und umgeht dadurch als Ductus venosus das Netz der Lebersinusoiden. Die Nabelvene und der Ductus venosus obliterieren nach der Geburt und bilden das Lig. teres hepatis und das Lig. venosum. (vgl. Sadler 2014, 279f)

Die Kardinalvenen sind bis zur vierten Entwicklungswoche symmetrisch ausgebildet. Im kranialen Abschnitt des embryonalen Körpers liegen die vorderen Kardinalvenen, die Vv. cardinales anteriores.

Die hinteren Kardinalvenen, die Vv. cardinales posteriores, leiten das Blut aus dem restlichen embryonalen Körper einschließlich der Urnieren zurück. Kurz bevor die Kardinalvenen über das jeweilige Sinushorn in das Herz eintreten, vereinigen sich jeweils die hintere

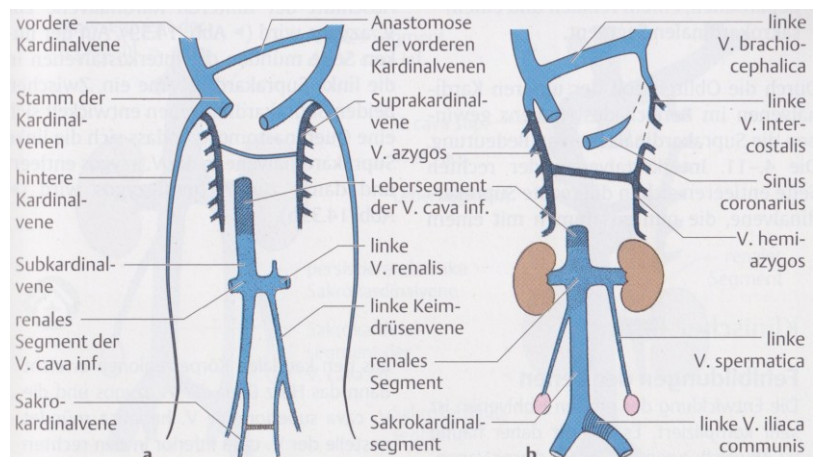


Abb. 44: Entwicklung des Venensystems. a) in der 7. Woche und b) bei der Geburt.

mit der vorderen von einer Seite und bilden die kurze V. cardinalis communis, den Ductus cuvieri. Zusätzliche Venensysteme bilden sich zwischen der fünften und siebenten Entwicklungswoche aus. Zur Drainage der Urnieren entwickeln sich die Subkardinalvenen. Die Funktion der hinteren Kardinalvenen wird von den Suprakardinalvenen übernommen, indem sie das Blut aus den

Interkostalvenen der Körperwand aufnehmen. Mit den unteren Extremitäten entstehen die Sakrokardinalvenen. (vgl. Sadler 2014, 280)

In diesem Venensystem treten bei der Entwicklung des Vena-cava-Systems charakteristische Queranastomosen auf, die das Blut von der linken auf die rechte Seite leiten. Die linke V. brachiocephalica entwickelt sich aus der Anastomose zwischen den vorderen Kardinalvenen und leitet das Blut aus dem Kopf und dem linken Arm auf die rechte Seite. Als kleines Gefäß in Form der linken Interkostalvene bleibt der Endabschnitt der hinteren Kardinalvene erhalten und mündet in die V. brachiocephalica. Aus dem proximalen Abschnitt der vorderen Kardinalvene und rechts aus dem Stamm der Kardinalvenen entsteht die V. cava superior. Die vorderen Kardinalvenen übernehmen in der vierten Woche die primäre venöse Drainage des Kopfbereichs. Im weiteren Verlauf entwickeln sie sich zu den Vv. jugulares internae. Aus einem Venengeflecht im Gesichtsbereich entstehen die Vv. jugulares externae und leiten das Blut aus der seitlichen Kopfregion und dem Gesicht in die Vv. subclaviae ab. Die linke Nierenvene entwickelt sich aus den Anastomosen zwischen den Subkardinalvenen. Die linke Subkardinalvene bildet sich bis auf den distalen Abschnitt, der als linke Gonadenvene bestehen bleibt, zurück. Somit übernimmt die rechte Subkardinalvene den Hauptabfluss und entwickelt sich zum renalen Segment der V. cava inferior.

Die linke V. iliaca communis entwickelt sich aus den Anastomosen der Sakrokardinalvenen. Der untere Abschnitt der V. cava inferior bzw. das sakrokardinale Segment wird von der rechten Sakrokardinalvene gebildet. In den Leberabschnitt der V. Cava, der aus der rechten Dottervene stammt, geht das renale Segment der V. cava inferior über und schließt somit die Ausbildung der V. cava inferior, die nun aus einem hepatischen, einem renalen und einem sakrokardinalen Segment besteht, ab. (vgl. Sadler 2014, 280-282)

Die Suprakardinalvenen gewinnen durch die Obliteration der unteren Kardinalvenen im Bereich des Herzens an Bedeutung. Die V. azygos entwickelt sich aus der rechten Suprakardinalvene, in die sich die vierte bis elfte Interkostalvene der rechten Seite entleeren und aus einem Abschnitt der hinteren Kardinalvenen. Die Interkostalvenen auf der linken Seite münden in die linke Suprakardinalvene ein. Es entwickelt sich eine Queranastomose zwischen den beiden Suprakardinalvenen, wodurch sich die linke Suprakardinalvene in die V. azygos entleert und die V. hemiazygos entsteht. (vgl. Sadler 2014, 282)

4.1.3. Lymphatisches System

Das lymphatische System bzw. die Lymphgefäße treten erst ab der fünften Entwicklungswoche auf und entstehen somit wesentlich später als das Gefäßsystem. Es entstehen zwei jugulare und zwei iliakale Stämme sowie ein retroperitonealer Stamm, welche die fünf primären Lymphgefäßstämme ergeben. Am Zusammenfluss der V. subclavia und der V. cardinalis anterior entstehen die zwei

jugularen Stämme. Die zwei iliakalen Stämme bilden sich beim Zusammenfluss der V. iliaca und der V. cardinalis posterior. An der dorsalen Mesenterialwurzel entwickelt sich der retroperitoneale Stamm, bei dem dorsal wiederum die Cisterna chyli vorhanden ist.

Die primären Lymphstämme sind durch zahlreiche Lymphbahnen miteinander verbunden und drainieren die Lymphknoten der Extremitäten, der Körperwand und des Kopf- und Halsbereiches. Der rechte und linke Ductus thoracicus, die beiden Hauptkanäle, verbinden sich mit der Cisterna chyli und den jugularen Stämmen, zwischen denen sich anschließend eine Anastomose bildet. Erst aus dem distalen Abschnitt des linken Ductus thoracicus, der Anastomose und dem kranialen Abschnitt des linken Ductus thoracicus entwickelt sich schlussendlich der definitive Ductus thoracicus. Vom kranialen Abschnitt des rechten Ductus thoracicus stammt der rechte Lymphgang im Mediastinum ab. Beide Gänge münden im Venenwinkel zwischen der V. jugularis interna und der V. subclavia und behalten somit ihren ursprünglichen Zugang zum Venensystem. Die definitive Gestalt des Ductus thoracicus ist allerdings aufgrund der vielen Anastomosen sehr variabel. (vgl. Sadler 2014, 286f)

4.2. Respirationstrakt

In der ventralen Wand des Vorderdarms entsteht der Atemtrakt. Vom Entoderm stammt die epitheliale Auskleidung von Larynx, Trachea, Bronchien und Alveolen ab und das Knorpel- und Muskelgewebe sind mesodermalen Ursprungs.

(vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 56)

Der Lungendivertikel, der als entodermale Aussackung von der ventralen Vorderwand des Vorderdarms entspringt, schnürt sich als Trachea durch das Septum oesophago-tracheale in der vierten Woche vom Vorderdarm ab. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 56)

Der ventrale Teil des Vorderdarms bildet die Anlage des Respirationstrakts und der dorsale Anteil die Anlage des Ösophagus. Die spätere Kehlkopföffnung ist nun die einzige offene Verbindung zwischen dem Atemtrakt und dem Vorderdarm. (vgl. Sadler 2014, 289) Der Lungendivertikel bildet in der Mitte die Trachea und nach lateral die Lungenknospen. Es entwickeln sich zwei Lungenknospen,

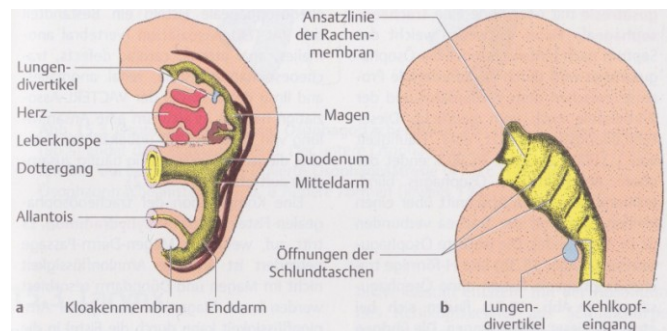


Abb. 45: Lage des Lungendivertikels.

a) am 25. Entwicklungstag

b) Sagittalschnitt der Kopfregion in der 5. Entwicklungswoche.

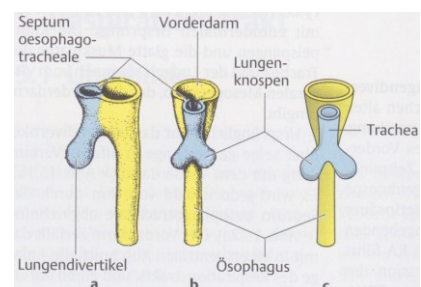


Abb. 46: Abschnürung des Lungendivertikels.

a) von lateral b-c) von ventral; a-b) am Ende der 3. Woche c) während der 4. Woche.

wobei sich die rechte Lungenknospe in drei Äste bzw. Hauptbronchien unterteilt und die linke in zwei. Somit ist die Gliederung der drei Lappen auf der rechten und der zwei Lappen auf der linken Seite vorgegeben. (vgl. Sadler 2014, 292) Diese Lappen entwickeln rechts neun bis zehn und links neun weitere Knospen für die Segmentbronchien. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 57)

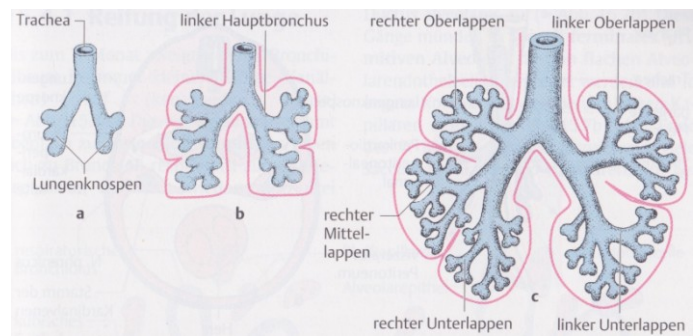


Abb. 47: Entwicklung von Trachea und Lunge. a) 5. Woche b) 6. Woche c) 8. Woche.

Das Lungenwachstum wird in zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase ist die pseudoglanduläre Phase von der 5.-16. Entwicklungswoche. Hier zweigt sich der Bronchialbaum wie eine Drüse auf. Fließend geht diese Phase von der 16.-26. Entwicklungswoche in die zweite, die kanalikuläre Phase, über. Die kanälchenartigen Endverzweigungen differenzieren sich in Bronchiolen und Alveolen, währenddessen sich die Kanälchen weiter aufzweigen. Im Anschluss bildet sich das kubische Epithel der Bronchiolen in ein flaches Epithel aus Typ-I-Alveolarepithelzellen um. Die Blut- und Lymphkapillaren verbinden sich eng damit. (vgl. Sadler 2014, 295)

| Phase | Zeitraum | Vorgänge |
|---------------------------|-----------------------------|---|
| Pseudoglanduläre Phase | 5–16 Wochen | Aufzweigungen sind bis zu den terminalen Bronchiolen fortgeschritten Bronchioli respiratorii oder Alveolen noch nicht vorhanden |
| Kanalikuläre Phase | 16–26 Wochen | Jeder terminale Bronchiolus teilt sich in zwei oder mehr respiratorische Bronchiolen, die sich ihrerseits in 3–6 Alveolargänge verzweigen |
| Primäre Alveolen | 26 Wochen bis Geburt | Ausbildung primitiver Alveolen mit engem Kontakt zu den Kapillaren |
| Alveoläre Differenzierung | 8 Monate bis frühe Kindheit | Differenzierung reifer Alveolen mit voll ausgebildeter Blut-Luft-Schranke |

Abb. 48: Reifung der Lunge.

Die kanalikuläre Phase, über. Die kanälchenartigen Endverzweigungen differenzieren sich in Bronchiolen und Alveolen, währenddessen sich die Kanälchen weiter aufzweigen. Im Anschluss bildet sich das kubische Epithel der Bronchiolen in ein flaches Epithel aus Typ-I-Alveolarepithelzellen um. Die Blut- und Lymphkapillaren verbinden sich eng damit. (vgl. Sadler 2014, 295) Ein Gasaustausch zwischen Blut und Luft ist ab dem siebenten Monat in den primären Alveolen möglich. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 57)

Das Surfactant wird von den Typ-II-Alveolarepithelzellen sezerniert und bildet auf dem Alveolarepithel eine Phospholipidschicht. Die Lungen enthalten vor der Geburt eine eiweißarme Flüssigkeit, wenig Schleim und Surfactant, wobei die Flüssigkeit beim Einsetzen der Atmung resorbiert wird. (vgl. Sadler 2014, 296) Die Oberflächenspannung an der Luft-Flüssigkeits-Grenze wird durch das Surfactant reduziert und es verhindert dadurch das Kollabieren der Alveolen bei der Expiration. Beim Frühgeborenen z.B. fehlt das Surfactant oder ist unzureichend ausgebildet. Die primären Alveolen kollabieren und es kommt zum RDS (respiratory distress syndrome). (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 57)

Die Lunge ist das am langsamsten reifende Organ. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 45) Ab der Geburt bis zum zehnten Lebensjahr erfolgt das Wachstum der Lunge im Wesentlichen durch die Erhöhung der Anzahl der Broncheoli respiratorii und der Alveolen. (vgl. Sadler 2014, 297)

Bei Störungen bei der Ausbildung des Septum oesophagotracheale kommt es zur Ösophagusatresie und zur Ausbildung einer tracheoösophagealen Fistel. (vgl. Sadler 2014, 290)

4.3. Verdauungssystem

Der Magen-Darm-Kanal gliedert sich in den Vorder-, Mittel- und Enddarm und erstreckt sich von der Rachenmembran bis zur Kloakenmembran. Aus dem Entoderm stammen das Epithel des Magen-Darm-Trakts und das Parenchym der Verdauungsdrüsen. Aus dem Mesoderm entstehen das Bindegewebe, die Muskelschichten und der Peritonealüberzug. Durch einen RA-Gradienten, der für jede Region die Expression spezifischer Transkriptionsfaktoren induziert, werden die verschiedenen Abschnitte des Darmkanals in z.B. Speiseröhre, Magen und Zwölffingerdarm spezifiziert. Die epitheliomesenchyme Wechselwirkung ist die Interaktion zwischen dem epithelialen Entoderm und dem umgebenden Mesoderm und bewirkt die Differenzierung des Darmkanals und seiner Anhangsorgane. (vgl. Sadler 2014, 300f) Das Septum Transversum ist eine Querfalte im Bereich des ventralen Mesenteriums auf Höhe der oberen Bauchwand und trennt ab dem zweiten Entwicklungsmonat als mesodermale Platte den Raum zwischen sich entwickelnder Perikardhöhle und Peritonealhöhle voneinander. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 63)

Aus dem Vorderdarm entstehen der Ösophagus, die Trachea und die Lungenknospen, der Magen und das proximale Duodenum mit Leber und Pankreas. Im Uhrzeigersinn führt der Magen eine 90° Drehung um seine longitudinale Achse durch. Um seine dorsoventrale Achse folgt eine Kippbewegung. (vgl. Sadler 2014, 303-305)

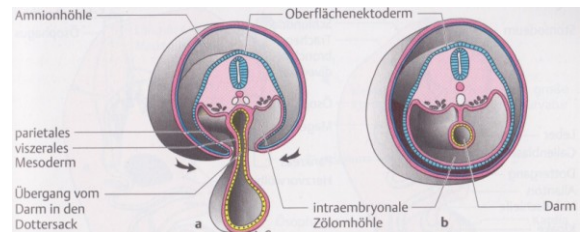


Abb. 49: Entstehung des dorsalen Mesenteriums.
a) das Darmrohr verschließt sich durch die Abschnürung des Dottersackes. b) am Ende der 4. Entwicklungswoche entsteht das dorsale Mesenterium.

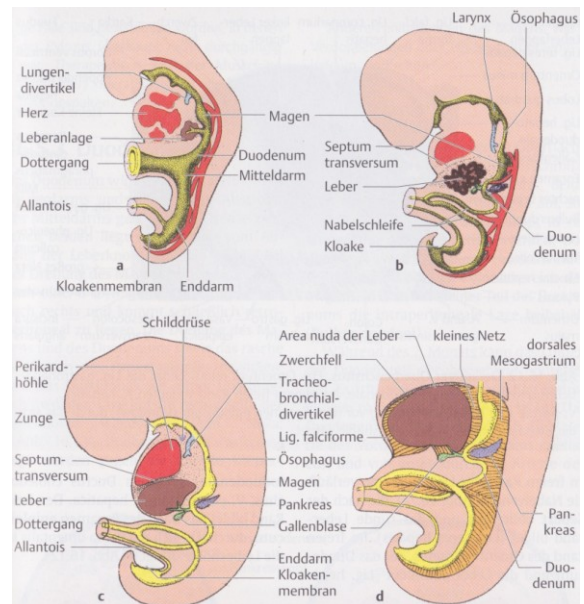


Abb. 50: Entwicklung des Gastrointestinaltrakts.
a) 25. Entwicklungstag (3mm SSL)
b) 32. Entwicklungstag (5mm SSL)
c) 36. Entwicklungstag (9mm SSL)
d) etwas älterer Embryo.

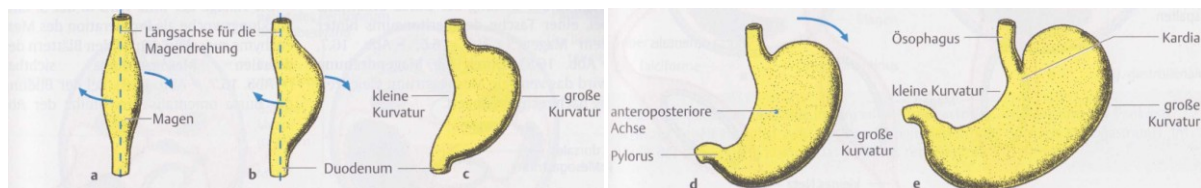


Abb. 51: Magendrehung.
a-c) Drehung des Magens um seine Längsachse von vorne gesehen.
d-e) Drehung des Magens um die anteroposteriore Achse. Lageveränderung von Pylorus und Kardia.

An der vorderen Darmforte sprossen die Leberzellbälkchen in das Septum transversum ein. Gleichzeitig werden sie von den Sinusoiden der Dottervenen durchdrungen. (vgl. Sadler 2014, 312f)

Aus einer dorsalen und einer ventralen Anlage entsteht das Pankreas, wobei erst bei der späteren Verschmelzung beider Anlagen das definitive Pankreas entsteht. Aus dem Ductus choledochus entspringt die ventrale Pankreasknospe und wandert gemeinsam auf die dorsale Seite des Duodenums. Dort vereinigt sich die ventrale Pankreasknospe nun als Processus uncinatus von hinten her mit der dorsalen Pankreasknospe. Bei einer Störung während dieses Prozesses kann es zum Pancreas anulare kommen und zu einer Stenose des Duodenums führen. (vgl. Sadler 2014, 315-317)

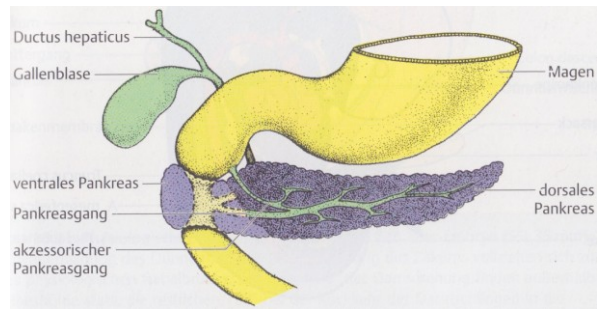


Abb. 52: Pancreas anulare. Das ventrale Pankreas bildet einen Ring um das Duodenum.

Der Mitteldarm geht aus der Nabelschleife hervor und liegt in der sechsten Woche durch den physiologischen Nabelbruch außerhalb der Leibeshöhle in einer Auftreibung der Nabelschnur. Die Darmschlingen gehen in der zehnten Woche zurück in die Leibeshöhle und führen dabei eine 270° Darmdrehung im Uhrzeigersinn aus. Bei Störungen kommt es z.B. zu Dottergangszysten, Stenosen und partiellen Duplikationen des Darmrohrs. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 65f)

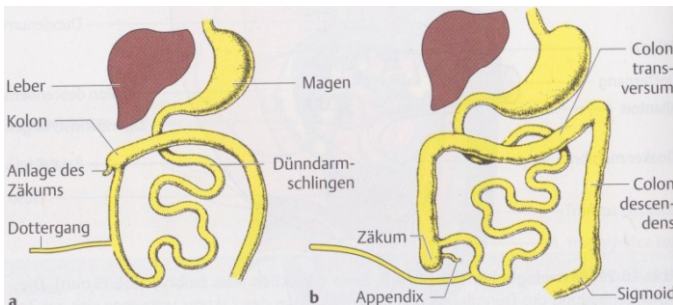


Abb. 53: Darmdrehung und Colonrahmen.
a) bei der 270° Drehung
b) endgültige Lage der Darmschlingen.

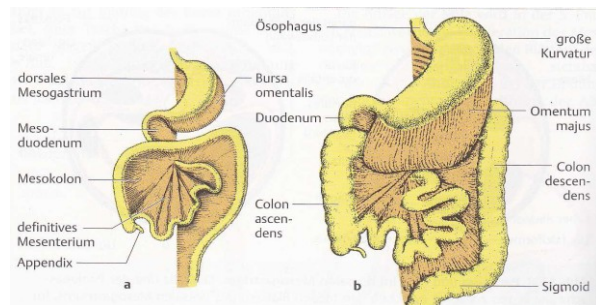


Abb. 54: Derivate des dorsalen Mesenteriums.
a) Ende des 3. Monats b) Omentum majus wächst von der großen Kuvatur des Magens herab.

Der Enddarm umfasst das distale Drittel des Colon transversum, das Colon descendens, das Sigmoid und das Rektum. Durch eine Einstülpung des Ektoderms entsteht der distale Abschnitt des Analkanals. Der Enddarm tritt einerseits in der Allantois in den vorderen Abschnitt, den späteren Sinus urogenitalis ein und andererseits in den hinteren Abschnitt der Kloake, den späteren Anorektalkanal. Die beiden Abschnitte werden durch das Septum urorectale unterteilt. Die Auflösung der Kloakenmembran bewirkt die Öffnung beider Abschnitte nach außen. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 66f)

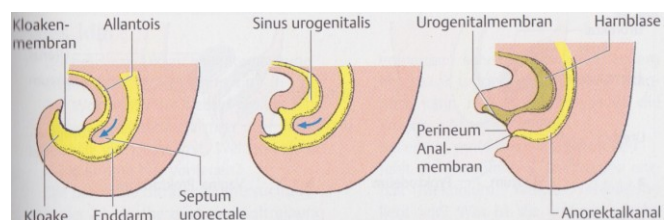


Abb. 55: Entwicklung der Kloake.

Eine Atresie oder eine Rektourethralfistel können durch eine Verlagerung des Analkanals nach ventral entstehen. (vgl. Sadler 2014, 300-327)

4.4. Urogenitalsystem

Das Urogenitalsystem wird in zwei Systeme unterteilt, wobei beide Systeme embryologisch und anatomisch eng miteinander verbunden sind. An der hinteren Wand der Bauchhöhle, im intermediären Mesoderm, entwickeln sich beide Systeme aus einer gemeinsamen mesodermalen Leiste und ihre Ausführungsgänge münden ursprünglich gemeinsam in die Kloake. Das eine System beinhaltet alle Harnorgane. Diese scheiden die Abfallprodukte und das überschüssige Wasser über ein Kanälchensystem in den Nieren aus. Das andere System bezieht sich auf die Genitalorgane und dient der Reifung und Ableitung der Keimzellen. (vgl. Sadler 2014, 330)

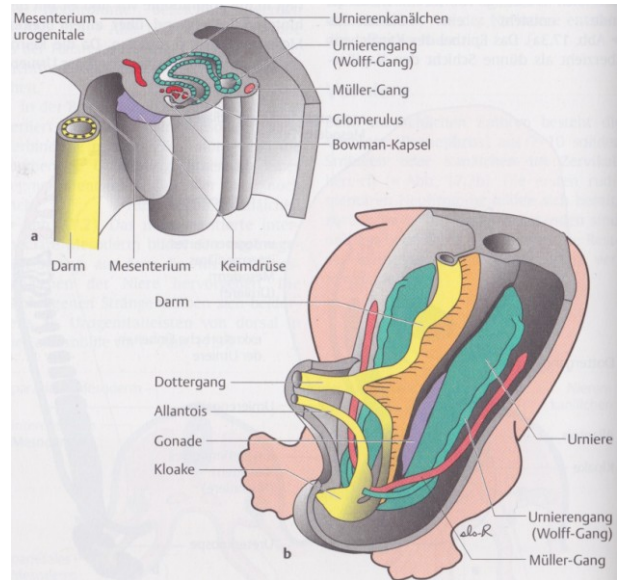


Abb. 56: Urnieren und Keimdrüse in der 5. Entwicklungswoche.
a) Querschnitt durch die untere Thoraxregion.
b) Beziehung zwischen Keimdrüse und Urnieren.

4.4.1. Nierenentwicklung und Harnwege

Aus dem intermediären Mesoderm, zwischen den Somiten und dem intraembryonalen Zölon, entwickeln sich die Harnorgane. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 110) Das intermediäre Mesoderm in der Halsregion verliert am Anfang der vierten Woche seine Verbindung zu den Somiten und bildet segmental angeordnete Gewebeblöcke, die als Nephrotome bezeichnet werden. Weiters verliert es in der Brust-, Lumbal- und Sakralregion seine Verbindung mit der Zölonhöhle und die segmentale Gliederung. (vgl. Sadler 2014, 332)

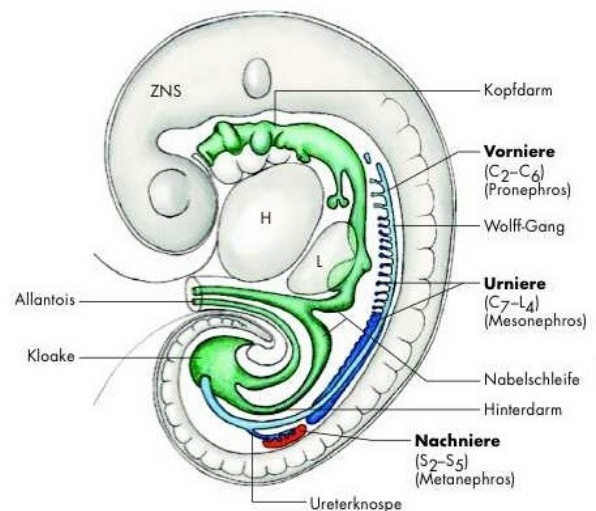


Abb. 57: Vorniere, Urnieren und Nachnieren.

4.4.1.1. Nierensystem

Es werden fortschreitend drei Nierensysteme, die Vorniere bzw. Pronephros, die Urniere bzw. Mesonephros und die Nachniere bzw. Metanephros, im Beckenbereich angelegt, beginnend von

kranial nach kaudal. Der Urnierengang bzw. Wolff-Gang, in den die Nierenkanälchen der Vor- und Urniere direkt einmünden, wächst nach kaudal herab und tritt in den vorderen Blasenabschnitt der Kloake ein. Beim Menschen wird

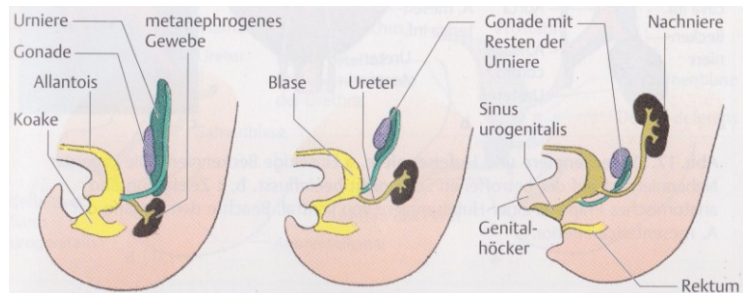


Abb. 58: Aszensus der Niere.

das Vornierensystem nur rudimentär angelegt und geht direkt in die Urniere über. Die Nephronen mit den Glomeruli bilden sich im segmentalen intermediären Mesoderm aus. Als Urogenitalleiste wölbt sich die Urniere zusammen mit der Gonadenanlage in die Leibeshöhle vor. Die Nachniere entsteht

in der fünften Woche als definitive Niere, während sich die Urniere zurückbildet. Das intermediäre Mesoderm schließt sich nach kaudal an den nephrogenen Strang an, der sich aus dem unsegmentierten indermediären Mesoderm bildet und aus dem die Ausscheidungskanälchen der

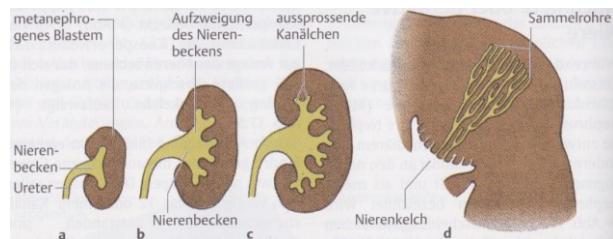


Abb. 59: Entwicklung der Nachniere.

a) 6. Woche b) Ende der 6. Woche c) 7. Woche d) beim Neugeborenen.

Niere hervorgehen. Die Nephronen der Nachniere entwickeln sich aus diesem intermediären Mesoderm. Dieses wird auch als metanephrogenes Blastem bezeichnet. Die harnableitenden Kanälchen entstehen aus der Ureterknospe, die aus dem Wolff-Gang sprosst und in das metanephrogene Blastem vorwächst. Der Ureter, das Nierenbecken und die Sammelrohre im Nierenparenchym entstehen aus der Ureterknospe. Das metanephrogene Blastem bildet über den Endverzweigungen der Ureterknospe Blastemkappen. Jeweils zwei Nierenbläschen gehen aus diesen Blastemkappen hervor. Weiters entwickeln sich diese Nierenbläschen zum Nephron mit Glomeruli. Das Hinaufwandern der Niere bedeutet, dass sich die Nachniere aus dem Beckenbereich in den Lumbalbereich verlagert. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecol 2012, 110-113)

Bleibt dieser Vorgang aus, entsteht eine Beckenniere und bei Verschmelzung des metanephrogenen Blastems beider Seiten entsteht eine Hufeisenniere. Bei Störungen bei der Differenzierung kommt es zu einer Nierenaplasie oder zur Ausbildung einer kongenitalen Zystenniere. (vgl. Sadler 2014, 332-342)

4.4.1.2. Harnblase und Urethra

Aus dem vorderen Abschnitt der Kloake entstehen die Harnblase und die Urethra. Die Ureteren erhalten durch Einbeziehung der unteren Abschnitte, der Wolff-Gänge, in die Blasenwand eine

eigene Einmündung in die Harnblase. Nachdem sich die Ureteren von den Wolff-Gängen abgelöst haben, wandern diese nach kaudal weiter. Bevor sie sich allerdings zurückbilden, münden sie als Samenleiter im Bereich der Prostata in die Urethra ein oder steigen zum Beckenboden ab. In die Blase wird bei einer Verdoppelung der Ureterknospe nur die untere einbezogen. Die obere wird als überzähliger Ureter mit dem Wolff-Gang nach kaudal verlagert. (vgl. Sadler 2014, 343f)

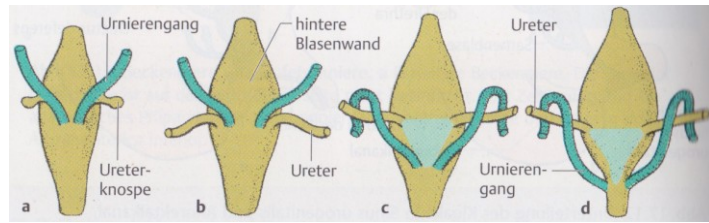


Abb. 60: Lagebeziehung von Ureter und Ductus deferens.

4.4.2. Genitalsystem

Der Embryo besitzt jeweils zwei Genitalgänge auf jeder Seite, den Müller- und den Wolff-Gang. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 70) Das Genitalsystem wird bei seiner Entwicklung von drei Ebenen reguliert. Ein differentes Stadium wird auf jeder Ebene durchlaufen, welches sich dann in die weibliche oder in die männliche Richtung weiter entwickeln kann. Die drei Ebenen bestehen aus dem Bereich der Gonaden, der Genitalgänge und der äußeren Geschlechtsorgane.

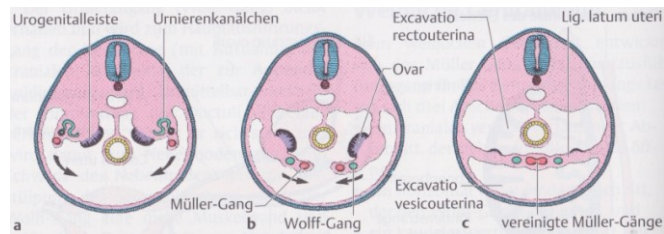


Abb. 61: Vereinigung beider Urogenitalleisten.

Bei der Sexualdifferenzierung sind viele Gene, darunter auch autosomale Gene, beteiligt und diese ist somit ein sehr komplexer

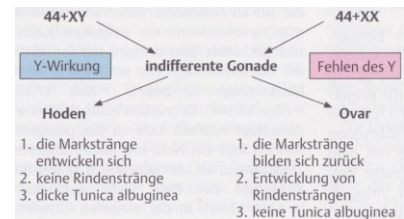


Abb. 62: Geschlechtsdetermination der Gonaden.

Vorgang. Auf dem Y-Chromosom ist das SRY-Gen (sex determining region of Y) lokalisiert und stellt den Schlüssel für den Sexualdimorphismus dar. Ein Transkriptionsfaktor wird vom SRY kodiert. Dieser leitet durch die Aktivierung einer Kaskade von weiteren Genen die Differenzierung der Gonaden ein. Die männliche Entwicklung wird durch die Aktivierung des SRY-Faktors eingeleitet. Ist dieser jedoch nicht vorhanden, beginnt die weibliche Entwicklung. Bei der

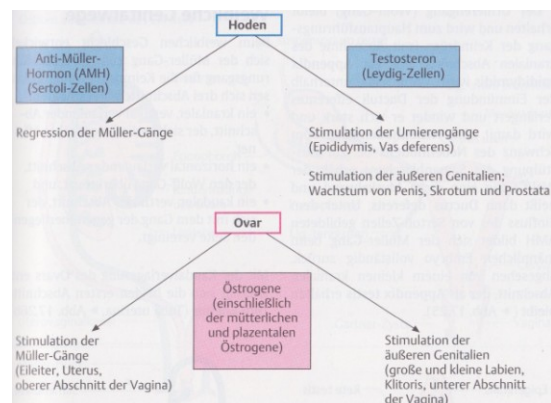


Abb. 63: Einfluss der Gonaden auf die weitere Geschlechtsdifferenzierung.

Befruchtung wird das genetische Geschlecht des Embryos festgelegt. Die Gonaden werden als Genitalleiste angelegt und erst in der siebenten Entwicklungswoche entwickeln sie die für das weibliche oder männliche Geschlecht charakteristischen morphologischen Merkmale. Bis zu diesem Zeitpunkt werden sie als sogenannte indifferente Gonadenanlagen bezeichnet. In der dritten Woche befinden sich die Urkeimzellen, die aus dem Epiblast entstehen, im Entoderm des

Dottersacks nahe der Allantois. Mit Beginn der fünften Woche erreichen sie die primitiven Gonaden und mit der sechsten Woche wandern sie in die Genitalleiste ein. Bei einer Störung der Wanderung der Urkeimzellen und wenn diese nicht die Genitalleiste erreichen, werden keine Gonaden gebildet. In diesem Fall bleibt die Gonadenanlage indifferent und bildet sich zurück. (vgl. Sadler 2014, 346f)

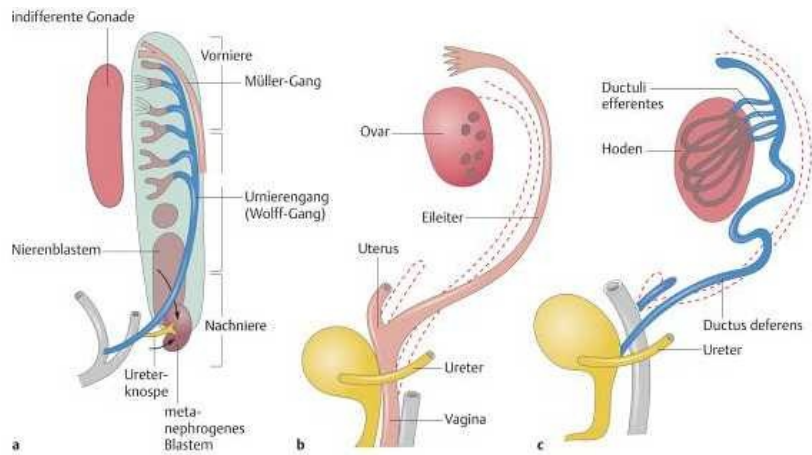


Abb. 64: Umwandlung der Ur- und Vorniere zu den Genitalgängen.
a) Nierensystem im indifferenten Stadium
b) weibliche Entwicklung c) männliche Entwicklung.

Unter dem Einfluss von Hormonen entwickeln sich die indifferenten Genitalgänge und die äußeren Genitalien. Beim männlichen sowie beim weiblichen Embryo sind zu Beginn zwei Genitalgänge auf jeder Seite vorhanden, der Urnierengang bzw. Wolff-Gang, der von der Urniere zur Kloake führt und der Müller-Gang bzw. Nebenunierengang, der parallel zum Urnierengang verläuft und ebenso in die Kloake einmündet. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 70)

Die äußeren Genitalien entwickeln sich aus den Kloakenfalten, welche in der dritten Woche durch Verdichtung des Primitivstreifens entstehen. Die beiden Falten vereinigen sich vor der Kloakenmembran und es entsteht der Genitalhöcker. Die Kloakenmembran wird in der sechsten Woche in die Urogenital- und die Analmembran unterteilt.

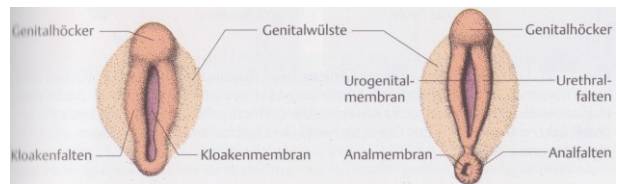


Abb. 65: Indifferentes Stadium der äußeren Genitalien.
a) 4. Woche b) 6. Woche .

Weiters unterteilen sich die Kloakenfalten in die Urethralfalten, den vorderen Bereich und in die Analfalten, den hinteren Bereich. Währenddessen werden beiderseits von den Urethralfalten die Genitalwülste sichtbar. Diese Wülste werden später zu den Skrotalwülsten beim männlichen Embryo und zu den Labia major beim weiblichen, wobei in der sechsten Woche die beiden äußeren Genitale gleich ausschauen. (vgl. Sadler 2014, 359f)

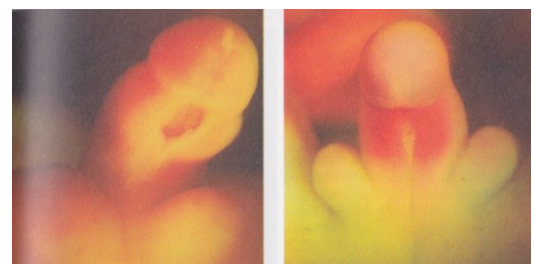


Abb. 66: In-utero-Aufnahme der äußeren Genitalien.
Links: beim männlichen Fetus in der 12. Woche.

Die Urethralfalten verschmelzen und die Skrotalwülste vergrößern sich, um in der Mittellinie zu fusionieren.

Rechts: beim weiblichen Fetus in der 11. Woche.

Die Urethralfalten aus denen die kleinen Schamlippen entstehen, sind nicht fusioniert und die Genitalwülste, aus denen die großen Schamlippen werden, weisen einen großen Abstand voneinander auf.

4.4.2.1. Männlicher Embryo

Der hodendeterminierende Faktor ist das SRY-Gen, das sich auf dem Y-Chromosom befindet und die männliche Entwicklung induziert. Die Entwicklung von Hodensträngen bzw. Marksträngen, die Bildung der Tunica albuginea und die Hemmung der Bildung von Rindensträngen bzw. Ovarsträngen werden von der Expression von SRY bewirkt. Die Hodenstränge werden erst in der Pubertät zu Samenkanälchen. Die Urnierkanälchen müssen in die Gonadenanlage einwachsen, denn ohne das Eindringen wird die Hodenentwicklung abgebrochen. Von den Leydig-

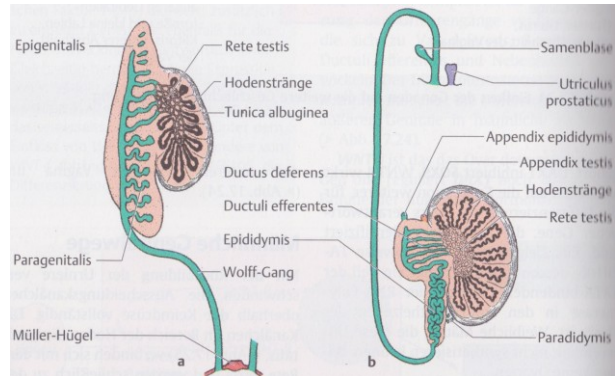


Abb. 67: Genitalwege beim männlichen Embryo.

Zellen der Hoden wird ab der achten Woche das Testosteron gebildet. Über dieses Testosteron induziert der Hoden nun die geschlechtsspezifische Differenzierung der Genitalgänge und der äußeren Geschlechtsorgane. (vgl. Sadler 2014, 347f) Die Entwicklung der Urnierengänge, welche den Ductus deferens, den Samenleiter und die Epididymis beinhalten, wird vom Testosteron stimuliert. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 71) Die Vasa deferens, die Samenblasen, die Ductuli efferentes und die Nebenhoden entwickeln sich aus den Urnierengängen. Die Sertoli-Zellen der Hoden bilden das Anti-Müller-Hormon, welches die Rückbildung der Müller-Gänge, das weibliche Gangsystem, bewirkt. (vgl. Sadler 2014, 353f) Die physiologische Verlagerung des Hodens aus der Bauchhöhle beginnt mit dem siebenten und endet mit dem neunten Entwicklungsmonat. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 70)

Die Entwicklung von Penis, Skrotum und Prostata werden vom Dihydrotestosteron stimuliert. Der Penis entwickelt sich aus der Verlängerung des Genitalhöckers. Währenddessen zieht der Genitalhöcker die Urethralfalten ganz nach vorn und die seitlichen Wände der tiefen Urethralgrube bilden sich. Die Urethralfalten schließen sich am Ende des dritten Monats über der Urethralplatte und bilden die Urethra des Penis. Die Genitalwülste bzw. Skrotalwülste liegen beim männlichen Embryo zunächst in der Leistenregion und wandern nach kaudal. Dabei wird jeder Wulst zu einer Skrotumhälfte. Die beiden Hälften sind durch das Skrotumseptum voneinander getrennt.

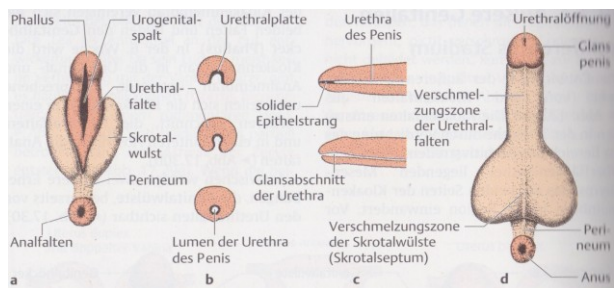


Abb. 68: Entwicklung des äußeren Genitale beim männlichen Fetus.
a) 10. Woche; Zwischen den Urethralfalten liegt die tiefe Urethralplatte.
b) Querschnitt durch den Phallus bei der Bildung der Urethra des Penis.
c) Entwicklung des Glansabschnitts der Urethra. d) Verhältnisse beim Neugeborenen.

(vgl. Sadler 2014, 360f)

4.4.2.2. Weiblicher Embryo

Die Bildung von Ovarien mit typischen Rindensträngen, die Rückbildung der Markstränge bzw. Hodenstränge und das Ausbleiben der Entwicklung einer Tunica albuginea werden vom WNT4, dem Mastergen bei der Ovarientwicklung, zusammen mit anderen stromabwärts kodierten Genprodukten, bewirkt. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 72) Die zweite Generation von Rindensträngen, die ebenfalls in das Mesenchym eindringen, entsteht in der siebenten Woche. Im dritten Monat teilen sich die Rindenstränge erneut in einzelne Zellgruppen. Die Oogonien werden durch das Proliferieren der Zellen mit einer Lage Epithelzellen, den Follikelzellen, umgeben. Die Primordialfollikel setzen sich aus den Oogonien und den Follikelzellen zusammen. (vgl. Sadler 2014, 349f) Die Entwicklung der Müller-Gänge wird von den Östrogenen beeinflusst. Aus ihnen entstehen die Eileiter, der Uterus, die Zervix und der obere Abschnitt der Vagina. (vgl. Sadler 2014, 355f) Der untere Abschnitt der Vagina entsteht aus dem Sinus urogenitalis.

Östrogene stimulieren die Entwicklung der äußeren Genitale. Die Klitoris entsteht aus dem Genitalhöcker, der sich nur gering verlängert. Die Urethralfalten verschmelzen nicht miteinander sondern entwickeln sich zu den Labia minora, den kleinen Labien und die Genitalwülste vergrößern sich erheblich und werden zu den Labia majora, den großen Labien. Das Vestibulum entsteht aus der offen bleibenden Urogenitalspalte. (vgl. Voß/ Bommas-Ebert 2011, 73)

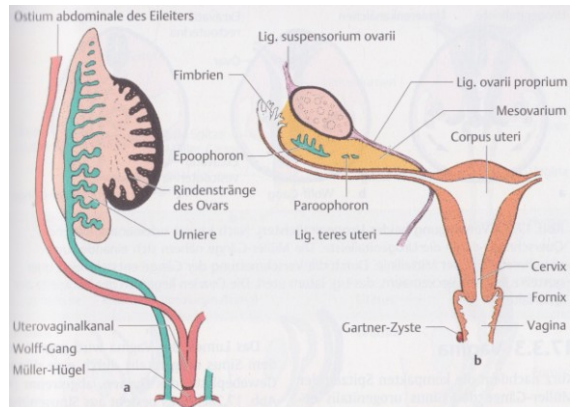


Abb. 69: Genitalwege beim weiblichen Embryo. a) Ende des 2. Monats. Beachte den Müller-Hügel und die Bildung des Uterovaginalkanals. b) Die Genitalwege im Anschluss an den Deszendenz des Ovars. Vom Urnierensystem sind nur das Epoophoron, das Paroophoron und die Gartner-Zyste zurückgeblieben.

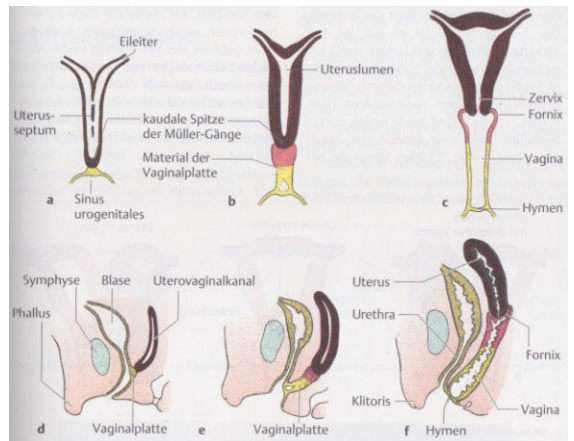


Abb. 70: Entwicklung von Uterus und Vagina. a und d) mit 9 Wochen. Das Uterusseptum bildet sich zurück. b und e) am Ende des 3. Monats. c und f) beim reifen Neugeborenen. Vagina und Schweißengewölbe sind durch Aushöhlung der Vaginalplatte entstanden.

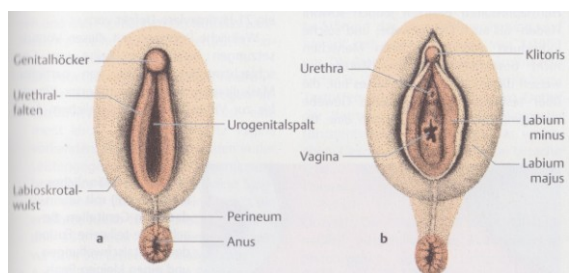


Abb. 71: Entwicklung des äußeren Genitale beim weiblichen Fetus. a) im 5. Monat b) beim reifen Neugeborenen.

4.5. Zentralnervensystem

Das Zentralnervensystem entsteht zu Beginn der dritten Woche und wird als längliche, pantoffelförmige Platte aus verdicktem Ektoderm angelegt. Es bildet sich die Neuralplatte, die sich auffaltet und zum Neuralrohr schließt. Um den 25. Tag verschließt sich die kraniale Öffnung des Neuralrohrs und um den 28. Tag die kaudale Öffnung. Das Gehirn entsteht aus dem kranialen und das Rückenmark aus dem kaudalen Abschnitt des Neuralrohrs. (vgl. Sadler 2014, 406)

Zur Spina bifida kommt es bei einer Störung beim Verschluss im Lumbosakralbereich und zum Anenzephalus bei einer Störung im Bereich der Hirnbläschen. (vgl. Sadler 2014, 417f)

4.5.1. Rückenmark

Das Rückenmark entsteht aus dem Neuralrohr und wird nach oben von der Deckelplatte und nach unten von der Bodenplatte abgeschlossen. Die Flügelplatte mit den sensiblen Kernarealen entwickelt sich oben und die Grundplatte mit den motorischen Kernarealen entwickelt sich unten in der Seitenwand des Neuralrohrs. In der Grundplatte, innerhalb des Rückenmarks, liegen die Perikaryen der Motoneuronen dieser Nerven. Die Spinalnerven bilden sich aus jedem Segment des Rückenmarks. Die motorischen Nervenfasern erscheinen bereits in der vierten Woche. In den Spinalganglien außerhalb des Rückenmarks liegen die Perikaryen der sensiblen Zellen und diese entstehen aus Zellen der Neuralleiste. (vgl. Sadler 2014, 407-410)

4.5.2. Gehirn

Das Gehirn unterteilt sich in den Hirnstamm und die höheren Zentren. Der Hirnstamm ist die Fortsetzung des Rückenmarks. Die Flügelplatten sind in den höheren Zentren stärker ausgebildet. Zu diesen zählen das Kleinhirn und die Großhirnhemisphären.

Das Gehirn weist nach dem Neuralrohrschluss im kranialen Bereich frühzeitig drei deutliche Erweiterungen auf, die primären Hirnbläschen:

- Vorderhirn oder Prosenzephalon
- Mittelhirn oder Mesenzephalon
- Rautenhirn oder Rhombenzephalon

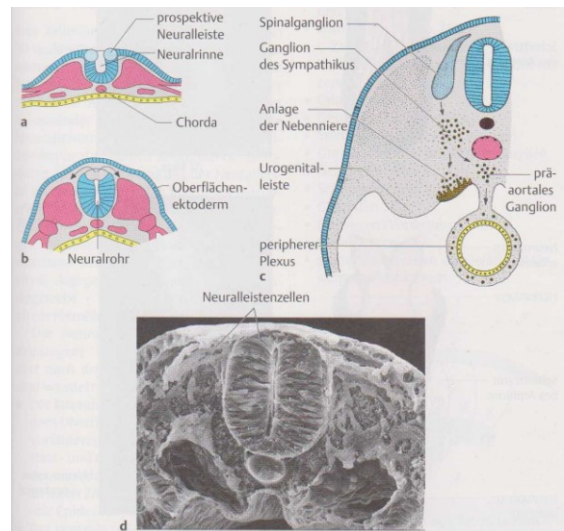


Abb. 72: Bildung des Neuralrohrs.

- a und b) An der Oberkante der Neuralfalte bilden sich Neuralleistenzellen, die dort verharren, bis sich die Neuralrinne zum Neuralrohr geschlossen hat.
 c) Anschließend beginnen die Zellen der Neuralleiste zu wandern und entwickeln sich zu den Spinalganglien, den Ganglien des sympathischen und parasymphatischen Nervensystems und anderen Geweben. (z.B.: das Nebennierenmark)
 d) REM-Aufnahme: Neuralleistenzellen wandern nach dem Verschluss des Neuralrohrs dorsal aus der Neuralleiste aus.

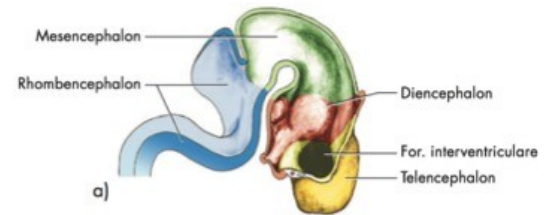
Das Neuralrohr faltet sich zum gleichen Zeitpunkt der Hirnbläschenbildung nach ventral ein und es entstehen zwei Krümmungen. Die eine Krümmung befindet sich an der Grenze zwischen dem Rautenhirn und dem Rückenmark und wird als Nackenbeuge bezeichnet. Die zweite Krümmung entsteht im Bereich des Mittelhirns als Scheitelbeuge. (vgl. Sadler 2014, 419-434)

Das Vorderhirn unterteilt sich in einen vorderen Abschnitt, das Endhirn oder Telencephalon und in einen hinteren Abschnitt, das Zwischenhirn oder Diencephalon. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 146)

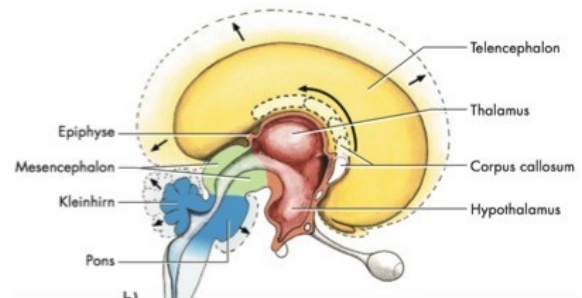
Der Thalamus und Hypothalamus entstehen aus dem Zwischenhirn, das eine dünne Deckplatte und eine dicke Flügelplatte umfasst. Unter dem Hypothalamus entwickelt sich die Hypophyse. Aus der Rathke-Tasche, einer Ausbuchtung der ektodermalen Mundbucht, dem Stomodeum, entsteht der Hypophysenvorderlappen oder die Adenohypophyse und aus einer Ausstülpung am Boden des Zwischenhirns entsteht der Hypophysenhinterlappen oder die Neurohypophyse. Nervenfasern aus dem Hypothalamus enden in der Neuroglia, der Neurohypophyse. (vgl. Sadler 2014, 427-429)

Durch die Ausstülpung der Großhirnbläschen aus dem Vorderhirn entsteht das Endhirn. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 146) Der Ausgangspunkt für die Kommissuren zwischen den beiden Hemisphären ist die Lamina terminalis, die vom Endhirn mit eingeschlossen wird. Die Basalganglien entstehen am Boden der Großhirnbläschen, die sich nach hinten über den Hirnstamm ausbreiten. Die Basalganglien verschmelzen sekundär mit den Kernen in der Wand des Zwischenhirns.

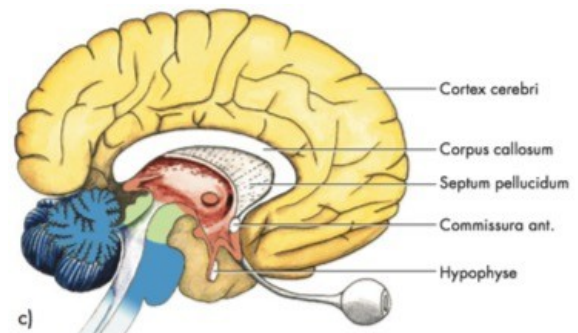
Das Ventrikelsystem geht aus den embryonalen Hirnbläschen hervor. Der Liquor wird vom Plexus choroideus der Seitenventrikel, dem dritten Ventrikel und dem vierten Ventrikel gebildet. Durch die Foramina Luschka und Magendie tritt der Liquor in den Subarachnoidalraum.



a) 37. Tag.



b) 44. Tag.



c) Erwachsenen Gehirn.

Abb. 73: Drei Stadien der Entwicklung des Zentralen Nervensystems im Kopfbereich. Ansicht von medial. Man beachte die Vergrößerung des Balkens nach hinten (gestrichelte Linien). Gebogenes Pfeil sowie das Wachstum des Endhirns (gelb) über Zwischenhirn (rot) und Mittelhirn (grün) hinweg bis zum Temporallappen (Pfeile). Blau = Rautenhirn, später Kleinhirn, Pons und Medulla oblongata.

In der Grundplatte sind die motorischen Kerne für die Augenmuskeln enthalten. Die Vierhügelplatte entsteht aus der Flügelplatte. Als Schaltstation für optische Reize sind die vorderen Hügel zuständig und als Schaltstation für Gehör- und Gleichgewichtsreize die hinteren Hügel.

Das Dach besteht aus einer dünn ausgezogenen Deckplatte des vierten Ventrikels und das Neuralrohr ist im Rautenhirn aufgeklappt. Dadurch unterscheiden sich am Boden des vierten Ventrikels eine Grundplatte mit motorischen Kernarealen und eine Flügelplatte mit sensorischen Kernarealen, die durch einen Sulcus limitans voneinander getrennt sind. Die Pharyngealbogenerven entspringen in den motorischen und sensiblen Kernarealen des Rautenhirns. (vgl. Sadler 2014, 419-434)

Das Markhirn (Myelenzephalon) und das Nachhirn (Metenzephalon) ergeben sich bei der Unterteilung des Rautenhirns. Das Kleinhirn (Zerebellum) geht dorsal aus dem Nachhirn hervor und ist das Koordinationszentrum für Haltung und Bewegung. Die Brücke oder Pons bildet sich ventral als Übergangszone von Leitungsbahnen zwischen Rückenmark, Großhirnhemisphären und Kleinhirn. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecol 2012, 145f)

Die meisten der zwölf Hirnnerven stammen aus dem Nachhirn. Jedes Nervenpaar besitzt Motorneuronen, die sich innerhalb des Gehirns befinden. Die sensiblen Neuronen haben ihren Ursprung allerdings außerhalb des Gehirns, in den ektodermalen Plakoden und in der Neuralleiste. Der Aufbau der Hirnnerven und der Spinalnerven ähnelt sich in dieser Hinsicht. (vgl. Sadler 2014, 441f)

| Typ | Art der Innervation | Innervierte Struktur | Hirnnerven | Ursprungsort |
|--|---|---|--------------------------------|---------------------------------|
| allgemein somatomotorisch | somatische Skelettmuskulatur | äußere Augenmuskulatur, Zunge | III, IV ^a , VI, XII | Metenzephalon Myelenzephalon |
| speziell branchialmotorisch ^b | quer gestreifte Muskeln des Pharynx (≠ Tab. 18.1) | Muskulatur der Schlundbögen | V, VII, IX, X | Metenzephalon Myelenzephalon |
| allgemein viszeromotorisch (Parasympathikus) | parasympathische Innervation des Auges glatte Muskulatur | M. sphincter pupillae Atemwege, Eingeweide, Herz, Speicheldrüsen | III IX, X | Mesenzephalon Myelenzephalon |
| allgemein viszerosensibel (Parasympathikus) | Eingeweide | interozeptiv aus dem GI-Trakt | X | Myelenzephalon |
| Branchialsensibel | Geschmack | Geschmacksknospen von Zunge, Gaumen und Epiglottis | VII, IX | Metenzephalon, Myelenzephalon |
| | Gehör und Gleichgewicht | Kochlea und Bogengänge | VIII | Metenzephalon |
| allgemein somatosensibel | allgemeine Sensibilität von Kopf und Hals | Berührung, Temperatur, Schmerz im Kopf-Hals-Bereich; Schleimhaut in Mundhöhle und Pharynx | V, VII, IX | Metenzephalon, Myelenzephalon |

Abb. 74: Organisation der Neuronen aus Flügelplatte und Grundplatte im Hirnstamm.

4.5.3. Autonomes Nervensystem

Das autonome Nervensystem unterteilt sich in das sympathische und in das parasympathische Nervensystem. Es handelt sich dabei um ein jeweils aus zwei aufeinanderfolgenden Neuronen aufgebautes System mit prä- und postganglionären Fasern. Im Seitenhorn des Rückenmarks auf der Höhe zwischen Th1 und L2-L3 liegen die präganglionären Neuronen des sympathischen Systems. Im Sympathikus-Grenz-

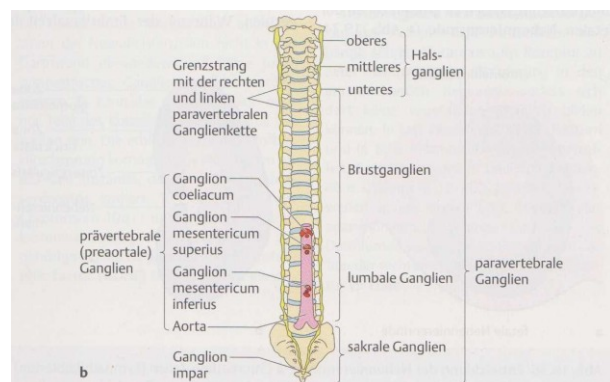


Abb. 75: Prä- und postganglionäre Nervenfasern des Sympathikus und die Ganglien des Grenzstrangs. Lage der sympathischen Ganglien des Grenzstrangs in Beziehung zur Wirbelsäule. Die prävertebralen Ganglien liegen auf der Ventralseite der Aorta in der Nähe der großen Gefäßabgänge. Sie sind Teil eines vegetativen Nervengeflechts in dieser Region.

strang und in den kollateralen, präaortischen Ganglien entlang der Aorta liegen die zugehörigen postganglionären Neuronen. Die parasympathischen präganglionären Neuronen haben ihre Zellkörper oder Perikaryen im Hirnstamm. Sie sind mit den Hirnnerven III, VII, IX und X assoziiert. Außerdem liegen sie im Sakralbereich des Rückenmarks, im Bereich S2-S4. In der Nähe des von ihnen innervierten Organs liegen meist die postganglionären Perikaryen, die sich in Ganglien befinden. Alle Ganglien des autonomen Nervensystems werden von der Neuralleiste gebildet. (vgl. Sadler 2014, 445-449)

4.6. Schlundentwicklung

Die Schlund- oder Brachialbögen treten ab der vierten Entwicklungswoche auf und beeinflussen das charakteristische äußere Aussehen des Embryos. Bei der Entwicklung von Kopf und Hals spielen die Schlundbögen eine entscheidende Rolle. Die Bögen bestehen ursprünglich aus Blöcken von mesenchymalen Geweben und werden von tiefen sogenannten Schlundfurchen voneinander getrennt. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52) Gleichzeitig entstehen durch Aussackungen in der Wand des Schlunddarms, dem kranialen Abschnitt des Vorderdarms, die Schlundtaschen, die in das Mesenchym eindringen. Zwischen den Schlundtaschen und den außen gelegenen Schlundfurchen kommt es zu keiner offenen Verbindung. (vgl. Sadler 2014, 372)

4.6.1. Schlundbögen

Jeder Schlundbogen besteht aus einem Kern aus mesenchymalem Gewebe. Von außen wird dieser durch Oberflächenektoderm und von innen durch entodermales Epithel bedeckt. (vgl. Sadler 2014, 373) Jeder Bogen besitzt eine Arterie, einen Hirnnerven, eine Knorpelspange und die dazugehörigen Muskeln. Es werden sechs Schlundbögen angelegt, wobei der fünfte und der sechste Schlundbogen meist nur rudimentär vorhanden sind. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 52)

Der erste Schlundbogen entwickelt sich zum Unter- und Ober-

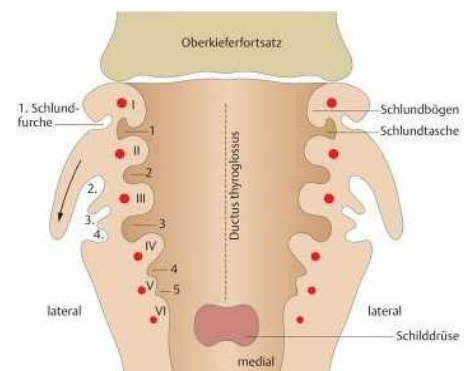


Abb. 76: Kopf-Hals-Region des Embryos (5. Woche). Entwicklung von Schlundbögen, Schlundfurchen und Schlundtaschen.

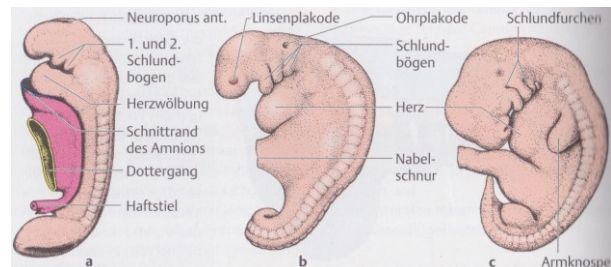


Abb. 77: Entwicklung der Schlundbögen. a) 25. Tag b) 28. Tag c) mit 5 Wochen.

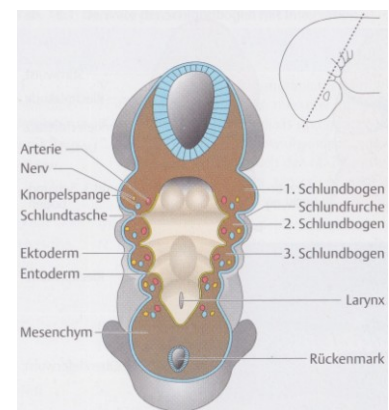


Abb. 78: Schnitt durch die Schlundbogenregion.

kieferwulst. Er wird auch als Mandibulabogen bezeichnet, da sich durch desmale Ossifikation des Meckel-Knorpels, der aus der Anlage des Unterkiefers hervorgeht, die Mandibula entwickelt. Bei der desmalen Ossifikation des Mesenchyms des Oberkieferwulstes entstehen Zwischenkiefer, Oberkiefer, Jochbein und ein Teil des Schläfenbeins. (vgl. Sadler 2014, 374) Der erste Schlundbogen ist auch bei der Entwicklung des Knochens im Mittelohr beteiligt. Die Kaumusculatur und die sensible Versorgung durch die Äste des N. trigeminus des gesamten Gesichts stammen von diesem Bogen ab und geben Hinweise darauf, dass sich sein Mesenchym in der Dermis des gesamten

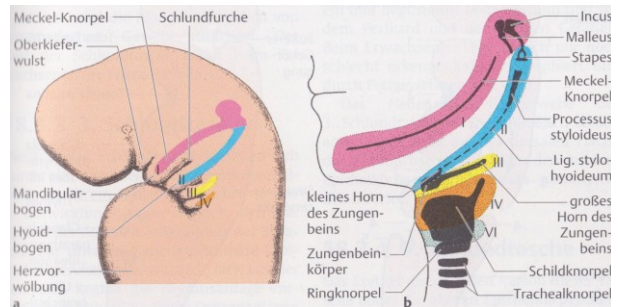


Abb. 79: Aus den Schlundbögen abgeleitete Skelettelemente.
a) Seitenansicht der Kopf- und Halsregion (mit 4 Wochen)
b) Die definitive Gebilde, die aus den knorpeligen Anteilen der einzelnen Schlundbögen entstehen.

Gesichts ausgebreitet hat. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 53) Das Stomodeum, die embryonale Mundbucht, liegt am Ende der vierten Woche im Zentrum der Gesichtsregion und ist beidseitig vom ersten Schlundbogen umrahmt. (vgl. Sadler 2014, 372)

Der zweite Schlundbogen wird auch Hyoidbogen genannt und beinhaltet den Reichert-Knorpel, den kranialen Abschnitt des Zungenbeins, die mimische Gesichtsmuskulatur sowie den N. facialis.

Der dritte Schlundbogen bildet den kaudalen Abschnitt und das große Horn des Zungenbeins. Aus dem vierten und sechsten Schlundbogen entstehen nach der Verschmelzung der knorpeligen Anteile der Schild-, Ring- und Aryknorpel des Kehlkopfes. (vgl. Sadler 2014, 377)

4.6.2. Schlundtaschen

Es gibt auf jeder Seite vier Schlundtaschen und eine fünfte die rudimentär ist. Bei der Entstehung einiger wichtiger Organe ist die epitheliale entodermale Auskleidung der Taschen von großer Bedeutung.

Aus der ersten Schlundtasche entstehen die Tuba auditiva sowie das Mittelohr und aus der zweiten Tasche die Tonsilla palatina. Die dritte Tasche beinhaltet den Thymus sowie die unteren Glandulae parathyroideae. Die oberen Glandulae parathyroideae sowie der Ultimobranchialkörper gehen aus der vierten Tasche hervor. (vgl. Sadler 2014, 378f)

4.6.3. Schlundfurchen

In der fünften Woche sind vier Schlundfurchen vorhanden, wobei nur die erste zur definitiven Organanlage des Embryos beiträgt. Die erste Furche bildet den äußeren Gehörgang. Die zweite, dritte und vierte Schlundfurchen werden bei der Verschmelzung des zweiten Schlundbogens mit dem Herzwulst überdeckt und bilden zuerst eine Höhle, den Sinus cervicalis, bis sie in der weiteren Entwicklung vollkommen verschwinden. (vgl. Sadler 2014, 380f)

4.6.4. Gesichtsentwicklung

Von den paarigen Oberkiefer- und Unterkieferwülsten und dem unpaarigen Stirnwulst wird die Gestalt der Gesichtsregion zunächst bestimmt. Später entstehen der mediale und der laterale Nasenwulst am unteren Rand des Stirnwulstes. Sie fassen die Riechplakoden ein. Fusion und spezifisches Wachstum führen zur Ausbildung von Unterkiefer, Oberlippe, Gaumen und Nase aus den Gesichtswülsten. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecolll 2012, 135-138)

Die Oberlippe bildet sich durch Fusion beider Oberkieferwülste mit den medialen Nasenwülsten. Durch Verschmelzung der beiden medialen Nasenwülste in der Mittellinie entsteht das Zwischenkiefersegment. Das Philtrum, eine Oberkieferkomponente, in der vier Schneidezähne sitzen und eine Gaumenkomponente, aus der der dreieckige primäre Gaumen hervorgeht, bilden das Zwischenkiefersegment. (vgl. Sadler 2014, 391)

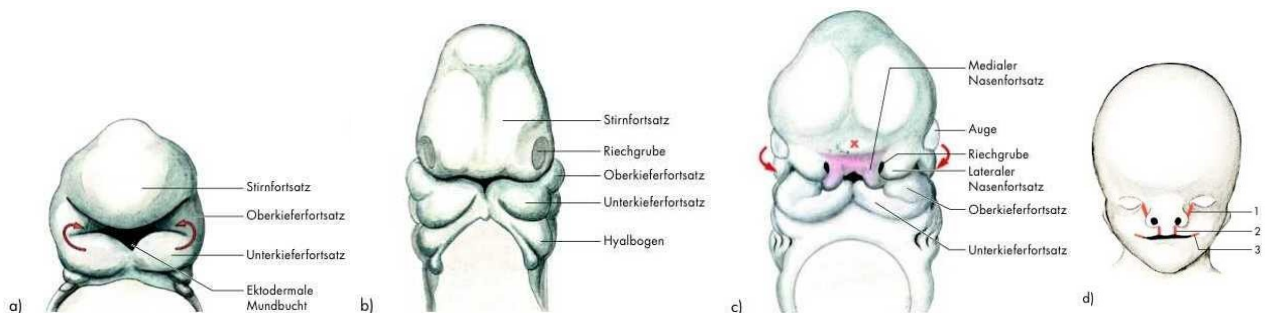


Abb. 80: Drei aufeinander folgende Stadien der Gesichtsentwicklung.
 a) 20. Tag. Anfangs wird die ektodermale Mundbucht nur von den beiden Unterkieferfortsätzen und dem Stirnfortsatz – umbiegend von hinten – gegen die Mundbucht vor (rote Pfeile).
 b) 32. Tag. Durch die Entwicklung der Riechgruben wird der Stirnfortsatz in einen medialen und zwei lateralen Nasenfortsätze unterteilt.
 c) 37. Tag. Die Riechgrube verkleinert sich und verschiebt sich nach medial, so dass der mediale Nasenfortsatz mit dem Oberkieferfortsatz verwächst. Zusammen mit dem Vorwachsen der äußeren Nase (spätere Nasenspitze markiert durch x) verschieben sich auch die beiden Augenanlagen nach medial (rote Pfeile) Proc. Globularis = Violett.
 d) 56. Tag. Die Gesichtsbildung ist weitgehend abgeschlossen. Die Lokalisation möglicher Spaltbildungen zwischen den Gesichtsfortsätzen ist rot markiert. 1= Schräge Gesichtsspalte, 2= Lippenspalte, 3= Mundspalte.

4.6.4.1. Nase

Die Nase entsteht aus dem Stirnwulst, aus dem sich die Nasenwurzel entwickelt und aus den lateralen Nasenwülsten, aus denen sich die Nasenflügel bilden. Zur Bildung des Nasenrückens und der Nasenspitze tragen die medialen Nasenwülste bei. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecolll 2012, 135-138)

4.6.4.2. Gaumen

„Der primäre Gaumen ist ein Teil des Zwischenkiefersegments.“ (Sadler 2014, 393) Die Gaumenplatten, die von zwei sinusähnlichen Fortsätzen der Oberkieferwülste gebildet werden und sich in der Mittellinie miteinander vereinigen, bilden den Hauptteil des definitiven knöchernen bzw. sekundären Gaumens. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecolll 2012, 135-138)

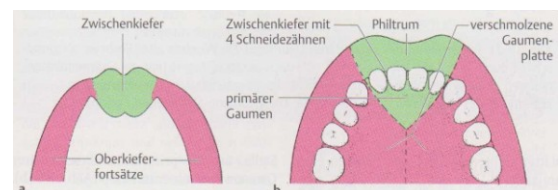


Abb. 81: Bildung des primären Gaumens.
 a) Das Zwischenkiefersegment geht aus den beiden medialen Nasenwülsten hervor.
 b) aus dem Zwischenkiefersegment entstehen das Philtrum der Oberlippe, ein Teil des Oberkiefers mit vier Schneidezähnen sowie der dreieckige primäre Gaumen.

4.6.4.3. Zähne

In der sechsten Woche wird die Zahnleiste angelegt. Dort entwickeln sich die Milchzähne, bis sie zwischen dem 6. und 24. Lebensmonat durch Längenwachstum durch das darüber liegende Zahnfleisch brechen. Die bleibenden Zähne werden im dritten Schwangerschaftsmonat bereits angelegt. Die Zähne entstehen durch die Epithel-Mesenchym-Interaktionen. Diese Interaktionen finden zwischen dem Epithel der Mundhöhle und dem von der Neuralleiste abstammenden Mesenchym statt. (vgl. Sadler 2014, 400-402) Das Äußere der Zähne stammt aus dem Ektoderm, das Innere aus dem Mesoderm. Die Grenzstellen der Zahnschmelz, aus dem Ektoderm, und das Dentin, aus dem Mesenchym, dar. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 56)

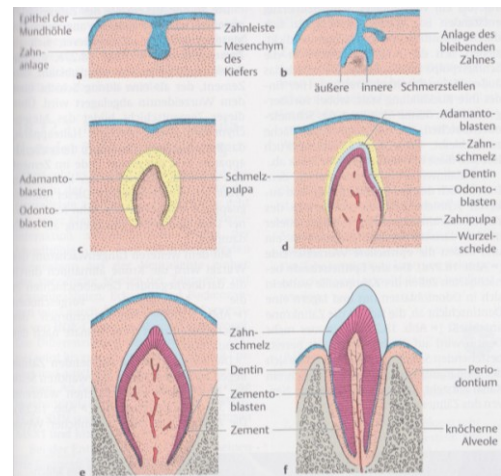


Abb. 82: Zahnentwicklung.
 a) 8. Woche b) 10. Woche c) 3. Monat d) 6. Monat
 e) beim reifen Neugeborenen f) nach dem Zahndurchbruch.

4.6.4.4. Schilddrüse

Zu Beginn erscheint die Schilddrüse als Epithelknospe am Boden des Schlunddarms. Die Schilddrüsenanlage wandert während ihrer Entwicklung nach kaudal, am Zungenbein sowie bei den Kehlkopfknorpeln vorbei, bis sie in der siebenten Woche ihre endgültige Lage vor der Trachea erreicht hat. Mit Ende des dritten Monats nimmt sie ihre Funktion auf. (vgl. Sadler 2014, 389)

4.6.4.5. Zunge

Die Zungenanlage besteht in der vierten Woche aus drei Wülsten, zwei lateralen Zungenwülsten und einem medialen Höckerchen. Die vorderen zwei Drittel der entwickelten Zunge und ihre Schleimhaut bilden sich aus dem ersten Schlundbogen. Das hintere Drittel, die Zungenwurzel, entwickelt sich aus dem zweiten, dritten und vierten Schlundbogen. (vgl. Rohen/Lütjen-Drecoll 2012, 135-138)

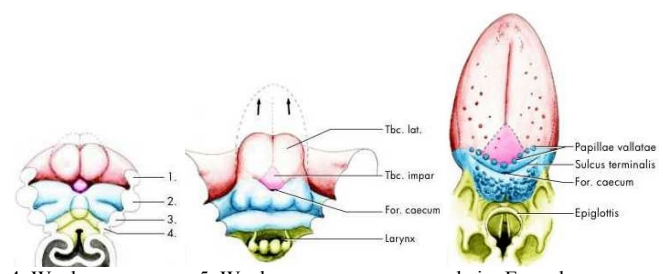


Abb. 83: Zungenentwicklung. Die paarigen Zungenwülste wachsen zunehmend nach vorne aus (Pfeile). Es sind alle 4 Pharyngealbögen an der Zungenentwicklung beteiligt.

4.6.4.6. Ohr

Das endgültige Ohr besteht aus drei verschiedenen Bereichen, dem Innenohr, dem Mittelohr und dem äußeren Gehörgang. Das Innenohr stammt vom ektodermalen Ohrbläschen ab und entwickelt sich in der vierten Woche zu einem Ohrbläschen. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 51) Am Ende der

Entwicklung wird es das häutige Labyrinth genannt. Es wandelt die Schallwellen in Nervenimpulse um und registriert Gleichgewichtsveränderungen.

(vgl. Sadler 2014, 451) Das Mittelohr entsteht aus der ersten Schlundtasche und verbindet als Schallleitungsorgan das äußere Ohr mit dem Innenohr. Das äußere Ohr oder der äußere Gehörgang entsteht aus der ersten Schlundfurche sowie aus sechs sie umgebenden Ohrmuschelhöckern. Es dient als Schallaufnahmeorgan.

(vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 51)

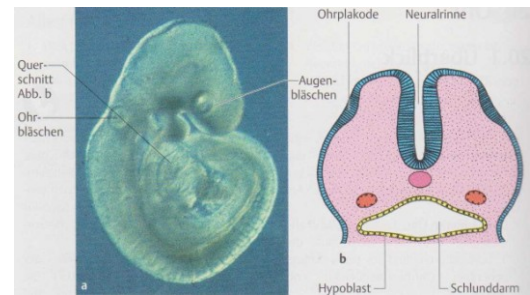


Abb. 84: Ohrplakoden. a) Ende der 4. Woche b) Querschnitt im Bereich des Rhombenzephalons am 22. Tag. Dargestellte Ohrplakoden stülpen sich zu den Ohrbläschen ein.

4.6.4.7. Auge

Als erste Ausstülpung des Gehirnbläschens entwickelt sich in der vierten Woche das Augenbläschen. Die gesamte Augenentwicklung ist ein komplizierter Vorgang. (vgl. Sadler 2014, 462f) In der siebenten Woche entstehen die Augenlider als zwei Hautfalten, die sich in der zehnten Entwicklungswoche miteinander verkleben und bis zum siebenten Entwicklungs-

monat verschlossen bleiben. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 50)

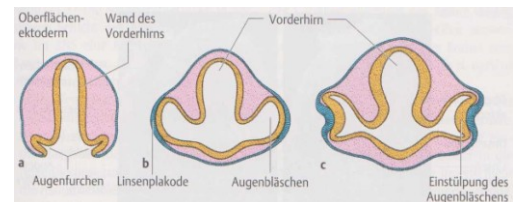


Abb. 85: Entwicklung von Augenbläschen und Linsenplakode. Querschnitt durch das Vorderhirn. a) 22. Tag b) mit 4 Wochen c) 5 Wochen (5mm SSL).

4.7. Haut und Anhangsorgane

Aus dem Ektoderm entsteht die epitheliale Komponente der Haut, die Epidermis. Von den Dermatomen der Somiten und aus dem parietalen Mesoderm der Leibeswand leiten sich die bindegewebigen Komponenten, das Korium und die Subkutis ab. Aus der Neuralleiste stammen die Melanozyten, die in die Epidermis und das Korium einwandern. Aus epithelialen Knospen, die in das Mesoderm vorwachsen, entwickeln sich die Anhangsorgane, die Haare, die Finger- und Fuß-

nägel, die Talg-, Schweiß- und Milchdrüsen sowie Zähne. (vgl. Sadler 2014, 474-476)

Die epidermalen Haarknospen dringen in das Mesenchym ein, stülpen sich unten ein und nehmen die mesodermale Haarpapille mit Blutgefäßen und Nerven auf. Die Epithelzellen verhornen sich im Bereich der Haarpapille und schieben als Haarschaft durch den Stiel der Knospe nach oben, der damit zur epithelialen Wurzelscheide wird. Eine holokrine Talgdrüse, die ihr Sekret in die Wurzelscheide entleert, ist jedem Haar zugeordnet. Im Bereich der Augenbrauen und der Oberlippe

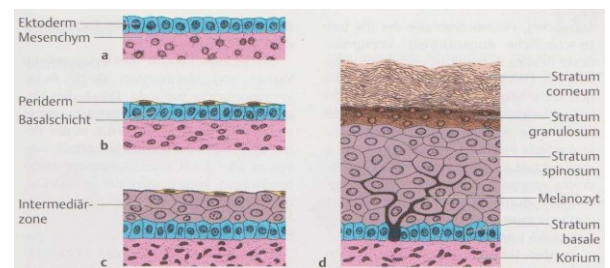


Abb. 86: Entwicklung der Haut. a) 5. Woche b) 7. Woche c) 4. Monat d) beim reifen Neugeborenen.

Die epidermalen Haarknospen dringen in das Mesenchym ein, stülpen sich unten ein und nehmen die mesodermale Haarpapille mit Blutgefäßen und Nerven auf. Die Epithelzellen verhornen sich im Bereich der Haarpapille und schieben als Haarschaft durch den Stiel der Knospe nach oben, der damit zur epithelialen Wurzelscheide wird. Eine holokrine Talgdrüse, die ihr Sekret in die Wurzelscheide entleert, ist jedem Haar zugeordnet. Im Bereich der Augenbrauen und der Oberlippe

treten am Ende des dritten Monats die ersten Haare an die Oberfläche. Diese bestehen aus Wollhaaren und werden als Lanugobehaarung bezeichnet und entstehen ab dem Ende des fünften Entwicklungsmonats an der gesamten Körperoberfläche. Vom achten Monat bis zur Geburt werden diese abgestoßen und durch eine zweite Generation von Haaren ersetzt. (vgl. Sadler 2014, 477f)

Die Schweißdrüsen werden in zwei Typen unterteilt. Die apokrinen Schweißdrüsen entstehen nur im Bereich der behaarten Haut. Dazu gehören auch das Gesicht, die Achseln und der Schambereich, wobei sie sich erst in der Pubertät entwickeln. Die ekkrinen Schweißdrüsen entwickeln sich in der Haut. Diese entstehen in den meisten Körperbereichen am Anfang als Knospen aus dem Stratum germinativum der Epidermis. (vgl. Sadler 2014, 479)

4.8. Skelettsystem

Das Skelettsystem entwickelt sich im paraxialen und parietalen Mesoderm. Im Kopfbereich bildet es sich zusätzlich aus der Neuralleiste. Die Knochenbildung findet einerseits im Mesoderm in der Leibeswand statt, wo die Knochen des Becken- und Schultergürtels, der Extremitäten und des Brustbeins entstehen, andererseits im Mesenchym der Sklerotome, wo die Wirbelkörper gebildet werden. Weiters entstehen im Mesenchym die Gesichts- und Schädelknochen. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 45) Die Knochen können durch desmale oder durch enchondrale Ossifikation entstehen. Als desmale Ossifikation wird die Bildung des Knochens direkt aus mesenchymalem Bindegewebe bezeichnet. Die enchondrale Ossifikation ist die häufigere Form bei der Entstehung der Skelettelemente. Dabei werden zuerst hyaline Knorpel bzw. Knorpelmodelle angelegt, die bei der enchondralen Ossifikation in Knochen umgewandelt werden. (vgl. Sadler 2014, 202)

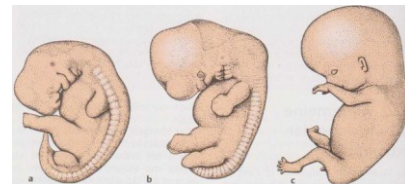


Abb. 87: Entwicklung der Extremitätenknospen.
a) 5 Wochen b) 6 Wochen c) 7 Wochen.

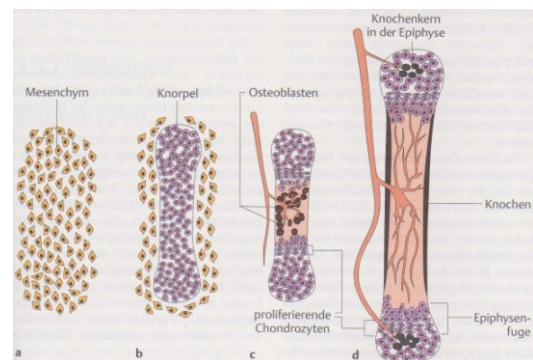


Abb. 88: Enchondrale Ossifikation.

a) Die Mesenchymzellen kondensieren und differenzieren sich in Chondrozyten.
b) Die Chondrozyten bilden ein Knorpelmodell für den späteren Knochen.
c und d) Blutgefäße dringen in das Zentrum des Knorpelmodells ein. Sie bringen Osteoblasten (schwarze Zellen) mit und verlagern die Proliferationszone der Chondrozyten an die Enden der langen Röhrenknochen (die Epiphyse). Zentral bildet sich eine perichondrale Knochenmanschette aus. Die Grundsubstanz in den Septen zwischen den Säulen verkalkt und wird von Osteoblasten besiedelt. Anschließend dringen die Blutgefäße auch in die knorpelige Epiphyse ein und bilden dort ebenfalls Knochenkerne.

4.8.1. Achsenskelett

Der Schädel, die Wirbelsäule, die Rippen und das Brustbein zählen zum sogenannten Achsenskelett. Gegen Ende der vierten Woche wandern die Zellen des Sklerotoms als lockeres Mesenchym auf die Chorda und bilden dort die Wirbelkörper. Die Mesenchymzellen

differenzieren sich zu Fibroblasten, Chondroblasten und Osteoblasten, den knochenbildenden Zellen. Aus der Neuralleiste gehen wesentliche Anteile des Kopfmesenchyms hervor. An der Bildung des Schädeldaches, der Schädelbasis und des Gesichtsskeletts ist die Neuralleiste somit wesentlich beteiligt. Aus den occipitalen Somiten und den Somitomeren entsteht der übrige Schädel. (vgl. Sadler 2014, 202) Mit der zwölften Entwicklungswoche beginnt die Verknöcherung und endet zwischen dem 23. und 25. Lebensjahr. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 46)

Die vielen Anomalien des Achsenskeletts werden in verschiedene Bereiche unterteilt. Die Spina bifida gehört zu den vertebrealen Anomalien, die Kranioschisis sowie die Kraniosynostosis zählen zu den kranialen und die Gaumenspalte zu den fazialen Defekten. (vgl. Sadler 2014, 202-217)

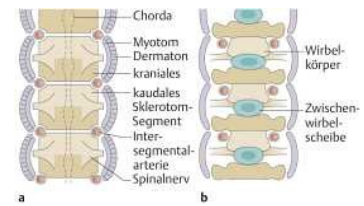


Abb. 89: Entwicklung der Wirbelsäule. a) Somitengliederung. b) endgültige Wirbelsäule.

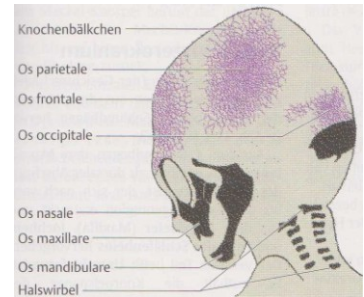


Abb. 90: Schädelknochen eines 3 Monate alten Embryos. Beachte wie sich die Knochenbälkchen von dem primären Ossifikationszentrum der flachen Schädelknochen ausbreiten.

4.8.2. Extremitäten

Die Entwicklung der Gliedmaßen beinhaltet die freien Extremitäten sowie den Schulter- und Beckengürtel. An der seitlichen Rumpfwand in Höhe bestimmter Rückenmarksabschnitte entstehen am Ende der vierten Woche die Extremitäten in Form von Knospen. (vgl. Sadler 2014, 225)

Durch Ausstülpungen der lateralen Leibeswand entstehen diese Extremitätenknospen. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 45)

Durch die enchondrale Ossifikation entwickeln sich die langen Röhrenknochen. Diese entstehen aus dem parietalen Blatt des Seitenplattenmesoderms bzw. Somatopleura. Zuerst erfolgt die Ausbildung eines primären Knochenkerns in der Diaphyse, bevor das Längenwachstum an den Enden der Anlage in der knorpeligen Wachstumszone beginnt. Diese knorpelige Wachstumszone wird zur Epiphysenfuge, nachdem schließlich ein Knochenkern in der Epiphyse entstanden ist. Erst nach der Pubertät verknöchert die Epiphysenfuge. (vgl. Sadler 2014, 225-230)

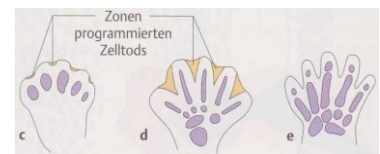


Abb. 91: Entwicklung der Hand. a) 48. Tag b) 51. Tag c) 56. Tag.

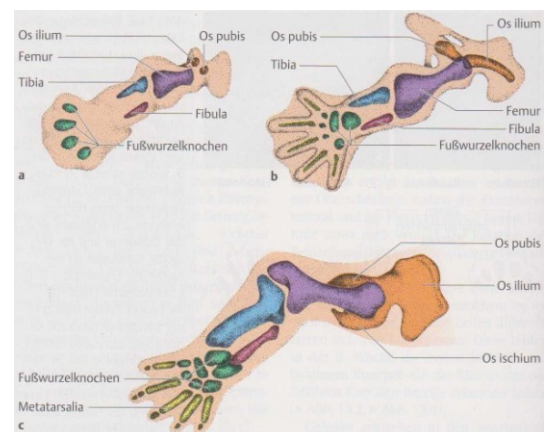


Abb. 92: Knorpelmodell der unteren Extremität. a) Beinanlage (6 Wochen) b) Gesamtes Beinskelett (Ende der 6. Woche) c) Gesamtes Beinskelett (Anfang der 8. Woche).

4.9. Muskelsystem

Die Muskulatur entwickelt sich aus dem Mesoderm, genauer bezeichnet entsteht die Skelettmuskulatur aus dem paraxialen Mesoderm. Diese ist weiter in die Somiten und die Somitomeren unterteilt. Die Muskeln des Achsenskeletts, der Körperwand und der Extremitäten gehen aus den Somiten hervor und die Muskeln im Kopfbereich aus den Somitomeren. (vgl. Sadler 2014, 219) Aus den in die Extremitätenknospen eingewanderten Zellen der Myotome bilden sich die Muskeln der Extremitäten. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 46)

4.9.1. Quergestreifte Muskulatur

Aus der ventrolateralen Lippe (VLL) und der dorsomedialen Lippe (DML) des Dermomyotoms stammen die Vorläuferzellen für die quer gestreifte Muskulatur. Das Myotom wird von Zellen aus beiden Regionen gebildet. Die Grenze zwischen den beiden Populationen von Muskelzellen ist auf einen embryonalen Ursprung zurückzuführen. Es gibt zwei mesodermale Bereiche mit der epaxialen Muskulatur und der hypaxialen Muskulatur. Die epaxiale Muskulatur ist die primaxiale Domäne und umgibt das Neuralrohr und die Chorda. Diese Domäne besteht ausschließlich aus Zellen des paraxialen Mesoderms und ihre Muskelvorläuferzellen entwickeln sich u.a. zur autochthonen Rückenmuskulatur. Sie liegt oberhalb der Körperachse und wird durch dorsale Äste der Spinalnerven innerviert. Die hypoxiale Muskulatur besteht aus Zellen der Somatopleura sowie der eingewanderten Somitenzellen und wird als abaxiale Domäne bezeichnet. Sie liegt unterhalb der Körperachse, bezieht sich auf die Muskulatur der ventrolateralen Körperwand und der Extremitäten und wird durch die ventralen Rami innerviert. Diese eingewanderten Zellen haben die laterale somitische Grenze überquert. Diese abaxialen Muskelvorläuferzellen entwickeln sich u.a. zur Bauchmuskulatur, wie M. rectus abdominalis und zur infrahyoidalen Muskulatur. (vgl. Sadler 2014, 219-221)

4.9.2. Glatte Muskulatur

Die glatte Muskulatur stammt mit ein paar Ausnahmen vom viszeralem Mesoderm ab. Aus dem Seitenplattenmesoderm der Neuralleiste stammen die glatten Muskelzellen der Aorta und der großen Arterien. In den proximalen Abschnitten aus Neuralleistenzellen und in den Koronararterien entstehen die glatten Muskelzellen aus Proepikard. Aus dem viszeralem Mesoderm, das die Anlagen umgibt, entsteht das glatte Muskelgewebe des Gastrointestinaltrakts und seiner Anhangsorgane. Die glatte Muskulatur der Iris, bestehend aus dem inneren Augenmuskeln, M. sphincter und M. dilatator pupillae, stammt aus dem Ektoderm des Augenbechers. Aus der epithelialen, zum Ektoderm gehörenden Komponente der Drüsen entstehen die Myoepithelzellen der Schweißdrüsen und der Milchdrüse. (vgl. Sadler 2014, 223)

4.9.3. Sehnen

Die Sehnen stammen aus den Sklerotomzellen in der Nachbarschaft der Myotome im vorderen und hinteren Abschnitt der Somiten. Sie stellen die Verbindung zwischen den Muskeln und den Knochen dar und befestigen den Muskel. (vgl. Sadler 2014, 221)

4.9.4. Herzmuskulatur

Aus der viszeralen Mesodermschicht, die den endothelialen Herzschlauch umgibt, entwickelt sich die Herzmuskulatur. Die Myoblasten, aus denen sich die Glanzstreifen entwickeln, sind durch Kontaktzonen miteinander verbunden. Die fibrillenarmen, spezialisierten Muskelzellen des Erregungsleitungssystems, die Purkinje-Fasern, werden erst später sichtbar. (vgl. Sadler 2014, 222)

4.9.5. Bindegewebe

Das lokale Bindegewebe, in das die Myoblasten einwandern, bestimmt die Musterbildung, die Ausbildung einzelner Muskeln und somit ihre Gestalt. Das Bindegewebe in der Kopffregion stammt aus den Neuralleistenzellen. Aus dem Somitenmesoderm geht das Gewebe in der zervikalen und okzipitalen Region hervor. In den Extremitäten und in der Leibeswand entsteht das Bindegewebe aus der parietalen Mesodermschicht. In der ventrolateralen Rumpfwand sowie den Extremitäten entstammt es dem parietalen Seitenplattenmesoderm. (vgl. Sadler 2014, 221)

5. Vom intrauterinen zum postpartalen Kreislauf

In der Fetalzeit laufen zahlreiche Körperfunktionen anders ab als beim Neugeborenen nach der Geburt. Durch die Geburt wird der sich im Fruchtwasser befindende Fetus plötzlich zum Luft atmenden Neugeborenen. Es besteht keine Verbindung mehr mit den Eihäuten und der Plazenta, die bislang für den Gasaustausch, die Isolierung, die Ernährung und die Ausscheidung zuständig waren. (vgl. Obladen 2006, 21)

5.1. Fetalkreislauf

Das fetale Blut gelangt mit 80 %iger Sättigung, nach der Arterialisierung in der Plazenta, über die Nabelvene in den Fetus. Aufgrund ihrer Verlaufsrichtung werden die Gefäße, die von der Plazenta zum Herzen ziehen, als Venen bezeichnet, obwohl sie arterielles Blut enthalten. Dort umgeht es im Ductus venosus Arantii zum Teil die Leber und gelangt in die V. cava inferior. (vgl. Voß/Bommas-Ebert 2011, 59) Bei der Einmündung kommt es zur Mischung mit dem venösen Blut aus der unteren Körperhälfte. Dieses Mischblut gelangt durch die spezielle Faltung der V. cava inferior in den rechten Vorhof und dort durch das Foramen ovale, ein physiologisches Loch in der Vorhofscheidewand, direkt in den linken Vorhof und von dort weiter in die linke

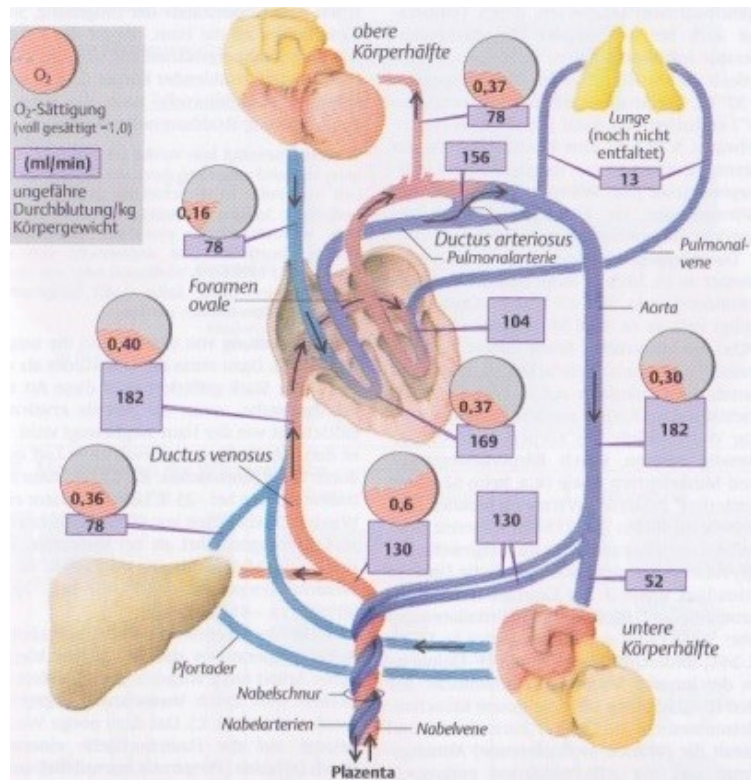


Abb. 93: Fetaler Blutkreislauf.

Kammer. Im rechten Vorhof findet ein Kreuzen mit dem venösen Blut aus der V. cava superior statt, wobei nur eine geringe Vermischung stattfindet. Dieses Blut fließt weiter in die rechte Kammer und von dort in Richtung Lunge, aber nur etwa ein Drittel gelangt wegen des hohen Strömungswiderstandes in die Lunge. Durch den Ductus arteriosus treten die anderen zwei Drittel des Blutes in die Aorta über, wobei ein Rechts-Links-Shunt entsteht, da in der Aorta, wegen des geringen peripheren Widerstandes durch die Plazenta, ein relativ niedriger Blutdruck herrscht. Am Ende der Schwangerschaft beträgt er nur etwa 65 mmHg. Die Arterien von Kopf und Oberkörper werden mit dem teilarterialisierten Blut aus dem linken Ventrikel versorgt, wobei das Gehirn sehr

empfindlich auf O₂-Mangel reagiert. (vgl. Silbernagel/Despopoulos 2012, 232) „Erst nach deren Abgang aus der Aorta mündet das ein venöse Blut aus dem Ductus arteriosus ein. Für den unteren Teil des Körpers steht somit nur relativ O₂-armes Blut zur Verfügung.“ (Silbernagel/Despopoulos 2012, 232) Davon gelangt ein Großteil wieder über die Nabelarterie zur Plazenta zurück und wird dort erneut mit O₂ angereichert. (vgl. Silbernagel/Despopoulos 2012, 232)

5.2. Kreislauf bei der Geburt

Die Versorgung des Feten durch die Plazenta hört im Rahmen der Geburt schlagartig auf. Durch diese plötzliche Veränderung kommt es zu einem Anstieg des Blut-pCO₂, welcher über die Chemosensoren einen sehr starken Atemtrieb auslöst. Dadurch entsteht eine Inspirationsbewegung, welche einen Unterdruck im Thoraxraum erzeugt. Dadurch werden einerseits die Plazenta und die Nabelvene leergesaugt, die sogenannte Plazentatransfusion und andererseits wird die Lunge entfaltet. Der Widerstand im Lungenkreislauf sinkt durch die Lungenentfaltung und durch den Anstieg des alveolären pO₂. Deshalb steigt die Durchblutung und der Druck fällt ab. (vgl. Silbernagel/Despopoulos 2012, 232) Die Amnionflüssigkeit im Bronchialraum wird durch die Kompression des Brustkorbs durch Luft ersetzt und die Atmung setzt plötzlich ein. (vgl. Sadler 2014, 284) Im Körperkreislauf steigt wegen der sich selbst verengenden bzw. abgebundenen Nabel-

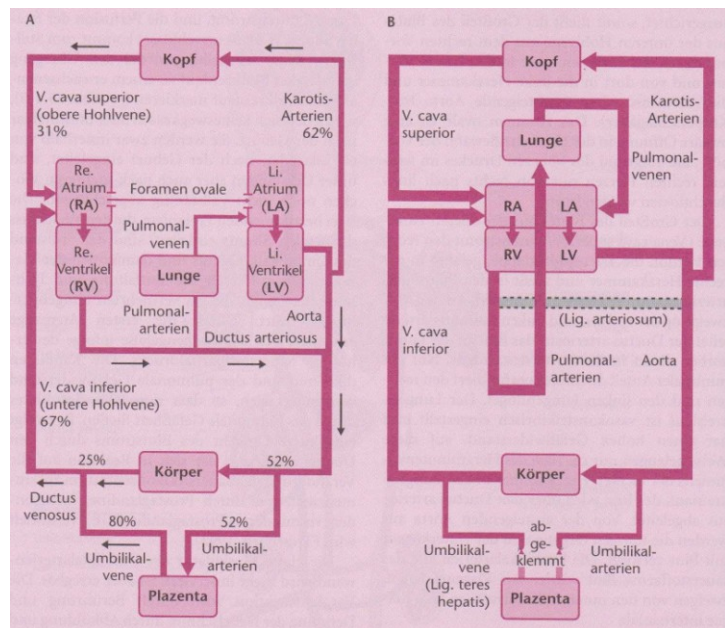


Abb. 94: Umstellung des Blutkreislaufs bei der Geburt.
a) Blutkreislauf des Feten mit Angabe der Sauerstoffsättigung des Blutes.
b) Blutkreislauf des Neugeborenen.

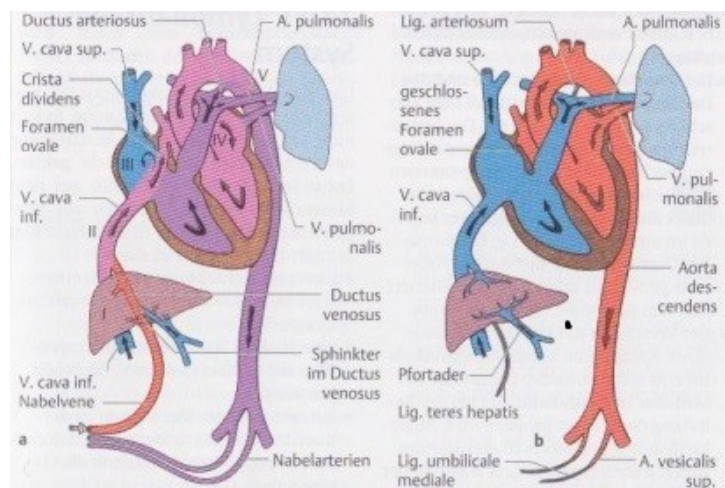


Abb. 95: Kreislaufumstellung bei der Geburt.
a) vor der Geburt. b) nach der Geburt.

schnur der Widerstand an und somit ändert sich die Flussrichtung im Ductus arteriosus in einen Links-Rechts-Shunt. So gelangt einige Tage nach der Geburt noch Aortenblut in den Lungenkreislauf. Es entsteht ein Druckgefälle vom linken zum rechten Vorhof, in dem die Füllung

des rechten Vorhofs durch das fehlende Plazentablut vermindert wird und das Volumen im linken Vorhof durch die vermehrte Lungendurchblutung steigt. Das Foramen ovale schließt sich nach der Geburt einerseits durch das beschriebene Druckgefälle und andererseits durch das Absinken vasodilatierender Prostaglandine. Der Ductus arteriosus verschließt sich durch den dortigen Anstieg des Blut-pCO₂ sowie durch Thrombozyten. Ebenfalls verschließt sich der Ductus venosus. Somit werden Lungen- und Körperkreislauf in Serie geschaltet. Es kommt zu herzbelastenden Kurzschlusskreisläufen, sogenannten Shunts, wenn das Foramen ovale oder der Ductus arteriosus weit offen bleiben. (vgl. Silbernagel/Depopoulos 2012, 232)

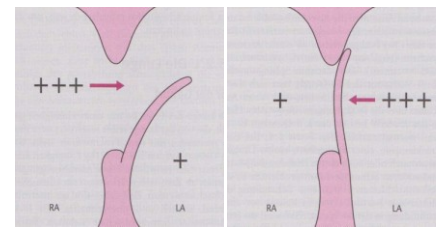


Abb. 96: Einsetzen des neonatalen Blutkreislaufs und Verschluss des Foramen ovale zwischen rechtem Atrium (AR) und linkem Atrium (AL).

5.3. Postnatale Adaptation

Alle wichtigen Vitalfunktionen des Neugeborenen wie die Atmung, der Kreislauf, die Wärmeregulation, die Verdauung, der Stoffwechsel, die Ausscheidung und das Immunsystem müssen sich sehr schnell nach der Geburt umstellen. Aber diese Anpassungsvorgänge können leicht gestört werden, vor allem bei unreifen Neugeborenen. (vgl. Obladen 2006, 21) Eigentlich sind diese Umstellungsreaktionen nicht isoliert zu betrachten, da sie zeitlich parallel ablaufen und sich teilweise gegenseitig beeinflussen. (vgl. Illing 1998, 6)

Zur postnatalen Beurteilung vom Neugeborenen wird das Apgar-Schema herangezogen, wobei dieses bei Frühgeborenen weniger aussagekräftig ist, da die Atmung, der Muskeltonus und die Reflexerregbarkeit stark vom Gestationsalter abhängig sind. (vgl. Obladen 2006, 21-23)

5.3.1. Atmungsadaptation

Die Atmungsadaptation setzt gleichermaßen die Reife von Lunge und Gehirn voraus, denn einerseits muss die eigentliche Lungenfunktion passen und andererseits die Steuerung der Atmung, ausgelöst durch Sauerstoffmangel und pCO₂-Anstieg. Es sind beide Funktionen gleich wichtig, da sie voneinander abhängig sind. Durch die Ausbildung des respiratorischen Epithels erfolgt die Lungenreifung. Zuerst ähnelt dieses einer pflastersteinartigen Zellschicht, welche sich bei der Entfaltung der Alveolen zu einer tapetenartigen Wand ausdehnt und es findet somit eine Oberflächenvergrößerung statt. Das Surfactant spielt bei der Lungenreifung eine große Rolle und ist ein wesentliches Reifekriterium, welches im Fruchtwasser auftaucht. (vgl. Illing 1998, 7)

Aus Apnoe wird der Fetus in Expirationsstellung geboren. Der erste Luft-Atemzug wird beim Durchtritt durch den Geburtskanal durch eine Hyperkapnie, eine Azidose und eine Hypoxie, die durch Kälte, Licht, Schwerkraft und Kompression entstehen, ausgelöst. Durch den Lufteintritt werden eine Oberflächenspannung, eine Retraktionskraft und ein negativer interstitieller Druck

aufgebaut. (vgl. Obladen 2006, 23) Die Alveolen können sich schon beim ersten Atemzug zum Großteil entfalten und gleichzeitig dehnen sich die vorher geknäuelten Kapillaren aus und stellen auf diese Weise einen viel geringeren Widerstand für das Blut dar. Somit nimmt die Durchblutung der Lunge zu und es wird gleichzeitig der Gasaustausch möglich. (vgl. Illing 1998, 7) Das Residualvolumen ist nach zwei bis drei Atemzügen etabliert und die noch vorhandene Lungenflüssigkeit wird abgehustet und/oder resorbiert. In den ersten 24 Lebensstunden weist die Physiologie der Atmung erhebliche Unterschiede zum späteren Lebensalter auf. (vgl. Obladen 2006, 23)

5.3.2. Kreislaufadaptation

Das Blut strömt beim ersten Atemzug in den sich öffnenden Lungenkreislauf ein. Der pulmonale Gefäßwiderstand sinkt infolge des pO_2 -Anstiegs, während der periphere Systemwiderstand steigt. Innerhalb von Minuten wird das Foramen ovale funktionell geschlossen, wodurch der Rechts-Links-Shunt innerhalb von sechs Stunden von 90 % auf 20 % absinkt. Der Ductus arteriosus Botalli bleibt für Stunden oder Tage offen. Da der Systemwiderstand höher als der pulmonale Gefäßwiderstand ist, geht der Shunt durch den Ductus nun jedoch von links nach rechts, genannt die transitorische perinatale Zirkulation. (vgl. Obladen 2006, 24f)

Der Ductus arteriosus Botalli kann sich zuerst physiologisch verschließen, indem sich seine sauerstoffabhängigen, glatten Muskelfasern zusammenziehen. Der anatomische Verschluss findet erst später statt.

Der Ductus arantii kollabiert regelrecht, indem der Rückfluss von der Nabelschnur abnimmt und somit die Leber nicht mehr umgangen werden muss. Dieser ist wie die Nabelgefäße vorerst nur funktionell verschlossen, so dass er noch sondiert werden könnte und verschließt sich anatomisch erst nach einigen Tagen durch Obliteration und Umwandlung in einen bindegewebigen Strang. (vgl. Illing 1998, 7)

5.3.3. Thermoregulation

Die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur nach der Geburt hat beim Neugeborenen und insbesondere beim Frühgeborenen oberste Priorität. Die Wärme kann fast ausschließlich durch Lipolyse im braunen Fettgewebe gebildet werden und noch nicht durch

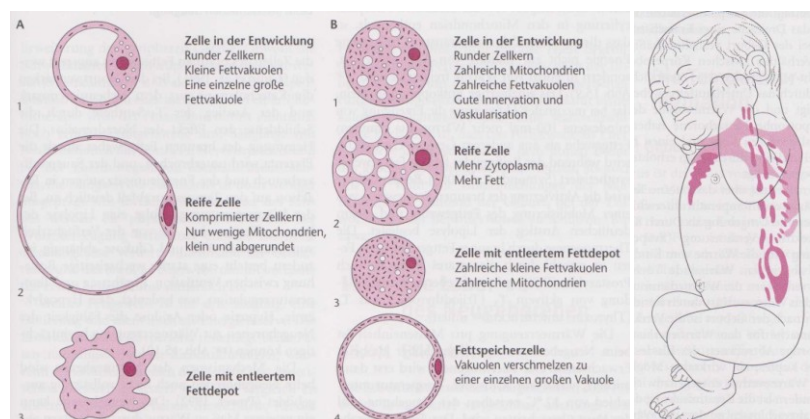


Abb. 97: Struktur und Entwicklung von weißem (A) und braunem (B) Fettgewebe.

Muskelzittern. Diese Wärme-produktion, die durch einen chemischen Prozess entsteht, reicht oft nicht zum Ausgleich des postnatalen Wärmeverlustes aus. Aber diese Form der Wärmeerzeugung steigert den Verbrauch von Energie, Sauerstoff und Glukose, das zu einer metabolischen Azidose durch Anhäufung von freien Fettsäuren und Laktat führt. (vgl. Obladen 2006, 36)

5.3.4. Verdauung

Die Funktion des Verdauungstrakts wird aufgenommen und zeigt sich mit dem Abgang von Mekonium. In den ersten Lebensstunden füllt sich der Darm bis zum After mit Luft und gleichzeitig beginnt die Besiedelung mit Darmbakterien. Die erste Nahrung ist meist das sehr zuckerhaltige Fruchtwasser, das sich normalerweise noch zum Teil im Magen des Neugeborenen befindet. Durch den physiologischen Sauerstoffmangel bei der Geburt wird die Darmperistaltik ausgelöst, was wiederum bei einer intrauterinen Asphyxie den vorzeitigen Mekoniumabgang auslösen kann und somit eine Mekoniumaspiration ermöglicht. Die Muttermilch stellt eine wesentliche, schützende Funktion dar, da die Immunfunktion des Darms als Barriere noch unreif ist und sich erst in den ersten Lebenstagen und -wochen entwickelt. (vgl. Illing 1998, 7f)

5.3.5. Leberfunktion

Vor der Geburt sind die Stoffwechselfunktionen der Leber fast ruhig gestellt, da fast alle Nährstoffe bereits in optimal aufgeschlüsselter Form von der Plazenta angeboten werden. Es ist von großer Bedeutung, dass die Leber ihre Ausscheidungs- und Entgiftungsfunktion bezüglich der gallenpflichtigen Stoffwechselabfälle erst nach der Geburt aktiviert, da es intrauterin sonst keine Möglichkeit mehr gäbe, die ausgeschiedenen Bestandteile an die Mutter abzugeben. Die Leber braucht einige Zeit, um nach der Geburt diese Stoffwechselfvorgänge in Betrieb nehmen zu können, wobei dies gleichzeitig mit der Aufnahme der Verdauungsfunktion beginnt. Der physiologische Neugeborenen-Ikterus ist ein äußerlich sichtbares Zeichen der allmählichen Aufnahme der Stoffwechselfunktion. (vgl. Illing 1998, 8)

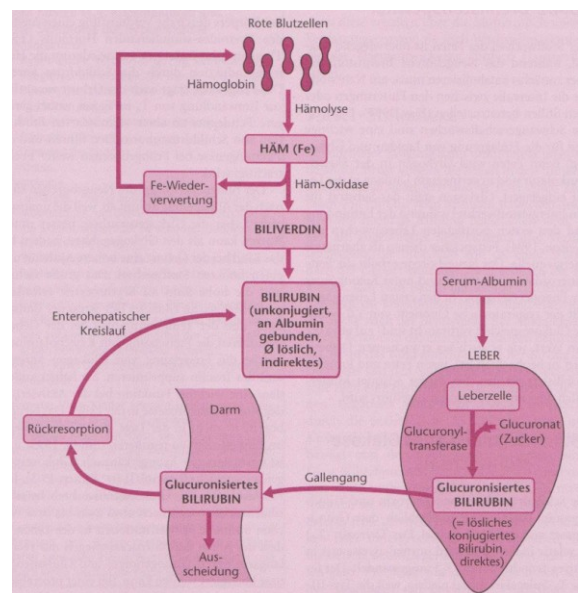


Abb. 98: Abbau von Hämoglobin zu Bilirubin.

5.3.6. Nierenfunktion

Die Nieren sind intrauterin an der Bildung von Fruchtwasser beteiligt, dürfen aber ihre eigentliche Ausscheidungsfunktion von Abfallprodukten erst nach der Geburt beginnen. In den ersten

Lebenswochen haben sie noch nicht ihre vollen Ausscheidungsfähigkeiten, diese entwickeln sich erst langsam. Es besteht eine geringe Konzentrations- und Verdünnungsfähigkeit und daher sind Neugeborene und junge Säuglinge besonders empfindlich gegenüber Elektrolyt- und Flüssigkeitsschwankungen. (vgl. Illing 1998, 8)

5.3.7. Abwehrfunktion

Das Immunsystem des Feten ist intrauterin auf einem geringen Niveau aktiv und vor allem die eigentliche Infektabwehr-Funktion ist deaktiviert, da diese sonst gegen fremde Bestandteile des mütterlichen Körpers arbeiten würde. Einerseits bekommt der Fetus durch die Übertragung von passiven mütterlichen Antikörpern eine sogenannte Leihimmunität und somit einen immunologischen Schutz gegen viele vor allem virale Krankheitserreger und andererseits stellt die Plazenta eine relativ gute Barriere gegen Erreger dar. Aber es ist trotzdem von großer Bedeutung, dass das Neugeborene sehr schnell eine eigene Abwehr aufbaut, da seine Empfänglichkeit gegenüber bakteriellen Infektionen vor allem wegen seiner Unreife sehr hoch ist. (vgl. Illing 1998, 8)

6. Schlussfolgerung

Die Entwicklung eines neuen Lebens beginnt mit der Befruchtung, Ei und Samenzelle verschmelzen. Die intrauterinen Entwicklungsvorgänge werden in die Embryonalperiode und in die Fetalperiode eingeteilt. Die tatsächliche Schwangerschaftsdauer ist die Zeit von der Konzeption bis zum Geburtstermin und beträgt durchschnittlich 38 Wochen oder 9,5 Lunarmonate mit 28 Tagen.

In der Embryonalperiode, die von der 1.-8. SSW dauert, findet die Embryonalentwicklung statt. Der Embryo durchlebt große Umstellungen in einer sehr kurzen Zeit, vor allem wächst er schneller als in jeder anderen Lebensphase.

Die Fetalperiode beginnt mit der 9. SSW. In dieser kommt es zum Wachstum und zur Differenzierung der Organsysteme. Ab der 13.-16. SSW ist der Fetus fast ausgebildet und seine Organsysteme funktionieren. Hände und Füße sind voll ausgebildet und der Kopf bekommt normale Proportionen.

Ab der 21.-24. SSW (sechster Schwangerschaftsmonat) besitzt der Fetus einen Schlaf-Wach-Rhythmus, kann Geräusche gut wahrnehmen, spielt mit der Nabelschnur und kann kleine Mimikübungen durchführen.

Ab der 25.-28. SSW (siebenter Schwangerschaftsmonat) wächst der Fetus und probiert neue Fähigkeiten aus. Er lutscht am Daumen, öffnet die Augenlider, dreht und streckt sich und fördert so seine Koordinationsfähigkeit.

Im achten Schwangerschaftsmonat sind alle Organe bis auf die Lunge vollständig ausgereift. Im neunten Schwangerschaftsmonat kommt es nur mehr zu Feinabstimmungen und im zehnten Schwangerschaftsmonat warten im Gehirn elf Milliarden Nervenzellen darauf, sich nach der Geburt zu vernetzen.

Für die physiologische Versorgung des heranreifenden Kindes ist es wichtig, dass alle Entwicklungsschritte vom Trophoblasten bis zur Plazenta und vom Embryoblasten bis zur Nabelschnur richtig ablaufen. Die Amnionhöhle erscheint zum ersten Mal um den siebenten Schwangerschaftstag und bildet die Amnionflüssigkeit, welche das freie Schwimmen des Fetus ermöglicht. Zusätzlich bietet sie Schutz vor Austrocknung und mechanischer Belastung. Etwa 20 ml Fruchtwasser schluckt der Fetus pro Stunde, die dann über den Darm in den fetalen Kreislauf kommen und die Plazenta passieren. Die Nabelschnur enthält üblicherweise zwei Umbilikalarterien, die sauerstoff- und nährstoffarmes Blut vom Fetus zur Plazenta transportieren und eine Umbilikalvene, die sauerstoff- und nährstoffreiches Blut von der Plazenta zum Fetus transportiert.

Die Plazenta hat die Aufgabe, den Fetus mit Nährstoffen zu versorgen, O₂ aufzunehmen, Abbauprodukte und CO₂ abzugeben. Damit ist sie „Darm“, „Niere“ und „Lunge“ des Feten. Ab der 9. SSW steigen der Nährstoff- und Sauerstoffbedarf des Feten, daher muss die Oberfläche der

Plazenta vergrößert werden und ab dem vierten Schwangerschaftsmonat besteht sie dann aus zwei Teilen, dem fetalen Anteil und dem mütterlichen Anteil.

Die Plazentaschranke besteht nur aus fetalem Gewebe und bildet die Trennschicht zwischen den beiden Kreislaufsystemen, sodass es normalerweise zu keiner Vermischung von mütterlichem und fetalem Blut kommt. Eine wichtige Aufgabe der Plazenta ist auch die Bildung von Hormonen. Am Ende des vierten Schwangerschaftsmonats bildet sie genug Progesteron, um die Schwangerschaft aufrecht zu erhalten. Die Östrogenbildung erreicht am Ende der Schwangerschaft ihr Maximum und stimuliert das Wachstum des Uterus und der Milchdrüsen.

Am Ende des ersten Trimenons entwickelt sich die immunologische Kompetenz. Ab der 14. SSW können mütterliche Immunglobuline von der Mutter in den Fetus übertreten und ihn so vor Infektionskrankheiten schützen. Erst nach der Geburt beginnt die eigene IgG Produktion.

Die peripartale kardiopulmonale Umstellung stellt eine der faszinierendsten Veränderungen dar. Rund um die Geburt muss alles schnell gehen. Die Versorgung über die Plazenta hört mit der Geburt schlagartig auf. Das Neugeborene ist auf sich allein angewiesen. Alle wichtigen Vitalfunktionen müssen sich rasch umstellen. Dazu gehören die Atmung, der Kreislauf, die Verdauung, der Stoffwechsel, die Ausscheidung, die Wärmeregulation und das Immunsystem.

Durch die Inspirationsbewegung wird die Nabelvene leergesaugt und die Lunge entfaltet. Im Herzen entsteht ein Druckgefälle vom linken zum rechten Vorhof. Dadurch und durch das Absinken des vasodilatierenden Prostaglandins schließt sich das Foramen ovale. Ebenso verschließt sich der Ductus arteriosus Botalli und zwar durch den dortigen Blut-pO₂-Anstieg und durch Thrombozyten.

Durch den physiologischen Sauerstoffmangel bei der Geburt wird die Darmperistaltik ausgelöst und es kommt zum Mekoniumabgang. Der physiologische Neugeborenenikterus ist ein Zeichen dafür, dass die Leber allmählich die Stoffwechselfunktion aufnimmt. In den ersten Lebenswochen hat die Niere noch nicht ihre vollständige Ausscheidungsfunktion entwickelt und es besteht eine geringe Konzentrations- und Verdünnungsfähigkeit.

Für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur ist ein chemischer Prozess verantwortlich, der oft nicht ausreicht, um den postnatalen Wärmeverlust auszugleichen. Daher kühlt das Neugeborene sehr leicht aus. Das Muskelzittern spielt noch keine Rolle.

Nur wenn alle Abläufe richtig funktionieren, entsteht ein Meisterwerk der Natur, ein neues Lebewesen.

I Abkürzungsverzeichnis

A. = Arteria = Schlagader

Aa. = Arterien

DML = dorsomediale Lippe

HCG = human chorionic gonadotropin = humanes Choriongonadotropin

Ig = Immunglobulin

L = lumbal = LWS = Lendenwirbelsäule (1.-5. Lendenwirbel)

LH = luteinisierendes Hormon

Lig. = Ligamentum

M. = Muskulus = Muskel

N. = Nervus = Nerv

O₂ = Sauerstoff

p. c. = post conceptionem

p. m. = post menstruationem

p. o. = post ovulationem

pCO₂ = CO₂-Partialdruck = Kohlendioxidpartialdruck

pO₂ = Sauerstoffpartialdruck

RDS = respiratory distress syndrome

S = sakral = 5 verschmolzenen Kreuzwirbel

SFL = Scheitel-Fersen-Länge

SR_Y-Gen = sex determining region of Y

SSL = Scheitel-Steiß-Länge

SSW = Schwangerschaftswoche

Th = thorakal = BWS = Brustwirbelsäule (1.-12. Brustwirbel)

V. = Vena = Vene

VLL = ventrolaterale Lippe

Vv. = Venen

ZNS = Zentralnervensystem

II Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Intrauterine Entwicklung und Sensibilität für das Entstehen einer Fehlbildung im Verlauf einer Schwangerschaft. (Sadler 2014, 182)
- Abb. 2: Fehlbildungsrisiko; rosa: stark gefährdetes; gelb: weniger stark gefährdetes Stadium. (Funk/Tangerding (Hrsg.) (o.J.), [online])
- Abb. 3: 8. SSW; Plazenta mit anhängender Fruchtblase, mit einem 4 cm großen Embryo. (Pschyrembel 2007, 509)
- Abb. 4: Weiterentwicklung der Blastozyste. (Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 43)
- Abb. 5 a: Zellentwicklung. (Blott 2010, 50)
- Abb. 5 b: Zellentwicklung. (Sadler 2014, Zusatz)
- Abb. 5 c: Zellentwicklung. (Blott 2010, 50)
- Abb. 5 d: Zellentwicklung. (Sadler 2014, Zusatz)
- Abb. 6 a: Zellentwicklung. (Blott 2010, 50)
- Abb. 6 b: Zellentwicklung. (Sadler 2014, Zusatz)
- Abb. 6 c: Zellentwicklung. (Blott 2010, 50)
- Abb. 6 d: Zellentwicklung. (Sadler 2014, Zusatz)
- Abb. 7: Keimscheibe am elften Tag. (Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 44)
- Abb. 8 a: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 108)
- Abb. 8 b: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 110)
- Abb. 8 c: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 128)
- Abb. 8 d: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 131)
- Abb. 8 e: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 133)
- Abb. 8 f: Entwicklungsstadien während der Embryogenese. (Sadler 2014, 134)
- Abb. 9: Querschnitt einer dreiblättrigen Keimscheibe. (Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 44)
- Abb. 10: Längsschnitt einer dreiblättrigen Keimscheibe. (Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 45)
- Abb. 11 a: Entwicklung des Feten. (Sadler 2014, 150)
- Abb. 11 b: Entwicklung des Feten. (Sadler 2014, 152)
- Abb. 11 c: Entwicklung des Feten. (Sadler 2014, 152)
- Abb. 11 d: Entwicklung des Feten. (Sadler 2014, 153)
- Abb. 11 e: Entwicklung des Feten. (Sadler 2014, 154)
- Abb. 12: Längen- und Gewichtsübersicht des Feten. (Sadler 2014, 149)
- Abb. 13: Größenverhältnis zwischen Kopf und Rumpf. (Sadler 2014, 151)
- Abb. 14: Entwicklungsschritte in der Fetalperiode. (Sadler 2014, 152)
- Abb. 15: Schema der anatomischen Verhältnisse während der Embryogenese (3. SSW). (Pschyrembel 2007, 509)
- Abb. 16: Embryo in der 6. SSW. (Sadler 2014, 161)
- Abb. 17: Beziehung zwischen den Eihäuten und der Uteruswand. (Sadler 2014, 162)
- Abb. 18: Entwicklung der Nabelschnur. (Sadler 2014, 169)
- Abb. 19: Nabelschnur. (Sadler 2014, 154)
- Abb. 20: Embryo mit Dottersack in der 4. SSW. (Sadler 2014, 128)
- Abb. 21: Embryo in der 6. SSW und 13 mm SSL. (Sadler 2014, 132)
- Abb. 22: Fetus (18.SSW) mit Nabelschnur und Plazenta. (Sadler 2014, 153)

- Abb. 23: Kreislauf durch die Plazenta und die Nabelschnur (Funiculus umbilicalis).
(Coad/Dunstall 2007, 206)
- Abb. 24: Querschnitt durch eine Plazenta. (Faller/Schünke 2004, 566)
- Abb. 25: Zottenaufbau und Plazentaschranke. (Sadler 2014, 159)
- Abb. 26: Fetus in der 23. SSW in Steißlage. (Sadler 2014, 164)
- Abb. 27: Derivate des Endoderms. (Sadler 2014, 128)
- Abb. 28: Schlüsselereignisse während der Embryonalperiode. (Sadler 2014, 135f)
- Abb. 29: Entwicklung der extraembryonalen Blutgefäße. (Sadler 2014, 123)
- Abb. 30: Herz- und Gefäßanlage bei einem etwa 26 Tage alten Embryo.
(Rohen J. W./Lütjen-Drecol 2012, 85)
- Abb. 31: Herzanlage im 18 Tage alten Embryo. (Sadler 2014, 242)
- Abb. 32: Entwicklung des Herzschlauchs im Verlauf der Abfaltung. (Sadler 2014, 245)
- Abb. 33: Entwicklung der Herzschleife vom 23.-24. Tag. (Sadler 2014, 248)
- Abb. 34: Entwicklung der Herzschleife am 28. Tag (5mm SSL). (Sadler 2014, 249)
- Abb. 35: Entstehung der Vorhofsepten (Frontalschnitt). (Rohen J. W./Lütjen-Drecol 2012, 82)
- Abb. 36: Entwicklung des Sinus venosus in Dorsalansicht. (Sadler 2014, 251)
- Abb. 37: Definitive Lage des Sinus coronarius und der großen Venen. (Sadler 2014, 252)
- Abb. 38: Intra- und extraembryonale Gefäße am Ende der 4. Woche. (Sadler 2014, 271)
- Abb. 39: Entwicklung der Aortenbögen. (Sadler 2014, 272)
- Abb. 40: Umbildung der Aortenbögen zu den definitiven Gefäßen. Aortenbögen und dorsale Aorten. (Sadler 2014, 274)
- Abb. 41: Abstammung der großen Arterien von den Aortenbögen. (Sadler 2014, 273)
- Abb. 42: Dotter- und Nabelvene. (Sadler 2014, 279)
- Abb. 43: Dotter- und Nabelvene. (Sadler 2014, 280)
- Abb. 44: Entwicklung des Venensystems. (Sadler 2014, 281)
- Abb. 45: Lage des Lungendivertikels. (Sadler 2014, 289)
- Abb. 46: Abschnürung des Lungendivertikels. (Sadler 2014, 290)
- Abb. 47: Entwicklung von Trachea und Lunge. (Sadler 2014, 293)
- Abb. 48: Reifung der Lunge. (Sadler 2014, 296)
- Abb. 49: Entstehung des dorsalen Mesenteriums. (Sadler 2014, 303)
- Abb. 50: Entwicklung des Gastrointestinaltrakts. (Sadler 2014, 309)
- Abb. 51: Magendrehung. (Sadler 2014, 305)
- Abb. 52: Pancreas anulare. (Sadler 2014, 317)
- Abb. 53: Darmdrehung und Colonrahmen. (Sadler 2014, 320)
- Abb. 54: Derivate des dorsalen Mesenteriums. (Sadler 2014, 308)
- Abb. 55: Entwicklung der Kloake. (Sadler 2014, 327)
- Abb. 56: Urniere und Keimdrüse in der 5. Entwicklungswoche. (Sadler 2014, 334)
- Abb. 57: Vorniere, Urniere und Nachniere. (Rohen J. W./Lütjen-Drecol 2012, 111)
- Abb. 58: Aszensus der Niere. (Sadler 2014, 341)
- Abb. 59: Entwicklung der Nachniere. (Sadler 2014, 336)
- Abb. 60: Lagebeziehung von Ureter und Ductus deferens. (Sadler 2014, 345)
- Abb. 61: Vereinigung beider Urogenitalleisten. (Sadler 2014, 356)
- Abb. 62: Geschlechtsdetermination der Gonaden. (Sadler 2014, 348)
- Abb. 63: Einfluss der Gonaden auf die weitere Geschlechtsdifferenzierung.
(Sadler 2014, 353)

- Abb. 64: Umwandlung der Ur- und Vorniere zu den Genitalgängen. (Voß/Bommas-Ebert 2011, 70)
- Abb. 65: Indifferentes Stadium der äußeren Genitalien. (Sadler 2014, 359)
- Abb. 66: In-utero-Aufnahme der äußeren Genitalien. (Sadler 2014, 361)
- Abb. 67: Genitalwege beim männlichen Embryo. (Sadler 2014, 354)
- Abb. 68: Entwicklung des äußeren Genitale beim männlichen Fetus. (Sadler 2014, 360)
- Abb. 69: Genitalwege beim weiblichen Embryo. (Sadler 2014, 355)
- Abb. 70: Entwicklung von Uterus und Vagina. (Sadler 2014, 357)
- Abb. 71: Entwicklung des äußeren Genitale beim weiblichen Fetus. (Sadler 2014, 363)
- Abb. 72: Bildung des Neuralrohrs. (Sadler 2014, 109)
- Abb. 73: Drei Stadien der Entwicklung des Zentralen Nervensystems im Kopfbereich.
(Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 147)
- Abb. 74: Organisation der Neuronen aus Flügelplatte und Grundplatte im Hirnstamm.
(Sadler 2014, 421)
- Abb. 75: Prä- und postganglionäre Nervenfasern des Sympathikus und die Ganglien des Grenzstrangs. (Sadler 2014, 447)
- Abb. 76: Kopf-Hals-Region des Embryos. (Voß/Bommas-Ebert 2011, 53)
- Abb. 77: Entwicklung der Schlundbögen. (Sadler 2014, 372)
- Abb. 78: Schnitt durch die Schlundbogenregion. (Sadler 2014, 376)
- Abb. 79: Aus den Schlundbögen abgeleitete Skelettelemente. (Sadler 2014, 377)
- Abb. 80: Drei aufeinander folgende Stadien der Gesichtsentwicklung.
(Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 136)
- Abb. 81: Bildung des primären Gaumens. (Sadler 2014, 393)
- Abb. 82: Zahnentwicklung. (Sadler 2014, 401)
- Abb. 83: Zungenentwicklung. (Rohen J. W./Lütjen-Drecoll 2012, 138)
- Abb. 84: Ohrplakoden. (Sadler 2014, 452)
- Abb. 85: Entwicklung von Augenbläschen und Linsenplakode. (Sadler 2014, 463)
- Abb. 86: Entwicklung der Haut. (Sadler 2014, 475)
- Abb. 87: Entwicklung der Extremitätenknospen. (Sadler 2014, 226)
- Abb. 88: Enchondrale Ossifikation. (Sadler 2014, 229)
- Abb. 89: Entwicklung der Wirbelsäule. (Voß/Bommas-Ebert 2011, 44)
- Abb. 90: Schädelknochen eines 3 Monate alten Embryos. (Sadler 2014, 203)
- Abb. 91: Entwicklung der Hand. (Sadler 2014, 227)
- Abb. 92: Knorpelmodell der unteren Extremität. (Sadler 2014, 228)
- Abb. 93: Fetaler Blutkreislauf. (Silbernagel/Despopoulos 2012, 233)
- Abb. 94: Umstellung des Blutkreislaufs bei der Geburt. (Coad/Dunstall 2007, 424)
- Abb. 95: Kreislaufumstellung bei der Geburt. (Sadler 2014, 285)
- Abb. 96: Einsetzen des neonatalen Blutkreislaufs und Verschluss des Foramen ovale
zwischen rechtem Atrium (AR) und linkem Atrium (AL). (Coad/Dunstall 2007, 425)
- Abb. 97: Struktur und Entwicklung von weißem (A) und braunem (B) Fettgewebe. Die
Lokalisation von braunem Fettgewebe. (Coad/Dunstall 2007, 429-430)
- Abb. 98: Abbau von Hämoglobin zu Bilirubin. (Coad/Dunstall 2007, 433)

III Literaturverzeichnis

- Blott, Maggie (2010): Alles über meine Schwangerschaft Tag für Tag, übersetzt von Jeanette Stark-Städele, München: Dorling Kindersley Verlag.
- Coad, Jane/Dunstall, Melvin (2007): Anatomie und Physiologie für die Geburtshilfe, übersetzt von Cathrine Hornung, deutsche Begutachtung und Überarbeitung von Dominik Bürklein und Regina Weber, München/Jena: Elsevier Urban & Fischer Verlag.
- Faller, Adolf (2004): Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion, neu bearbeitet von Michael Schünke und Gabriele Schünke, 14. komplett überarbeitete und neu gestaltete Auflage, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag.
- Friese, K./Kämmerer, W. (2009): Besonderheiten der medikamentösen Therapie, in: Rath, Werner/Friese, Klaus (Hrsg.): Erkrankungen in der Schwangerschaft, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag, 10-13.
- Funk, Christopher/Tangerding Philipp (Hrsg.) (o.J.): Gesundheit.de, Next Healthlab GmbH. URL: http://www.gesundheit.de/sites/default/files/images/roche/pics/a09522.000-1_big.gif [Stand: 15.05.2015]
- Illing, Stephan (1998): Das gesunde und das kranke Neugeborene, Band 2, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Knörr, K./Knörr-Gärtner, H. (1981): Umwelteinflüsse auf die Kindesentwicklung, in: Käser, O./u.a. (Hrsg.): Gynäkologie und Geburtshilfe, Band II, Schwangerschaft und Geburt 1, 2. neubearbeitete Auflage, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Obladen, Michael (2006): Gestörte postnatale Adaptation, in: Obladen, Michael/Maier, Rolf F. (Hrsg.): Neugeborenenintensivmedizin. Evidenz und Erfahrung, 7. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Heidelberg: Springer Verlag, 21-46.
- Psyhyrembel Klinisches Wörterbuch (2007), herausgegeben von Bach, Martina, 261. Auflage, Berlin: de Walter de Gruyter GmbH.
- Rohen, Johannes W./Lütjen-Drecoll, Elke (2012): Funktionelle Embryologie. Die Entwicklung der Funktionssysteme des menschlichen Organismus, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Schattauer GmbH.
- Sadler, Thomas W. (2014): Taschenlehrbuch Embryologie. Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen, begründet von Jan Langmann, deutsche Übersetzung und Bearbeitung von Ulrich Drews und Beate Brand-Saberi, 12. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag.

Silbernagel, Stefan/Despopoulos, Agamemnon (2012): Taschenatlas Physiologie, 8. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag.

Voß, Rainer/Bommas-Ebert, Ulrike (2011): Allgemeine und spezielle Embryologie, in: Bommas-Ebert, Ulrike/Teubner, Philipp/Voß, Rainer (Hrsg.): Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie, 3. Auflage, Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 29-76.

IV Glossar

Akrosom = Kopfkappe des Spermienkerns

Allantois = aus Entoderm und Mesoderm bestehende Ausstülpung der hinteren Darmbucht des Amnioten

Alveolen = Hohlräume

Amnion = aus Ektoderm und Mesoderm bestehende gefäßlose innere Eihaut

Anastomose = angeborene oder operativ angelegte durchgängige Verbindung zweier Hohlorgane

Angiogenese = Bildung der Gefäße

Aortenisthmusstenose = Einengung der thorakalen Aorta in einem bestimmten Abschnitt

Asphyxie = Erstickungszustand des Feten oder Neugeborenen in Folge des Absinkens des O₂-Gehaltes bzw. der CO₂-Anreicherung im Fetalblut

Aspiration = Eindringen flüssiger oder fester Stoffe in die Atemwege

Atresie = Verschluss von Hohlorganen

Atrium = Vorhof

Basalganglien = Stammganglien

Blastem = Keimstoff, Keimgewebe

Blastomere = erste Furchungszellen, die aus dem Produkt der Vereinigung von Ei- und Samenzelle (Zygote) entstehen

Chorion = mittlere Eihaut

Corona radiata = Zellschicht, die das junge menschliche Ei strahlenförmig umgibt

Corpus luteum = Gelbkörper, der im Ovar nach der Ovulation entsteht

Dermatom = Hautabschnitt

Dextrokardie = Verlagerung des Herzens nach der rechten Thoraxseite

Dezidua = die nach Eintreten der Schwangerschaft weiter entwickelte Funktionalis des Endometriums

Dimorphismus = die zweigeschlechtliche Anlage des Embryos

Divertikel = Ausstülpung umschriebener Wandteile eines Hohlorgans

Dottersack = Nabelbläschen, nur im zweiten Embryonalmonat deutlich nachweisbar

Ductus arteriosus = **Ductus arteriosus Botalli** = beim Embryo vorhandene Verbindung zwischen Aorta und Pulmonalarterie

Duodenum = Zwölffingerdarm

Duplikation = ein Chromosomenabschnitt ist doppelt vorhanden

Ektoderm = äußeres Keimblatt

Endokard = innerste Herzwandschicht

Endokardkissen = Wucherung des Endokards an den Engen des Herzschlauches, aus denen im Laufe der Embryonalentwicklung die Herzklappen hervorgehen

Entoderm = inneres Keimblatt

Expiration = Ausatmung

Fibrin = Bestandteil des Blutes, das bei der Blutgerinnung entsteht

Follikel = Schlauch, Bläschen

Foramen ovale = am Herzen ovale Öffnung der Vorhofscheidewand, die sich normalerweise durch Verklebung nach der Geburt schließt

Fusion = Verschmelzung

Glandula = Drüse

Glomerulus = Kapillarknäuel in der Nierenrinde

Gonaden = Geschlechtsdrüsen

Hämatopoese = Blutbildung

Hydramnion = abnorm vermehrte Fruchtwassermenge

Hypophyse = Hirnanhangsdrüse

Hypothalamus = Teil des Zwischenhirns

Ikterus = Gelbsucht

Immunglobuline = monoklonale Antikörper

Infarzierung = durch höchstgradige Blutstauung entstandene Hyperämie

Inspiration = Einatmung

Intervillöser Raum = mit mütterlichem Blut gefüllte Räume zwischen den Chorionzotten der Plazenta

Kloake = Entwicklungsstadium, in dem Darm und Urogenitalkanal in einen gemeinsamen Endkanal münden

Komplement = Gesamtheit bestimmter im Serum vorkommender Proteine

Konus = Kegel

Korium = Lederhaut

Kotyledon = Lappen der Plazenta

Lanugobehaarung = Behaarung der Frucht in der zweiten Hälfte der Schwangerschaft

Larynx = kranialer Teil der Luftröhre

Mandibula = Unterkiefer

Mekonium = schwärzlich grünlicher Stuhl, der normalerweise nach der Geburt abgesetzt wird

Mesoderm = mittlere Keimblatt

Mitralklappe = Klappe im Herzen zwischen linkem Vorhof und Kammer

Myoblasten = Bildungszellen für Muskelfasern

Myokard = muskuläre Wand des Herzens

Myotom = Anlage der segmentalen Rumpfmuskulatur

Nephron = kleinste funktionelle Einheit der Niere

Neuroglia = ektodermales Stützgewebe des Zentralnervensystems

Neuron = Nervenzelle mit allen ihren Fortsetzen

Oogonien = Ureier, die Anzahl beträgt etwa 400 000 bei der Geburt

Ösophagusatresie = Verschluss der Speiseröhre

Ossifikation = Verknöcherung

Pankreas = Bauchspeicheldrüse

Parathyroideae = Nebenschilddrüse

Perikaryon = das um den Zellkern gelegene Zytoplasma der Nervenzelle

Perinatalperiode = Zeitraum zwischen dem Ende der 28. SSW und dem 7. Lebensstag

persistierend = anhaltend, dauernd

Plazenta = Mutterkuchen, Nachgeburt

Proliferation = Wucherung

Ramus = Ast, Zweig

Segelklappe = Klappe zwischen Vorhof und Kammer

Sertoli-Zellen = Stützzellen des Samenepithels, die breitbasig der Basalmembran der Hodenkanälchen aufsitzen

Shunt = Kurzschlussverbindung von Blutgefäßen

Sinusknoten = Schrittmacher des Herzens

Sklerotome = aus den Ursegmenten hervorgehende Anlagen der Wirbelsäule

Skrotum = Hodensack

Spina bifida = Sammelbegriff für alle angeborenen Spaltbildungen im hinteren oder vorderen Teil der Wirbelsäule, meist dorsal im Lumbal- oder Sakralbereich

Stenose = Einengung von Hohlorganen oder Gefäßen

Surfactant = Anti-Atelektase-Faktor, kleidet Oberfläche der Lungenalveolen aus

Synzytium = Zellverband, der durch Verschmelzung von Einzelzellen entstanden ist

Testosteron = Androgen, das für die Entwicklung des männlichen Individuums von großer Bedeutung ist

Trachea = Luftröhre

tracheoösophagele Fistel = Verbindung zwischen Luft- und Speiseröhre

Transkription = Synthese von RNA

Transposition = Umstellung

Transsudat = nicht entzündlicher Erguss in Körperhöhlen

Trikuspidalklappe = Herzklappe

Trisomie 21 = Down Syndrom; numerische autosomale Chromosomenaberration

Vaskulogenese = Gefäßbildung

Ventrikel = Kammer

Vestibulum = Vorhof

Zervix = Gebärmutterhals

Zilien = Wimpern

Zölon = primäre embryonale Leibeshöhle