

Diplomarbeit

**Optimierung der cranialen
Computertomographie für den
kindermedizinischen Einsatz**

eingereicht von

Johanna Wilhelmer

Mat.Nr.: 0312589

Zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Radiologie

Klinische Abteilung für Kinderradiologie

unter der Anleitung von

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Erich Sorantin

AssProf.Dr. Doris Zebedin, OA Dr. Peter Brader

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Johanna Wilhelmer, geboren am 5.Mai.1983, versichere durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere auch, dass ich keine andere als die angegebene Literatur verwendet habe. Diese Versicherung bezieht sich auch auf alle in der Arbeit enthaltenen Bilder, Skizzen, Zeichnungen, Tabellen und dergleichen. Die ethische Zulassung der Studie erfolgt durch das Ethikvotum mit der EK-Nummer 23-463 ex 10/11 ausgestellt von der Ethikkommission der medizinischen Universität Graz.

Klagenfurt, 28. Juli.2011

Hinweis:

In dieser Arbeit wird das generische Maskulinum, das gleichermaßen männliche und weibliche Personen umfasst, gebraucht um das Lesen der Arbeit zu erleichtern. Diese Schreibweise beruht allein auf praktischen und nicht auf inhaltsbezogenen Erwägungen.

Danksagung

Ich möchte mich hiermit vor allem bei den Personen bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt haben.

Allem voran möchte ich meinen Eltern, Hermann und Michaela Wilhelmer, danken, die mir das Studium ermöglichten und die mir immer unter die Arme griffen wenn ich Hilfe brauchte. Mein Vater stand mir immer mit seinem Wissen zur Seite und meine Mutter half mir mütterlich wie freundschaftlich.

Auch meinen Schwestern, Marlene und Isabella Wilhelmer, möchte ich danken. Sie standen mir während meiner Studienzeit immer zur Seite.

Ganz besonders möchte ich auch meinem Hauptbetreuer Ao.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Erich Sorantin danken, der mich während der Erstellung meiner Diplomarbeit sehr gut betreute und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Ein ganz besonderer Dank gilt ihm für die Zeit, die er in meine Arbeit investiert hat und für die vielen fachlichen Informationen die ich von ihm erhalten habe.

Es war mir durch diese Arbeit möglich mein Interesse an dem Fach der Kinderradiologie zu vertiefen.

Ich möchte auch meinen Zweitbetreuern, AssProf.Dr. Doris Zebedin und OA Dr. Peter Brader für ihre Unterstützung danken.

Zusammenfassung

Einleitung:

Die Computertomographie stellt in der heutigen Radiologie ein nicht mehr wegzudenkendes Verfahren für die Diagnostik und Therapie dar. Da es bei jeder durchgeführten Untersuchung zur Strahlenbelastung des Patienten kommt, gilt es die Wahl der Dosis der ionisierenden Strahlung zu optimieren.

Besonders in der Kindermedizin muss auf den bestmöglichen Strahlenschutz geachtet werden. Kinder müssen als solche in ihrer Ganzheit behandelt und angenommen werden und dürfen nicht als kleine Erwachsene gelten.

Die Anatomie des kindlichen Schädels unterscheidet sich von dem des Erwachsenen. Durch eine craniale Computertomographie-Untersuchung bei Kindern wird im Gegensatz zum Erwachsenen bis zu einem Drittel des gesamten Körpers bestrahlt. Indikationen der Computertomographie für den kindermedizinischen Einsatz sind, auf das Individuum abgestimmt, genauestens zu prüfen.

Das Funktionsprinzip der Computertomographie ist komplex und in stetiger Entwicklung. Es handelt sich um ein Schichtbildverfahren, welches mittels Grauwertdarstellung anatomische Strukturen erkennen und beurteilen lässt.

Material und Methoden:

Es handelt sich um eine retrospektive Datenanalyse von 147 kindermedizinischen, cranialen Computertomographie-Untersuchungen der klinischen Abteilung für Kinderradiologie am LKH-Universitätsklinikum Graz im Zeitraum vom Jahr 1989 - 2009.

Die Dichte der kindlichen Schädelknochen wurde punktuell gemessen und mit den unterschiedlichen Alterstufen der Kinder korreliert.

Ergebnisse:

Die Dichtewerte zeigten unterschiedliche Verhältnisse bezogen auf die Altersgruppen. Nicht jede ausgemessene Struktur zeigte eine kontinuierliche Entwicklung der Schädelknochendichte; ursächlich könnte die Pneumatisierung der Knochen in Betracht gezogen werden.

Abstract

Introduction:

Today the computertomography is a very important part of the departments of radiology and it is indispensable for diagnosis and therapy. Every computerized tomogram causes exposure to radiation. That is why radiological protection is so important. To choose the right dose is the mean part of it.

Particularly the children have to be protected from unnecessary radiation exposure. Children are no small adults and they have to be treated as such.

The anatomy of children is different compared to the anatomy of adults. Especially the child's skull is big in comparison to the rest of the body. With a cranial computertomography you irradiate up to one third of the child's body. That's the reason why every indication of such an examination has to be checked exactly.

The principle of the computed tomography is complex and in continuing development. You can image very thin multiple slices of the human body. The images are generated by displaying different shades of grey.

Material and Methods:

It is a retrospective study containing the analysis of 147 computed tomograms of children's heads at the department of child-radiology. The examinations took place in the years 1989 to 2009.

The density of the children's skull bones was measured at different points and was correlated with the different groups of age.

Results:

The measured density showed variabilities in relation to the groups of age. Not every part of the skull bones is developing its density continuously. The pneumatization can be seen as a reason.

Inhalt

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Zusammenfassung	III
Abstract	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	IX
Einleitung	1
Arbeitshypothese	1
Erwachsene vs. Kinder	1
Anatomie	2
Der kindliche Schädel	4
Neurokranium	4
Viszerokranium	7
Strahlensensibilität	7
Die Computertomographie	9
Funktionsprinzip der Computertomographie	11
Hounsfield-Skala	12
Fensterung	13
Strahlenbelastung, Einflussfaktoren auf Dosis	14
Einflussgrößen	15
Dosisprotokolle	17
Stoever und Rogalla	17
Society of Pediatric Radiology	17
Dosismessgrößen	18
CTDI – Computed Tomography Dose Index	18
DLP – Dosis-Längen-Produkt	18
Referenzdosis für die Computertomographie bei Kindern	19
Arten der Computertomographie	19
Single-Slice-Sequence-CT	19

Single-Slice-Spiral-CT	20
Multi-Slice-Spiral-CT	20
Kinder im CT	21
Strahlenschutz.....	23
Strahlenexposition und ihre möglichen Schäden.....	24
Krankheitsbilder bei Strahlenschäden.....	24
Akuter Strahlenschaden nach Ganzkörperbestrahlung	24
Akuter lokaler Strahlenschaden nach Teilkörperbestrahlung.....	25
Spätschäden ionisierender Strahlung	25
Maßnahmen zum Strahlenschutz.....	25
Material und Methoden.....	28
Ergebnisse	31
Allgemeine Ergebnisse	31
Tauglich vs Untauglich.....	31
Einteilung der Patienten in Altersgruppen.....	32
Dichteverhältnisse des kindlichen Schädels im Bezug auf das Kindesalter	35
Schädelkalotte	37
Os frontale / Os occipitale.....	37
Os sphenoidale	41
Os parietale: Zwei Schichten über Pyramide	45
Belüftetes Mastoid.....	48
Knöchernes Mastoid	52
Diskussion	55
Zusammenfassung.....	57
Literaturverzeichnis	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Körperproportionen.....	5
Abbildung 2: kindlicher Schädel.....	8
Abbildung 3: Computertomographiegerät.....	12
Abbildung 4: Funktionsprinzip der Computertomographie.....	13
Abbildung 5: Hounsfield-Skala.....	15
Abbildung 6: Fensterung in der Computertomographie.....	16
Abbildung 7: Unterschied: Sequence-CT und Spira-CT.....	23
Abbildung 8: Tauglich versus Untauglich.....	33
Abbildung 9: Altersverteilung aller Patienten.....	35
Abbildung 10: Altersverteilung der unter 3-Jährigen.....	36
Abbildung 11: Knochendichte der Schädelkalotte.....	39
Abbildung 12: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os frontale.....	41
Abbildung 13: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os occipitale.....	42
Abbildung 14: Knochendichte des Os sphenoidale.....	43
Abbildung 15: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os sphenoidale.....	45
Abbildung 16: Knochendichte des Os parietale.....	47
Abbildung 17: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os parietale.....	49
Abbildung 18: Knochendichte des belüfteten Mastoids.....	50
Abbildung 19: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des belüfteten Mastoids...	52
Abbildung 20: Knochendichte des knöchernen Mastoids.....	54
Abbildung 21: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des knöchernen Mastoids	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Indikationen für die Computertomographie.....	11
Tabelle 2: Einflussgrößen der Patientendosis.....	19
Tabelle 3: SPR Reduktionsfaktoren für die craniale CT.....	20
Tabelle 4: Dosisreferenzwerte für die craniale CT.....	21
Tabelle 5: Dichtewerte der Schädelkalotte.....	40
Tabelle 6: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os frontale.....	40
Tabelle 7: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os occipitale.....	42
Tabelle 8: Dichtewerte des Os sphenoidale.....	44
Tabelle 9: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os sphenoidale.....	46
Tabelle 10: Dichtewerte des Os parietale.....	48
Tabelle 11: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os parietale.....	49
Tabelle 12: Dichtewerte des belüfteten Mastoids.....	51
Tabelle 13: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des belüfteten Mastoids.....	53
Tabelle 14: Dichtewerte des knöchernen Mastoids.....	55
Tabelle 15: Minimal- und Maximalwerte der Dichte des knöchernen Mastoids.....	56

Einleitung

Die Computertomographie stellt in der heutigen Medizin für die Erwachsenenheilkunde aber auch in der Kindermedizin bereits ein unabdingbares diagnostisch radiologisches Verfahren dar. Durch die Schnittbildaufnahmen und die mögliche Applikation von Kontrastmittel zur Beurteilung von Organperfusion und Strömungsverhältnissen können rasch Diagnosen gestellt und therapeutische Maßnahmen getroffen werden. (1)

Durch die stete Weiterentwicklung und den ständigen technischen Fortschritt radiologischer Untersuchungsmöglichkeiten nehmen die Untersuchungszahlen in den letzten Jahren stetig zu und damit verbunden kommt es auch zur ständigen Erhöhung der Strahlenbelastung der Patienten. Besonders im kindermedizinischen Bereich muss aus diesem Grund auf den Strahlenschutz geachtet werden. Kinder unterscheiden sich von Erwachsenen nicht nur in ihrer Anatomie sondern auch ihre Psychologie, der Körperaufbau und die kindliche Physiologie sind betroffen. Kurz:

KINDER SIND KEINEN KLEINEN ERWACHSENEN (2)

Arbeitshypothese

„Die Knochendichte des kindlichen Schädels nimmt im Laufe der Entwicklung zu“

Erwachsene vs. Kinder

Kinder dürfen nicht wie Erwachsene behandelt und es muss Rücksicht auf Unterschiede in der Anatomie, der Psychologie und der Physiologie genommen werden. Kinder unterscheiden sich in ihrem ganzen Wesen von dem eines Erwachsenen und sollten auch dementsprechende Betreuung erhalten. Folgend wird auf die kindliche Anatomie genauer eingegangen.

Anatomie

Die Körperproportionen und die Verhältnisse der einzelnen Körperregionen zueinander sind im Vergleich zu einem ausgewachsenen Menschen anders verteilt. So nimmt der Kopf eines Neugeborenen ungefähr ein Viertel der gesamten Körperlänge ein, wobei der Kopf im Erwachsenenalter nur mehr ein Achtel des gesamten Körpers darstellt (siehe Abb. 1). (1) Das Verhältnis vom kindlichen Kopf zum Rest des Körpers ist umso größer, je jünger das Kind ist. Kommen Kinder zu Sturz, fallen sie meist auf den Kopf wodurch es zu schweren Schädelverletzungen kommen kann. Auch Verletzungen der oberen Halswirbelsäule können auf das große Gewicht des kindlichen Schädels und die Instabilität der Nackenmuskulatur zurückgeführt werden. Säuglingen ist es in den ersten Monaten nicht möglich ihren Kopf selbst zu stabilisieren und zu halten. Erst mit der Zeit kräftigen sich die Hals- und Nackenmuskeln ausreichend und die Kinder sind in der Lage ihren Kopf zu kontrollieren.

Durch die Instabilität des Halswirbelsäulenbereichs ist daher beim kindlichen Schädelhirntrauma darauf zu achten, dass bei radiologischen Untersuchungen immer alle Strukturen bis zum 4. Halswirbel miterfasst werden um eventuelle Verletzungen in diesem Bereich auszuschließen. (2)

Während des kindlichen Wachstums kommt es immer wieder zu Verschiebungen der Körperproportionen: Im ersten Lebensjahr wächst ein Kind um 50 %, verdreifacht aber sein Körpergewicht und verdoppelt damit gleichzeitig seine Körperoberfläche. Diese Veränderungen können bei Kindern zu Irritationen bezüglich der eigenen Körperwahrnehmung und ihrer Koordination führen. Man fällt sprichwörtlich über die eigenen Füße. Durch diese Umstände lassen sich wieder die oft typischen Verletzungen im Kindesalter erklären. (2)

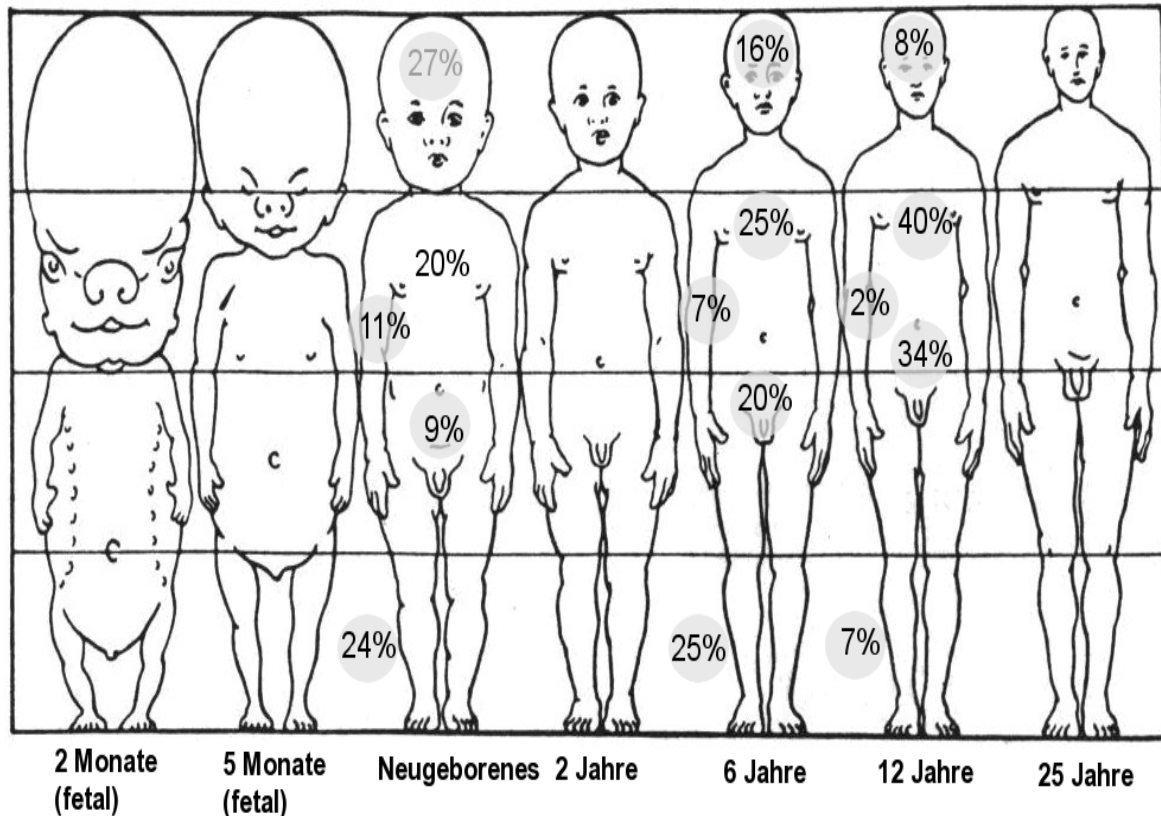


Abb. 1: Diese schematische Darstellung zeigt die unterschiedlichen Verhältnisse der Körperregionen zueinander, vom Kind zum Erwachsenen. Der im Verhältnis große Kopf der Kinder ist gut zu erkennen. Die Prozentzahlen geben die relative Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Körperregionen an. (2)

Aber nicht nur die Körperproportionen sondern auch die Dichteunterschiede der verschiedenen Organe sind vom Lebensalter abhängig. Knochen bestehen noch zu einem großen Teil aus Knorpel und die Extremitätenknochen enthalten noch blutbildendes Knochenmark. (1) 27% des roten Marks befinden sich beim Neugeborenen im Schädelknochen und sind bei radiologischen Schädel-Untersuchungen ionisierender Strahlung ausgesetzt. (1)

Der kindliche Schädel

Der Schädel lässt sich in ein Neurokranium und ein Viszerokranium einteilen. Das Neurokranium stellt den Schutz für das menschliche Gehirn dar, wohingegen das Viszerokranium den Gesichtsschädel umfaßt.

Der Schädel eines Kindes entwickelt sich in der Embryonalzeit aus dem Mesoderm und der Neuralleiste. Die Neuralleiste ist wesentlich an der Bildung des Schädeldaches, der Schädelbasis und der Gesichtsknochen beteiligt. Die Entwicklung des Schädels findet seinen Höhepunkt in den ersten beiden Lebensjahren. Bis zum ca. 7. Lebensjahr sollte das Schädelwachstum beendet sein. (3)

Der Kopf eines Neugeborenen ist verhältnismäßig größer zum Rest des Körpers als der Kopf eines Erwachsenen. Beim Neugeborenen stellt der Schädel ca. $\frac{1}{4}$ der gesamten Körperlänge dar, wobei beim Erwachsenen der Kopf nur mehr $\frac{1}{8}$ der Körperlänge ausmacht. (1)

Knochen im Allgemeinen können im Wesentlichen auf zwei Arten entstehen: Einerseits durch desmale Ossifikation. Davon spricht man, wenn Knochen direkt aus mesenchymalem Bindegewebe entsteht. Andererseits kann Knochen durch die enchondrale Ossifikation entstehen; wenn zuerst hyaliner Knorpel angelegt und dann zu Knochen umgewandelt wird.

Neurokranium

Das Neurokranium ist durch die schnelle Entwicklung des kindlichen Gehirns um einiges größer als das Viszerokranium.

Das Neurokranium des kindlichen Schädels kann eingeteilt werden in ein desmales Neurokranium und ein Chondrokranium. (3)

Chondrokranium: Aus ihm entsteht die Schädelbasis und Teile des Gesichtsschädels. Es kommt zu einer Verknöcherung, die von innen heraus entsteht (enchondral). (3)

Es kommt zu einer Vorbildung der Strukturen, wie Schädelbasis und Teile des Gesichtsschädels, aus hyalinem Knorpel und zum Entstehen von Knochenkernen durch chondrale Ossifikation, wobei Knorpel abgebaut und durch Knochensubstanz ersetzt wird. (1) Es wird zuerst hyaline Knorpelsubstanz gebildet, welche im Verlauf der Entwicklung zu Knochen umgewandelt wird. (3) Beim Neugeborenen besteht demnach die Schädelbasis zum größten Teil aus knorpeliger, hyaliner Substanz. Erst durch das Vergrößern der Knochenkerne, die sich innerhalb des Knorpels durch die oben erwähnte chondrale Ossifikation bilden, kommt es zu einem knöchernen Umbau der Strukturen. Zwischen den verknöchernenden Kernen bleiben aber noch längere Zeit Synchondrosen bestehen, welche Verbindungen aus hyalinem Knorpel zwischen den Knochen darstellen. Es ist wichtig sich vor Augen zu halten, dass knorpelige Strukturen auf einem konventionellen Röntgenbild nicht zu sehen sind. Es werden nur die bereits verknöcherten Strukturen, sprich die schon bestehenden Knochenkerne, abgebildet. (1)

Desmales Neurokranium: Die Deckknochen des Schädels, die dem menschlichen Gehirn den Schutz bieten, entstehen durch Ossifikation über Chondroblasten und Chondroklasten. Der Knochen entsteht direkt aus mesenchymalem Bindegewebe aus dem zuerst Osteoid, der sogenannte Vorknochen entsteht. Osteoid besteht aus kollagenen Fasern, Eiweiß und Schleimstoffen und wird von Osteoblasten sezerniert, die sich aus dem Mesenchym differenzieren. In weiterer Folge kommt es zur Entstehung von Knochenbälkchen, die sich strahlenförmig vom primären Ossifikationszentrum ausbreiten. Diese Bälkchen entstehen durch das Verkalken des Osteoids. Osteoblasten werden zu Osteozyten, Knochenzellen, und in den Knochenbälkchen eingeschlossen. Der Knochen wächst und die Schädelkapsel vergrößert sich in Folge durch den Aufbau von Knochen durch Osteoblasten und den Abbau desselben durch Osteoklasten. Osteoblasten arbeiten an der Oberfläche und Osteoklasten bauen von innen her den Knochen wieder ab wodurch es zum Schädelwachstum kommt. (3)

Durch die Entstehung des Knochens direkt aus dem Mesenchym, sprich aus Bindegewebe bestehen die Suturen, die Schädelnähte, aus Bindegewebe. Bei

Neugeborenen sind die noch breiten, bindegewebigen Nähte des Schädels, die sogenannten Fontanellen, gut tastbar. (1) Diese entstehen während der fetalen Entwicklung an den Orten wo mehr als zwei Knochen aufeinander treffen. Man unterscheidet eine große von einer kleinen Fontanelle. Die große Fontanelle wird anatomisch von den beiden Stirn- und Scheitelbeinen begrenzt und läuft von ventral nach dorsal. Die kleine Fontanelle entsteht durch das Aufeinandertreffen der beiden Scheitelbeine und dem Hinterhauptsbein.

Die Fontanellen bieten während der Geburt des Kindes den Schädelknochen die Möglichkeit sich übereinander zu schieben und damit den Kopfumfang zu verringern. Diese Tatsache stellt eine enorme Erleichterung des Geburtsvorgangs dar. Nach der Geburt, während der weiteren kindlichen Entwicklung, kommt es zum Schluss der Fontanellen durch Verknöcherung. Die große Fontanelle schließt sich innerhalb des 2. Lebensjahres und die kleine Fontanelle schließt sich bereits ungefähr drei Monate nach der Geburt. (3)

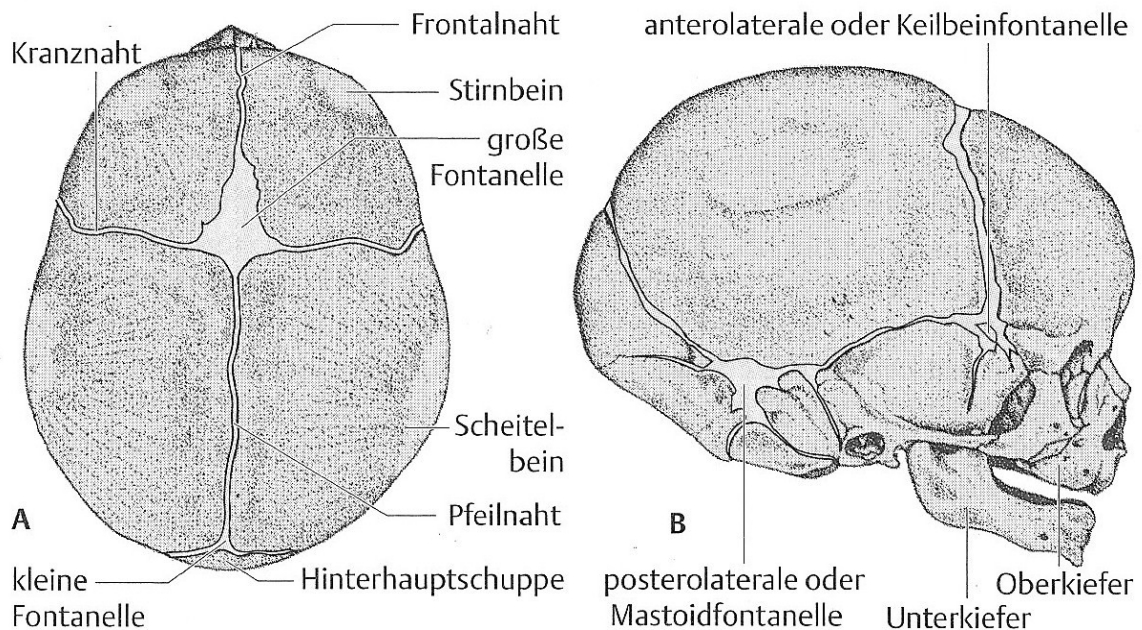


Abb. 2: A Ansicht von oben. B von lateral. Die Abbildung zeigt die Fontanellen des kindlichen Schädels. (3)

Viszerokranium

Der Gesichtsschädel entwickelt sich zum größten Teil aus den ersten beiden Schlundbögen. Zur Ausbildung der Schlundbögen kommt es in der ersten bis vierten Entwicklungswoche und sie bestehen aus mesenchymalem Gewebe welches durch tiefe Furchen geteilt ist. In jedem der vier Schlundbögen befinden sich eine nicht unbeträchtliche Zahl von Neuralleistenzellen die wesentlich zur Skelettbildung des Gesichtes beitragen. Aus dem mesenchymalen Bindegewebe entsteht unter anderem auch die Gesichtsmuskulatur.

Der erste Schlundbogen, der Mandibulabogen, bildet durch desmale Ossifikation den Unter- und Oberkiefer, Teile des Schläfenbeins und das Jochbein. Ebenfalls entsteht daraus die Kaumuskulatur.

Aus dem zweiten Schlundbogen, dem Hyoidbogen, entstehen Teile des Zungenbeins, des Schläfenbeins und die Gesichtsmuskulatur.

Strahlensensibilität

Ein weiterer Punkt, der in der kindermedizinischen Radiologie besonders beachtet werden muss ist die Strahlensensibilität der kindlichen Organe. Die Dosis sollte nach dem ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) gewählt werden. Dieses Prinzip besagt, dass die Dosis „so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar“ gewählt werden soll. (2)

Bei einer CT-Serie bei Kindern kann es durchaus zu einer Strahlenbelastung von bis zu 20mSv kommen. Daher kommt in der Kinderradiologie der optimalen Dosisanpassung und der Verwendung der geringst möglichen Dosis eine extrem große Bedeutung zu.

Die Indikationsstellung ionisierender Strahlenuntersuchungen in der Kindermedizin muss immer genauestens überprüft werden. Wirksamkeit und Nutzen müssen abgewogen werden. Die exakte Indikationsstellung stellt den Grundstock des Strahlenschutzes dar und führt primär zur Minimierung der Strahlenbelastung der Patienten. Alternative diagnostische Möglichkeiten müssen bedacht, die

therapeutische Relevanz der strahlenbelastenden Untersuchung geprüft und die Möglichkeiten einer kausalen Therapie erhoben werden. Alle diese Punkte sind absolut relevant und unabdingbar bei der Indikationsstellung für Untersuchungen mit ionisierender Strahlung. (1) Die nachfolgende Tabelle zeigt die absoluten und relativen Indikationen einer Computertomographie-Untersuchung bei Kindern auf:

Region	Absolut	Relativ
Muskulatur, Skelett	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trauma: v.a. komplexe Anatomie (Wirbelsäule, Becken, Schulter, Sprunggelenk) ▪ Komplexe ossäre Fehlbildung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ossäre Neoplasie (z.B. Osteoidosteom)
Thorax	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lungenparenchym: <ul style="list-style-type: none"> - Metastasen - Lungenerkrankung - Bronchiektasie - vor Lungentransplantation bei Mukoviszidose - Abszess ▪ Punktion/Drainage ▪ Schweres Thoraxtrauma ▪ Kardiovaskulär: <ul style="list-style-type: none"> - zentrale Thromben - Koronararterien - anstelle MRT - postoperative Blutung - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mediastinale Massenläsion von Thoraxwand und Pleura, ▪ z.B. Empyem, primäre/sekundäre Neoplasie ▪ virtuelle Bronchoskopie

Abdomen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trauma ▪ Komplexer Abszess 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neoplasie ▪ Pankreatitis ▪ Punktion/Drainage ▪ Urolithiasis
Schädel, Spinalkanal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Akutes Schädel-Hirn-Trauma ▪ Gesichtsschädel: <ul style="list-style-type: none"> - Fraktur - Fehlbildung ▪ Postoperative Frühkontrolle bei Hirntumor ▪ Intrakranielle Verkalkung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlauf eines drainierten Hydrozephalus ▪ Tumor mit Kalottenbeteiligung ▪ Diastematomyelie, ossärer Anteil ▪ Komplizierte Sinusitis

Tab. 1: Absolute und Relative Indikationen der Computertomographie im kindermedizinischen Einsatz. (1)

Die Computertomographie

„Computertomographie - Erkenntnis in Scheiben!“ (4)

Die CT-Untersuchung war die erste Untersuchung, die digitale, volumenrepräsentative Bilder von Einzelschichten hervorbrachte. Erst die moderne Computerentwicklung in den 60er Jahren machte eine Computertomographie praktisch möglich. 1972 wurde im Atkinson Marley's Hospital in London die erste computertomographische Untersuchung erfolgreich durchgeführt. Es kam in Folge zur Installation tausender Geräte, vor allem Schädelscannern. In den 80er Jahren kam es zu einem Entwicklungsstillstand im Bereich der Computertomographie. Keine weiteren technischen Durchbrüche

gelangen. Erst mit der Einführung des Spiral-CT in den 90er Jahren kam es zu einer neuerlichen Weiterentwicklung im Bereich der Radiologie. (4)



Abb. 3: Computertomographie-Gerät (10)

Vor der Einführung der Computertomographie gab es die konventionelle Radiologie als radiologisches Diagnoseverfahren. Konventionelle Röntgenbilder zeigen aber bis heute „nur“ Bilder ganzer Körperabschnitte auf denen sich sämtliche Strukturen überlagert darstellen. Die Beurteilung einzelner Organe ist nur begrenzt möglich. Die Grenzen der konventionellen Radiologie sind eng gesteckt; ein mit Luft oder Stuhl gefüllter Darm kann zum Beispiel bei einer Irrigoskopie, eine Kontrastmittel-Untersuchung des Darms, die Diagnose beziehungsweise die Beurteilungsmöglichkeiten einschränken. Die Erfindung der Computertomographie hat also das Fach Radiologie bereichert. Durch die Abbildung einzelner, sehr dünner Körperschichten steigt die Beurteilbarkeit der Organe enorm an.

Mittlerweile gibt es einige weitere Schichtbildverfahren, wie zum Beispiel die Magnetresonanztomographie oder die Positronen-Emissionstomographie. Jedoch kann und soll die CT-Untersuchung durch diese Verfahren nicht ersetzt sondern ergänzt werden. (4)

Funktionsprinzip der Computertomographie

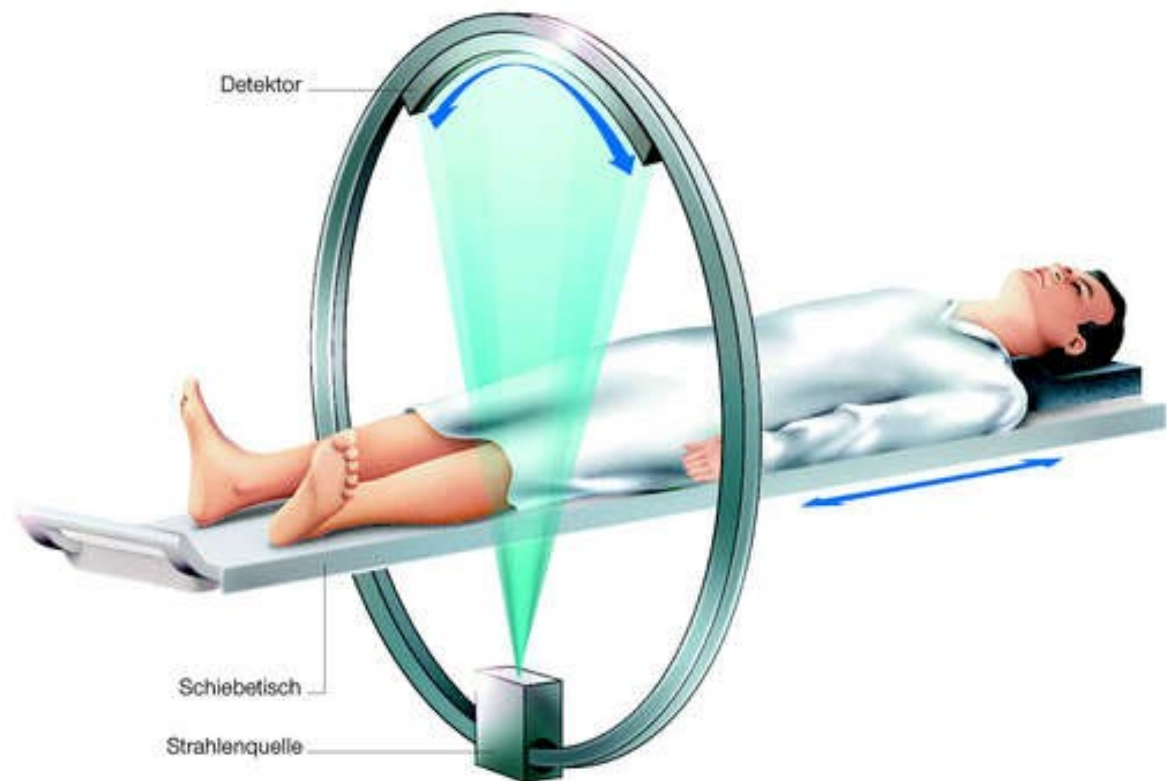


Abb. 4: Vereinfachte Darstellung einer Computertomographie-Untersuchung. Die wichtigsten Elemente sind die Strahlenquelle, die ionisierende Strahlung aussendet, der Detektor, der die Strahlung die durch das Objekt durchgedrungen ist misst, und der Untersuchungstisch, auf dem das zu untersuchende Objekt liegt. (11)

Das Funktionsprinzip der Computertomographie liegt in der Messung der Dosisabschwächung, die durch die Differenz zwischen Primärintensität der Röntgenstrahlung und der Intensität der Strahlung, die nach dem Durchtritt durch das abzubildende Objekt gemessen wird, berechnet wird. Durch die Messung über 360° wird dieser Schwächungskoeffizient aus allen Richtungen bestimmt und

damit ein digitales Bild ermittelt. Die 360° Messung wird durch eine um den Patienten rotierende Röntgenröhre mit ihren dazugehörigen Detektoren gewährleistet. (4) Die Abschwächung der ionisierenden Strahlung wird durch einen Detektor aufgezeichnet und an einen Computer weitergeleitet, der diese elektronisch aufarbeitet und die unterschiedlichen Schwächungskoeffizienten in Grauwerten darstellt. Vereinfacht ausgedrückt werden Grauwerte dargestellt indem Dichte eine Farbe bekommt. (5)

Hounsfield-Skala

Die Grauwerte beziehen sich auf die sogenannte Hounsfield-Skala. Der britische Elektrotechniker Sir G. Hounsfield, auf den die Skala zurückzuführen ist, entwickelte in den sechziger Jahren den ersten CT-Prototypen. Auf dieser Skala werden die unterschiedlichen Dichtewerte der Organe oder Körperstrukturen, die ursächlich für die Abschwächung der Strahlungsintensität sind, in Zahlen dargestellt. (5) Die Schwächungskoeffizienten werden anatomischen Strukturen oder Pathologien zugeordnet und erhalten einen bestimmten Grauwert. (6) Die wichtigsten Bezugsparameter sind Luft mit -1024, Wasser mit 0 und Metall mit mehreren 1000. (5) Die Skala besteht also wie ein Thermometer aus einem positiven und einem negativen Bereich, welche sich von +3071 bis -1024 erstrecken. Strukturen und Gewebe mit hoher Dichte und damit großer Strahlenabsorption, wie zum Beispiel Knochen, Kalk, frische Blutungen spiegeln sich auf der Hounsfield-Skala im positiven Bereich wieder. Wohingegen Gewebe mit geringer Strahlenabsorption und damit geringer Dichte, zum Beispiel Fettgewebe oder Lungengewebe, vom negativen Bereich der Skala repräsentiert werden (siehe Abb. 5).

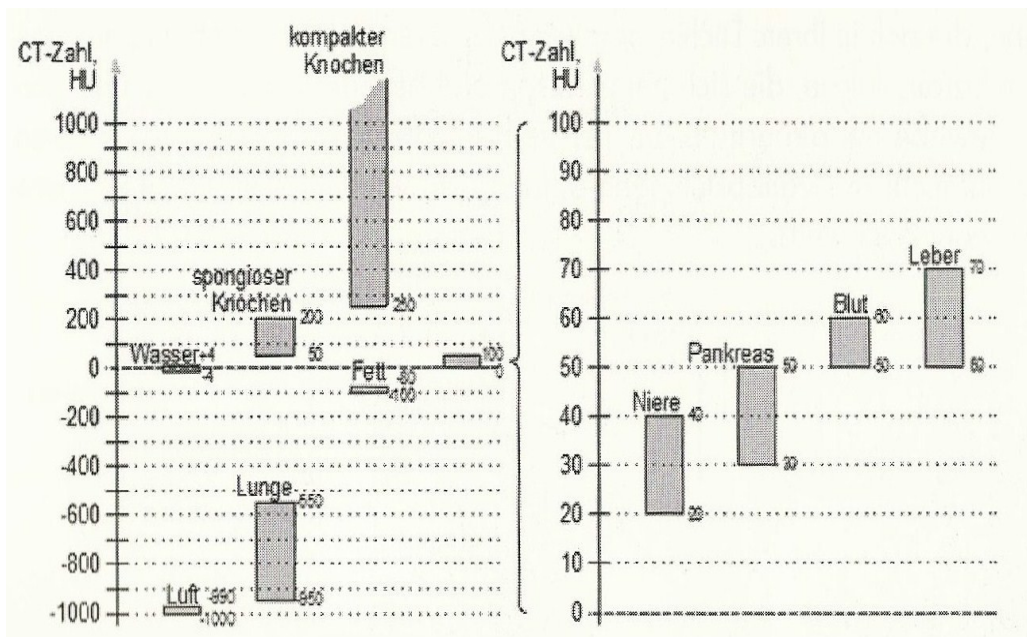


Abb. 5: Hounsfieldskala: Zeigt Dichtewerte unterschiedlicher Gewebe (6)

Fensterung

Die Hounsfield-Skala stellt die Basis für die Fensterung von CT-Bildern dar. Das menschliche Auge ist nur in der Lage 20 bis 60 Graustufen voneinander zu unterscheiden. Durch das Fensterung können verschiedene Strukturen besser sichtbar gemacht oder für die momentane Bildbetrachtung nebensächliche Strukturen ausgeblendet werden. Kontrast und Helligkeit können über die Anpassung der Grauwertdarstellung der aktuellen Fragestellung angepasst werden (siehe Abb. 6). (6)

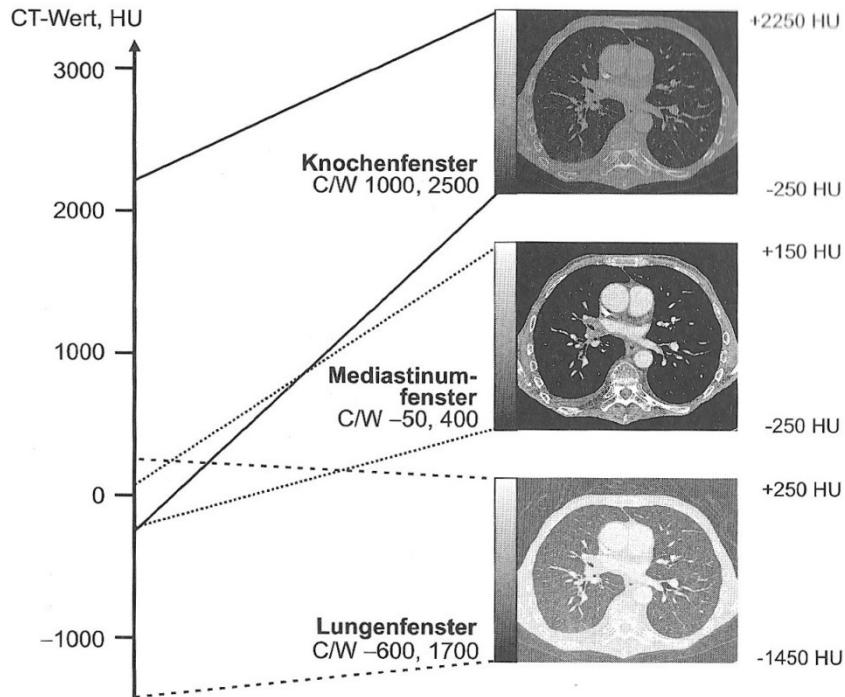


Abb. 6: Fensterung bei der Darstellung von CT-Bildern. Der jeweils diagnostisch relevante Wertebereich der Hounsfield-Skala wird durch Wahl von Zentrum und Weite (C/W - center/width) des Fensters festgelegt. Der ausgewählte Bereich kommt auf dem CT-Bild zur Darstellung. (4)

Strahlenbelastung, Einflussfaktoren auf Dosis

Durch die Verwendung von ionisierender Strahlung bei einer CT-Untersuchung ergibt sich eine Strahlenbelastung des zu untersuchenden Patienten. (4) Als Grundsatz sollte daher wie bereits erwähnt das ALARA-Prinzip (**A**s **L**ow **A**s **R**easonable **A**chievable) an oberste Stelle stehen.

Die Dosis ist von verschiedenen Parametern, wie den Eigenschaften des CT-Gerätes und den gewählten Untersuchungsparametern abhängig. Hier spielt die Größe des Patienten oder der zu untersuchenden Region eine wichtige Rolle. (4) Prinzipiell wird das Ausmaß der Dosis von den selben Faktoren beeinflusst welche auch die Bildqualität beeinflussen. Mehr Qualität der Bilder geht immer einher mit höheren Dosen. Je mehr Strahlung die Detektoren erreicht, desto besser die Qualität der Bilder, aber desto größer die Strahlenbelastung des Patienten. Die

Bilder sollten nicht so schön wie möglich, sondern so schön wie nötig sein. Ein Kompromiss muss zwischen guter Bildqualität und Dosis geschlossen werden. (6)

Scanparameter wie der Röhrenstrom (in mA) oder auch die Rotationszeit, die Zeit in der sich die Röntgenröhre um das abzubildende Objekt dreht, haben Einfluss auf die Dosis. Beide Parameter verhalten sich linear zur Dosis, das heißt, höherer Röhrenstrom und/oder längere Rotationszeiten bringen eine höhere Dosis und damit Strahlenbelastung für den Patienten mit sich. Ein Beispiel für die Erhöhung des Röhrenstroms ist die Minimierung der Schichtdicke. Wird die Dicke der abzubildenden Schicht halbiert, zum Beispiel von 3 mm auf 1,5 mm, müssen zur Erhaltung der gleichen Bildqualität die mA verdoppelt werden. Wird der Strom bei Verringerung der Schichtdicke nicht angepasst kommt es zur Verschlechterung der Bildqualität. Es kommt zu vermehrtem Rauschen. Das Rauschen („Signal to Noise Ratio“) ist ein wichtiger Parameter für die Bildqualität und verhält sich verkehrt proportional, nicht linear zum Röhrenstrom, zur Rotationszeit und zur Schichtdicke.

Auch die Röhrenspannung nimmt Einfluss auf die Dosis. Senkt man die Spannung der Röntgenröhre so verringert sich die Dosis und nebenbei erhöht sich der Kontrast der Bilder. (2)

Folgend werden die Einflussgrößen der Dosis etwas genauer erläutert:

Einflussgrößen

⇒ mAs – Strom-Zeit-Produkt

Doppelte mAs bedeuten doppelte Dosis. Die Dosis erhöht sich linear mit dem Strom-Zeit-Produkt.

⇒ kV – Spannung

Die Röhrenspannung bestimmt die „Härte“ der Strahlung. Durch die Erhöhung der Spannung lässt sich die mA-Anzahl und damit verbunden auch die Dosis verringern. Werden die mAs bei erhöhter Spannung nicht

herabgesetzt kommt es zu Anstieg der Dosis. Die Dosis verhält sich quadratisch zur Spannungserhöhung.

⇒ Objektstärke

Das Volumen des Patienten hat einen wichtigen Einfluss auf die Dosis, die auf den Patienten während der CT-Untersuchung einwirkt. Es handelt sich um einen unveränderbaren Parameter. Nimmt der Patientendurchmesser um 4 cm zu, muss die Dosis verdoppelt werden. (6)

⇒ Pitch-Faktor

„Pitch = Tischbewegung (mm) / (Anzahl der Zeilen x Zeilenbreite) pro Rotation“ (2)

Bei Pitchwerten zwischen 1 und 1,5 kann die Dosis um ein Drittel gesenkt werden. Bei Werten von 2 ist es möglich die Dosis um die Hälfte zu senken. (2)

Die folgende Tabelle zeigt noch einmal eine Zusammenfassung der Einflussgrößen:

Parameter	Einflussnahme auf die Dosis
Hochspannung	kV-Werte sollten an den Patientendurchmesser und die diagnostische Fragestellung angepasst werden; die Dosis verhält sich quadratisch zu den kV-Werten
Filter	höhere Filterung ist vorteilhaft
Röhrenstrom	linearer Anstieg der Dosis mit dem mA-Wert
Rotationszeit	linearer Anstieg der Dosis mit der Rotationszeit

Schichtdicke S	annähernd linearer Anstieg der Dosis mit S (gilt nur für Aufnahme einzelner Schichten)
Aufnahmevolumen V	annähernd linearer Anstieg der Dosis mit V

Tab. 2: Zusammenfassung der Einflussgrößen auf die Patientendosis (4)

Dosisprotokolle

Stoever und Rogalla

Es gibt zur optimalen Dosiseinstellung an CT-Geräten verschiedene Vorschläge. Stoever und Rogalla haben mit folgender Formel einen Vorschlag zur Anpassung des Röhrenstroms gemacht:

$$\text{mAs} = (\text{Gewicht in kg} + 5) \times f$$

Faktor f: Thorax = 1, Abdomen/Becken = 1,5, Schädel = 2-5

Diese Rechnung ergibt sich aus der Erfahrung, dass man für eine Computertomographie-Untersuchung des Abdomens ungefähr die 1,5-fache Dosis einer Thorax-Computertomographie-Untersuchung benötigt. Die Röhrenspannung bleibt unberücksichtigt.

Society of Pediatric Radiology

Die SPR, die „Society of Pediatric Radiology“, geht von einer perfekt adaptierten CT-Untersuchung eines Erwachsenen aus und berechnet die Dosis für die Kindermedizin durch Reduktionsfaktoren. Die Angaben beziehen sich jedoch nur auf eine Röhrenspannung von 120 kV.

Ap-Dicke (cm)	~ Alter	mAs Reduktionsfaktor
12	Neugeborenes	0,74
16	1 Jahr	0,86
17	5 Jahre	0,93
19	Normaler Erwachsener	Referenzwert

Tab.3: SPR Reduktionsfaktoren für Schädel – alle Angaben für 120 kV (2)

Dosismessgrößen

CTDI – Computed Tomography Dose Index

Der CTDI gibt die Dosis in einer einzelnen Schicht an, der Index stellt also eine Leitgröße der lokalen Dosis dar. Zur Messung des CTDI wird ein Plexiglasphantom herangezogen, welches Öffnungen für Stabionisationskammern besitzt, welche die Dosis messen können.

Die Maßeinheit des CTDI ist das mGy (Milli-Gray).

DLP – Dosis-Längen-Produkt

Das DLP errechnet sich aus dem CTDI multipliziert mit der Länge des Untersuchungsvolumens. Es werden im DLP sowohl die Anzahl der Schichten, die Schichtdicke als auch der Pitch berücksichtigt. Dies macht deutlich, dass das Dosis-Längen-Produkt ein Maß für die gesamte Strahlenexposition ist.

Referenzdosis für die Computertomographie bei Kindern

CT-Untersuchung	Alter (in Monaten)	Dosis-Längen-Produkt
Schädel	0	300
	12	400
	60	600
	120	750
	180	900

Tab. 4: Dosis-Referenzwerte für die pädiatrische Schädel-CT. Die Werte stellen keine Grenzwerte für individuelle Patientenuntersuchungen dar. (7)

Arten der Computertomographie

Single-Slice-Sequence-CT

Wenn von der Single-Slice-Sequence-Computertomographie gesprochen wird handelt es sich um die konventionelle Computertomographie. Es waren die ersten CT-Geräte die zur Verfügung standen. Lange Untersuchungszeiten und aufwändige Untersuchungsdurchführungen charakterisieren diese Art von Computertomographie. Es werden einzelne Schichten planar aufgenommen wobei die Schichtdicke manuell bestimmt werden muss. (siehe Abb. 7) Der Verlauf Datenakquisition – Tischvorschub – Rekonstruktion wird je nach Größe der zu untersuchenden Region und der damit verbundenen Schichtanzahl beliebig oft wiederholt. Auch die Strecke des Tischvorschubs muss manuell eingegeben werden. Durch Einzelschichtaufnahme besteht die Gefahr, dass kleine Pathologien durch Informationsverlust zwischen zwei Schichten, nicht abgebildet werden. Will man überlappende Schichten abbilden muss der Tischvorschub geringer sein als die gewählte Schichtdicke (zum Beispiel: Schichtdicke 10mm / Tischvorschub 5mm). (6)

Single-Slice-Spiral-CT

Im Gegensatz zu Single-Slice-Sequence-CT bietet das Single-Slice-Spiral-CT einige Vorteile. Es kommt zu kürzeren Untersuchungszeiten durch die Aufnahme mehrerer Schichten mit einem Scan. (6) Es handelt sich hier nicht um ein planares Aufnahmeverfahren wie bei der Sequence-CT sondern um eine kontinuierliche Aufnahme von Volumina. Der Patient wird kontinuierlich durch das CT-Gerät bewegt. Die Röntgenröhre bewegt sich auf einer Spiral-Bahn um den Patienten herum. (4) Volumina werden lückenlos erfasst und machen eine beliebige Rekonstruktion von Schichten, auch überlappende Schichten, möglich. Für diese Untersuchungstechnik müssen allerdings bestimmte gerätetechnische Voraussetzungen gegeben sein. Eine kontinuierliche Strahlung durch Hochleistungsrontgenröhren und ein kontinuierlicher Tischvorschub sind notwendig um die abzubildende Region ohne Unterbrechung scannen zu können. Abkühlzeiten der Röntgenröhre während der Untersuchung sind nicht möglich. (6)

Multi-Slice-Spiral-CT

Die Mehrschichten-Spiral-Computertomographie brachte Mitte der 90er Jahre neuen Aufschwung in das Arbeitsgebiet Radiologie. Durch die Einführung von CT-Geräten mit mehrzeiligen Detektoren wurde es möglich mehrere Schichten gleichzeitig aufzunehmen (siehe Abb. 7). Die damit verbundene extrem kurze Aufnahmezeit war ein enormer Vorteil und eröffnete neue Anwendungsgebiete. Besonders bei Säuglingen und Kindern erleichtert die kurze Aufnahmedauer den Untersuchungsverlauf sehr. Die Anzahl der Bewegungsartefakte lässt sich reduzieren und dünnere Schichten sind ohne Verlängerung der Aufnahmezeit möglich. Heute gibt es CT-Geräte mit bis zu 64 Detektorzeilen. (6) Bei solch einer Untersuchung erhält man einen riesigen Datensatz der durch Rechenvorgänge aufgearbeitet wird und Rekonstruktionen in allen Ebenen zulässt. (8)

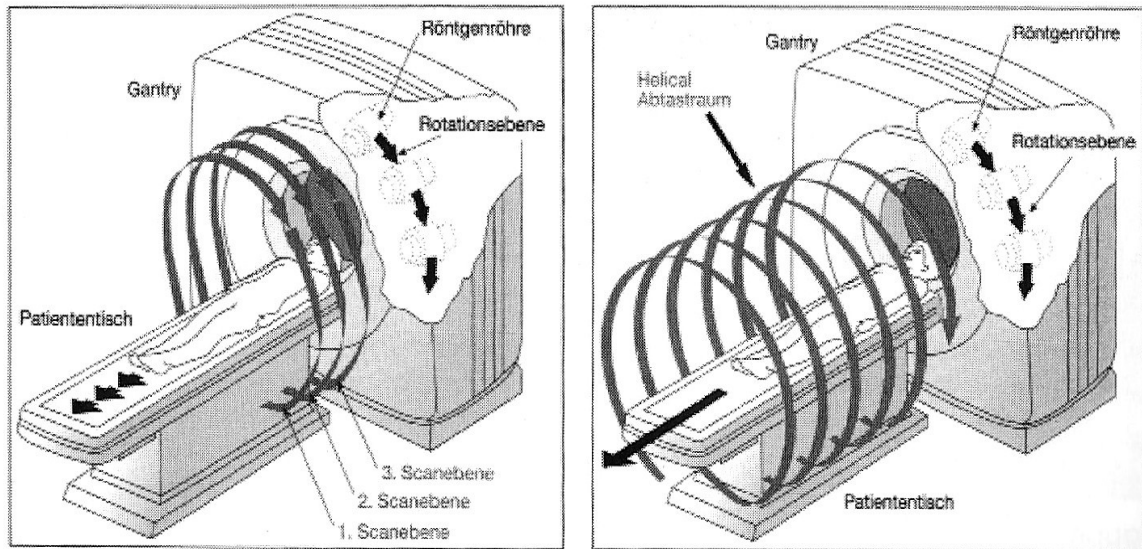


Abb. 7: Hier wird der Unterschied der Aufnahmetechnik bei Sequence-CT und Spiral-CT gezeigt. (6)

Kinder im CT

Wenn man bedenkt, dass teilweise die „Großen“, sprich die Erwachsenen, in einer Computertomographie- oder Magnetresonanz-Röhre klaustrophobische Zustände erleiden, muss man sich überlegen, was es für die ganz Kleinen, die Kinder, bedeutet eine solche Untersuchung über sich ergehen zu lassen. Kinder sind besonders sensibel und verzeihen nur schwer Fehler im Umgang mit ihnen. Ein Kind, bei dem eine Computertomographie-Untersuchung indiziert ist, muss ausführlich und besonders sensibel darauf vorbereitet werden. Die ungewohnte Umgebung, fremde Geräusche und Personen, die sie nicht kennen – alles Dinge die einem Kind Angst machen können.

Es gibt einige Dinge, die man beachten sollte, um für einen kleinen Patienten die Untersuchung so angenehm wie möglich zu gestalten:

- ⇒ Fragen beantworten: Es gibt keine dummen Fragen. Sowohl Kinder als auch Jugendliche haben ein Recht auf vernünftige und altersentsprechende Antworten. Kinder sind oft sehr interessiert an ihrer Krankheit und an den Dingen, die mit ihnen geschehen. Fragen sollen so beantwortet werden, dass sie keine unnötige Angst erzeugen, aber der Fragende trotzdem mit der Antwort zufrieden ist. Ehrlichkeit muss an oberster Stelle stehen. Für Jugendliche ist es besonders von Bedeutung, sie als eigenständige Persönlichkeiten zu betrachten. Sie fühlen sich oft sehr erwachsen und wollen in alle Gespräche mit einbezogen werden. Gespräche mit den Eltern vor der Türe sollten unterlassen werden.
- ⇒ Begleitpersonen im Untersuchungsraum: Es ist oft eine Erleichterung für die Kinder, wenn eine ihnen vertraute Person mit in den Untersuchungsraum kommt. Die vertraute Stimme wirkt beruhigend und kann Kindern helfen, während der Untersuchung ruhig zu bleiben und keine Angst zu haben. Man muss aber bedenken, dass oft die Eltern mehr beunruhigt und emotional angespannt sind als die Kinder als Patienten selbst. Durch die Krankheit des eigenen Kindes sind Eltern oft verständlicherweise nicht in der Lage die nötige Ruhe zu bewahren und so beruhigend auf das eigene Kind zu wirken. (6)
- ⇒ Medikamentöse Sedierung und Ruhigstellung: Wie man das Kind in Einzelfällen ruhigstellt hängt vom Alter, der Persönlichkeit und dem Charakter ab. Ist ein Kind gut führbar reicht oft eine kindgerechte Erklärung des Untersuchungsablaufes aus. Eine ruhige, kontinuierliche Atmung kann im Idealfall Apnoen ersetzen. Beim Säugling reicht oft ein straffes Einwickeln in Tücher aus um eine ausreichende Immobilisierung zu erreichen. Vom Vorteil ist es, wenn man Ruhephasen zwischen den Mahlzeiten für die Untersuchung nutzen kann.

Ist es trotz alledem notwendig eine medikamentöse Sedierung durchzuführen, kann folgendes zur Anwendung kommen: Kindern unter 2 Jahren wird Chloralhydrat 50-100 mg/kg Körpergewicht per oral ungefähr 30 Minuten vor der Untersuchung verabreicht (Maximaldosis 2g). Wenn

nötig wird ab dem 2. Lebensjahr eine intravenöse Sedierung mit zum Beispiel Pentobarbital durchgeführt. Der Nachteil dieser Ruhigstellung ist die invasive und damit schmerzhaftere Verabreichung des Narkosemittels über die Vene und die benötigte Überwachung mit dem Pulsoxymeter während des Untersuchungsverlaufes. (1)

⇒ Kind als Zuschauer: Wird dem Kind ermöglicht bei einer Computertomographie zuzuschauen, kann dies oft die eigene nachfolgende Untersuchung erleichtern. Man kann den Kindern so vorab erklären und demonstrieren, was sie selbst bei der eigenen Untersuchung erleben werden. Sie sehen, wie der Patient gelagert wird, wie sich die Sprechanlage durch die mit dem Patienten im Untersuchungsraum gesprochen wird anhört und was mit dem Patienten während der Untersuchung passiert. (6)

Strahlenschutz

„Unter Strahlenschutz versteht man den Schutz des Lebens oder der Gesundheit von Menschen und ihrer Nachkommen vor Schäden durch ionisierende Strahlung.“ (6)

Man muss bedenken, dass ungefähr die Hälfte der medizinischen Strahlenbelastung durch die Computertomographie verursacht wird. (9)

Strahlenexposition und ihre möglichen Schäden

Wenn Strahlung auf den menschlichen Körper trifft, besteht immer die Gefahr des Strahlenschadens. Ionisierende Strahlung, wie sie in der Radiologie beim konventionellen Röntgen oder bei der Computertomographie vorkommt, löst beim Auftreffen auf Materie physikalisch-chemische Reaktionen aus. Diese Reaktionen können in weiterer Folge zu Schäden der Zellaktivität bis hin zum Zelltod und damit zu funktionellen und/oder morphologischen Veränderungen des menschlichen Gewebes führen.

Wie stark das Ausmaß des Strahlenschadens ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Im Folgenden werden diese Faktoren näher erläutert:

- ⇒ Absorbierte Strahlenmenge (Dosis)
- ⇒ Strahlenart
- ⇒ Zeitliche Verteilung der Dosis (ein- oder mehrmalige Bestrahlung in kürzeren oder längeren Abständen)
- ⇒ Räumliche Verteilung der Dosis (Ganzkörper-, oder Teilkörperbestrahlung)
- ⇒ Biologische Faktoren: Alter, Geschlecht, Gesundheits- und Ernährungszustand)
- ⇒ Strahlenempfindlichkeit des zu bestrahlenden Gewebes (9)

Krankheitsbilder bei Strahlenschäden

Akuter Strahlenschaden nach Ganzkörperbestrahlung

Zu diesem ausgeprägten Krankheitsbild kommt es meist durch einen Strahlenunfall. Ab Dosen von 1 Sv (Sievert) kommt es zur akuten Strahlenkrankheit, die zuerst mit hämatologischen und anschließend mit gastrointestinalen Symptomen wie Übelkeit und Erbrechen einhergeht. Ebenfalls kann es zu Abgeschlagenheit, Appetitlosigkeit und im Folgenden zur Infektanfälligkeit und Blutgerinnungsstörungen kommen. (9)

Akuter lokaler Strahlenschaden nach Teilkörperbestrahlung

Bei lokaler Strahlenbelastung von über 1 Sv (Sievert) kann es an der Haut zu juckenden Erythemen bis hin zum Ulcus kommen. Das gleiche Erscheinungsbild gilt auch für die Schleimhäute, jedoch können hier die Veränderungen schon etwas früher als auf der Haut auftreten.

Bei akuter Strahlenbelastung des Auges kann es zur entzündlichen Veränderung der Bindehaut kommen.

Strahlenschäden an den Keimdrüsen führen zu temporärer oder dauerhafter Sterilität mit Amenorrhoe bzw. Oligo-Azoospermie. (9)

Spätschäden ionisierender Strahlung

Spätschäden können mit oder ohne vorausgegangener, akuter Strahlenkrankheit auftreten. Sie sind wie die akuten Schäden dosisabhängig und treten meist nach einer symptomfreien Latenzzeit auf.

Spätschäden können nach einmaliger Strahlenbelastung mit hohen Dosen oder nach mehrmaliger Strahlenbelastung mit niedrigeren Dosen auftreten. Die wichtigsten Spätschäden sind unter anderem strahlenbedingte Leukämien oder maligne Tumore. (9)

Maßnahmen zum Strahlenschutz

⇒ Prüfung der Indikationsstellung:

Am Allerwichtigsten ist die genaue Indikationsprüfung radiologischer Untersuchungen. Primär muss sich sowohl der zuweisende Arzt als auch

der Facharzt für Radiologie sicher sein, dass die strahlenbelastende Untersuchung auch absolut notwendig ist. Nur eine diagnostische und/oder therapeutische Relevanz rechtfertigen die mit der Computertomographie verbundene Strahlenbelastung.

⇒ ALARA – Prinzip:

As Low As Reasonably Achievable! Die Dosis sollte bei strahlenbelastenden Untersuchungen immer so niedrig wie möglich gehalten werden. Vor allem in der Kindermedizin muss dieses Prinzip genauestens beachtet werden. Wie Studien beweisen, lässt sich durch Niedrigdosis-CT's eine Dosisreduktion von bis zu 90% erreichen. Allerdings muss bedacht werden, dass sich nicht alle Untersuchungen für Niedrigdosen eignen, da die damit verbundene schlechtere Bildqualität bei gewissen Fragestellungen nicht ausreicht.

⇒ Schutzkleidung:

Bleischürzen, wie man sie aus der konventionellen Radiologie kennt, können Personal, das sich im Untersuchungsraum aufhalten muss, vor übermäßiger Strahlenbelastung schützen. Aber auch für die Patienten können diese Schürzen Schutz bieten indem man sie oberhalb und unterhalb des Untersuchungsgebietes auf den Körper legt.

Auch Auflagen aus Wismut können zum Schutz dienen. Man kann damit strahlensensible Organe, wie zum Beispiel die Mammae, Augenlinsen etc., abdecken. Zum absoluten Schutz einzelner Organe kommt es allerdings durch diese Schutzmaßnahmen nicht, da es zur Bestrahlung des Körpers um 360° kommt und Auflagen Organe nur in eine Richtung schützen können.

⇒ Optimierung der einstellbaren Untersuchungsparameter:

Durch Anpassung der Dosis beeinflussenden Parameter (siehe auch Kapitel „Dosis beeinflussende Parameter“) kann Dosis eingespart und damit ein Beitrag zum Strahlenschutz geliefert werden. Die individuelle Anpassung der Röhrenspannung, kurze Scanstrecken, Röhrenstrommodulation oder eine Vergrößerung des Pitch können dabei helfen. (6)

Material und Methoden

Bei dieser Arbeit handelt sich um eine retrospektive Studie. Es wurden retrospektiv Daten erhoben und analysiert. Die Daten wurden von der klinischen Abteilung für Kinderradiologie am LKH-Universitätsklinikum Graz zur Verfügung gestellt.

Die erhobenen Daten beinhalten die kindermedizinischen Computertomographie-Untersuchungen des Schädels vom Jahr 1989 bis zum Jahr 2009, an denen an verschiedenen Punkten die Knochendichte mittels dem Computerprogramm „mipav“ (**M**edical **I**mage **P**rocessing, **A**nalysis and **V**isualization; Download: <http://mipav.cit.nih.gov/>) gemessen wurde.

Für den theoretischen Teil der Arbeit wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt um passende Informationen zu erhalten. Die Informationen wurden zusammengetragen und aufgearbeitet. Zur Literatursuche wurden online-Datenbanken wie pubmed, das Internet, die medizinische Bibliothek Graz und diverse Fachbücher herangezogen.

Im praktischen Teil wurden zuerst alle in diesem Zeitraum stattgefundenen Untersuchungen aus dem Archiv des MEDOCS-Programms (**M**edical **D**ocumentation and **C**ommunication **S**ystem) gesucht und in einer Microsoft Office Excel-Tabelle gesammelt und später statistisch aufgearbeitet. Die Daten wurden anonymisiert und aus dem MEDOCS exportiert. Es ergaben sich 207 Untersuchungen.

Der erste Arbeitsschritt fand anhand der Diagnosen, die sich bei den CT-Untersuchungen gezeigt haben, statt. Es wurden durch Durchsicht der Diagnosen die für die Untersuchung tauglichen Patienten ermittelt. Untersuchungen, die in

der studienrelevanten Region Frakturen aufwiesen wurden nicht mit einbezogen, z.B. Orbita-, Schädelkalottenfrakturen etc., da diese die Messungen verfälschen würden.

Von den noch verbliebenen Patienten, die für die Messungen in Frage kamen, wurden aus dem PACS (**P**icture **A**rchiving and **C**ommunication **S**ystem) die passenden Computertomographien rearchiviert und die Bilder für die Untersuchung ausgewählt.

Es wurden 5 Schichten für die Ausmessungen benötigt:

- ⇒ Os frontale und Os occipitale (Bild 1)
- ⇒ Os sphenoidale (Bild 2)
- ⇒ Os parietale (Bild 3)
- ⇒ Pneumatisiertes Mastoid (Bild 4)
- ⇒ Nicht pneumatisiertes Mastoid (nur bei sehr wenigen Patienten vorhanden) (Bild 5)

(Regionen werden mit schwarzen Pfeilen in den Bildern gezeigt)

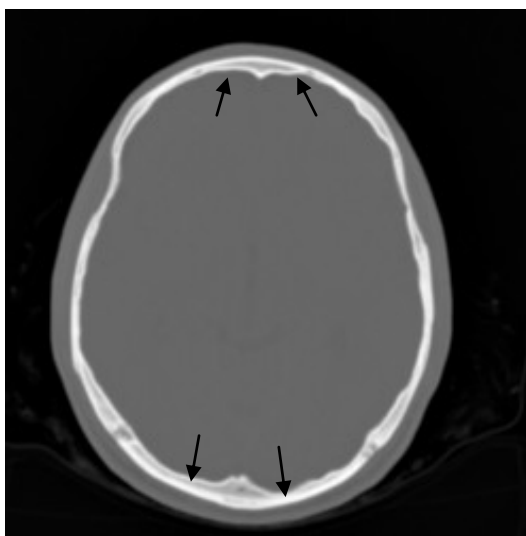


Bild 1



Bild 2

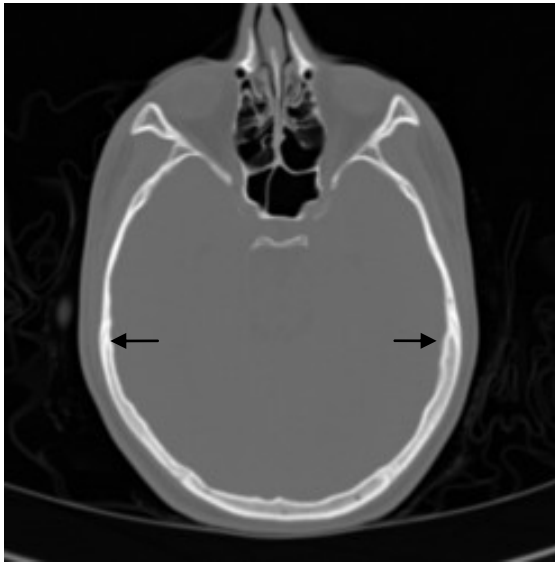


Bild 3

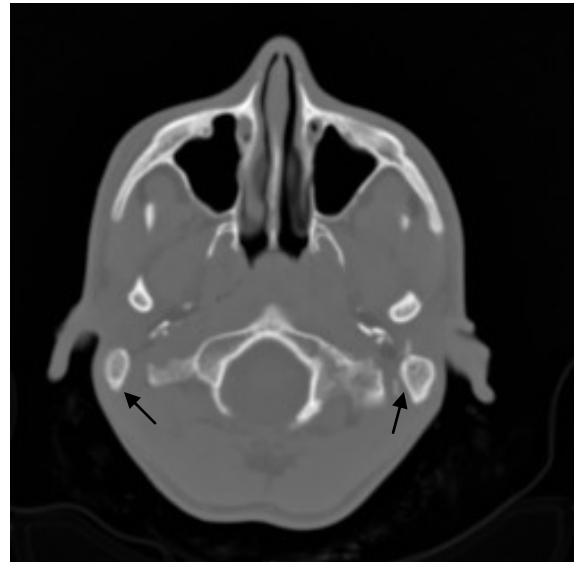


Bild 4

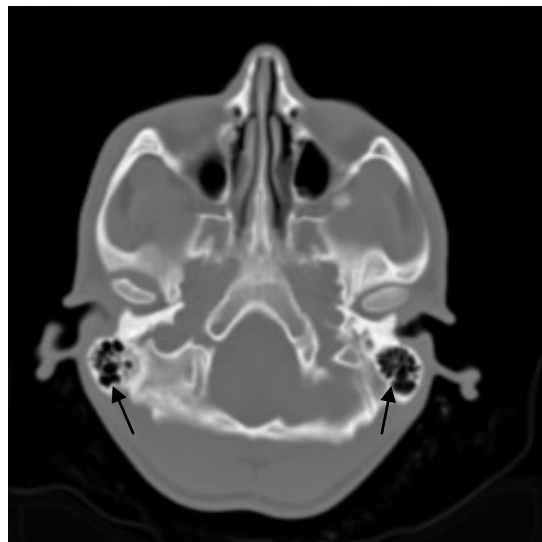


Bild 5

Gemessen wurde immer links und rechts der Mittellinie, sodass man von jeder zu messenden Struktur für jeden Patienten zwei Werte erhielt (siehe schwarze Pfeile).

Die Dichteverhältnisse wurden dann in Korrelation mit dem Alter der Patienten verglichen und dargestellt. Die Alterseinteilung zum Zeitpunkt der Untersuchung geschah in drei Jahres Schritten von 0 bis >18 Jahren. Zur bildlichen Darstellung der Dichteverhältnisse in Korrelation mit dem Alter wurde Microsoft Office Excel 2007 (www.microsoft.com) herangezogen.

Ergebnisse

Allgemeine Ergebnisse

Tauglich vs Untauglich

Die Ausarbeitung der Diagnosen der 207 Patienten stellte den ersten Arbeitsschritt dar. Es mussten die für die Arbeit tauglichen Patienten ermittelt und die Untauglichen aussortiert werden.

Die Verteilung der tauglichen und der nicht tauglichen Patienten anhand ihrer Diagnosen zeigt die folgende Abbildung:

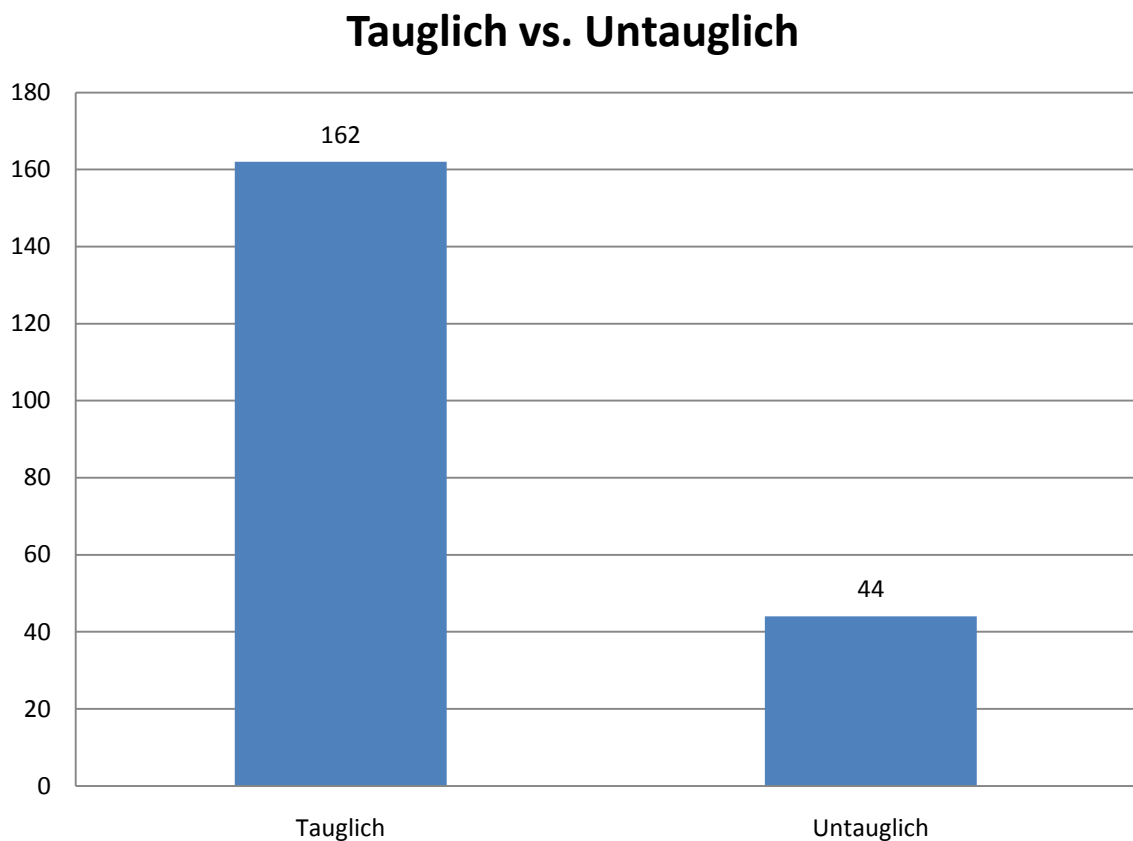


Abb. 8: Verhältnis der für diese Arbeit tauglichen versus der untauglichen Patienten.

44 der Patienten die im Zeitraum von 1989 bis 2009 craniale CT-Untersuchungen hatten, waren für die Arbeit nicht geeignet auf Grund von z.B. Frakturen der Schädelkalotte, disloziert oder undisloziert, Frakturen von Pyramiden oder der Orbita, Hirnödemen oder Hirnblutungen, da diese die Messungen verfälschen könnten.

Von den 207 cranialen Computertomographien blieben 162 übrig, die für die Arbeit geeignet waren. Durch die Rearchivierung der cranialen Computertomographie-Bilder der 162 Patienten schieden noch 15 weitere Patienten aufgrund von mangelndem Bildmaterial aus.

Einteilung der Patienten in Altersgruppen

Eine Altersverteilung in Abstimmung auf die unterschiedliche körperliche Entwicklung der am Ende übrig gebliebenen 147 Patienten wurde durchgeführt und die Patienten wurden in folgende Altersgruppen eingeteilt:

- ⇒ 0-3 Jahre
- ⇒ 3-6 Jahre
- ⇒ 6-9 Jahre
- ⇒ 9-12 Jahre
- ⇒ 12-15 Jahre
- ⇒ 15-18 Jahre
- ⇒ > 18 Jahre

Die Altersermittlung wurde anhand des Geburtsdatums und des Zeitpunktes der Computertomographie-Untersuchung ermittelt. Das heißt, das Alter der Patienten bezieht sich in diesem Fall auf das Alter zum Untersuchungszeitpunkt.

In der Gruppe der 0-3 Jährigen ergaben sich 6 Patienten und somit stellte diese Altersgruppe die mit den wenigsten Kindern dar. Bei den 3-6 Jährigen ergaben sich 8 und bei den 6-9 Jährigen 6 Patienten. Zwischen 9 und 12 Jahren befinden sich 19 der Tauglichen und zwischen 12 und 15 Jahren 18. Im Alter zwischen 15 und 18 Jahren sind 51 der Patienten und über 18 Jahren 39 Kinder. Diese Zahlen werden prozentuell in Abbildung 2 dargestellt.

Die Altersverteilung zeigte folgendes Ergebnis:

Altersverteilung der tauglichen Patienten

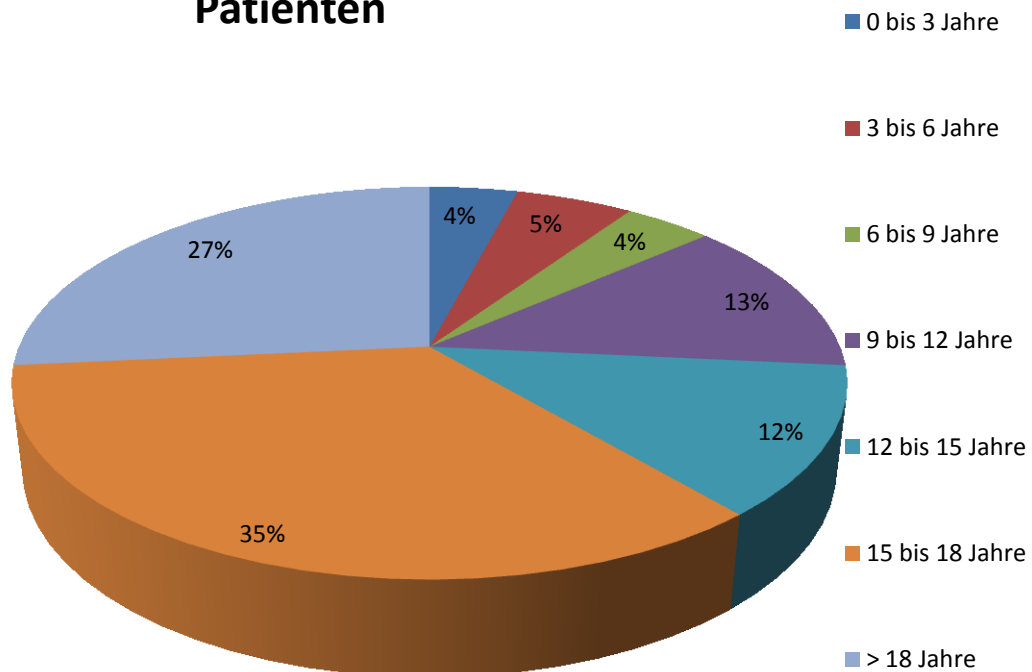


Abb. 9: Hier zeigt sich die Verteilung des Alters der für die Untersuchung tauglichen Patienten.

Aus Abb. 9 lässt sich erkennen, dass die meisten cranialen Computertomographien im Kindes- und Jugendalter zwischen dem 15. Und 18.

Lebensjahr durchgeführt werden. Möglicherweise kann man das darauf zurückführen, dass Jugendliche im 16. Lebensjahr den Mopedführerschein machen dürfen und damit die Verletzungen des Schädels durch Unfälle zunehmen.

Im Alter von 0-3 Jahren finden nur 4 % der gesamten cranialen Computertomographien statt. Da in dieser Altersstufe eine extreme Entwicklung der Kinder stattfindet, vom Neugeborenen zum Kindergartenkind, wird in der folgenden Abbildung diese Gruppe noch einmal aufgeteilt:

Altersverteilung der unter 3-jährigen tauglichen Patienten

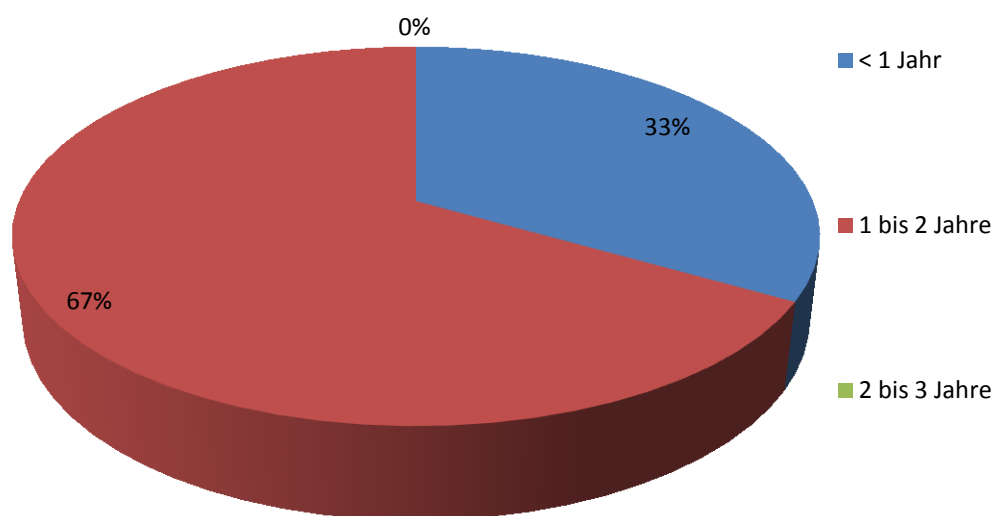


Abb. 10: Altersverteilung der unter 3-jährigen Patienten.

Diese Altersgruppe spannt sich vom Säugling, der sich selbst nicht fortbewegen kann, bis zum nahezu selbstständigen Kleinkind. Da der Kopf im Vergleich zum

Rest des Körpers vor allem in dieser Altersstufe verhältnismäßig groß ist, kommt es bei Stürzen oft zu schweren Kopfverletzungen da das Gewicht des Kopfes dazu führt, dass die Kinder mit Diesem voraus zu Sturz kommen. Der große Anteil der 1-2 Jährigen lässt sich auf die ersten Gehversuche am Beginn des 2. Lebensjahres zurückführen. Kinder unter einem Jahr verunfallen oft mit Kinderspielzeuggeräten, wie Laufhilfen oder Schaukeln und ziehen sich so Schädelverletzungen zu.

Dichteverhältnisse des kindlichen Schädels im Bezug auf das Kindesalter

Die Schädelknochen-Dichte der Kinder wurde an 5 verschiedenen Strukturen jeweils links und rechts der Mittellinie erhoben:

- ⇒ Os frontale und Os occipitale: Bei bereits ausgebildetem Sinus frontalis wurde die Schicht der Computertomographie oberhalb des Sinus frontalis gewählt. Gemessen wurde jeweils links und rechts der Scheitellaht.
- ⇒ Os parietale: Zwei Schichten über der Pyramide gemessen.
- ⇒ Os sphenoidale: Es wurde jeweils die Dichte des linken und rechten Os sphenoidale erhoben.
- ⇒ Belüftetes Mastoid: Auch hier wurde links und rechts gemessen.
- ⇒ Nicht belüftetes/knöchernes Mastoid: Diese Struktur war nur bei 25 Patienten ermittelbar. Die anderen CT-Untersuchungen wiesen keine Bilder dieser Struktur auf.

Anschließend wurde jeweils aus dem linken und rechten gemessenen Wert der Mittelwert errechnet, sodass sich ein Wert pro ausgemessener Struktur pro Patient ergibt.

Anschließend wurde innerhalb jeder Altersgruppe der Minimalwert und der Maximalwert der gemessenen Dichte erhoben und zusätzlich der Mittelwert aus allen Patientenwerten innerhalb jeder Altersgruppe ermittelt.

Alle Zahlenwerte in den folgenden Tabellen wurden in Bezug auf die erste Kommastelle auf- oder abgerundet.

Schädelkalotte

Os frontale / Os occipitale

Das Os frontale, das Stirnbein, und das Os occipitale stellen eine der dichtesten Knochenstrukturen, die ausgemessen wurden, dar. Dichtewerte von bis zu 1158 wurden gemessen. In Abb. 11 sind die Dichtewerte dieser beiden Strukturen im Verlauf des Alters aufgezeigt:

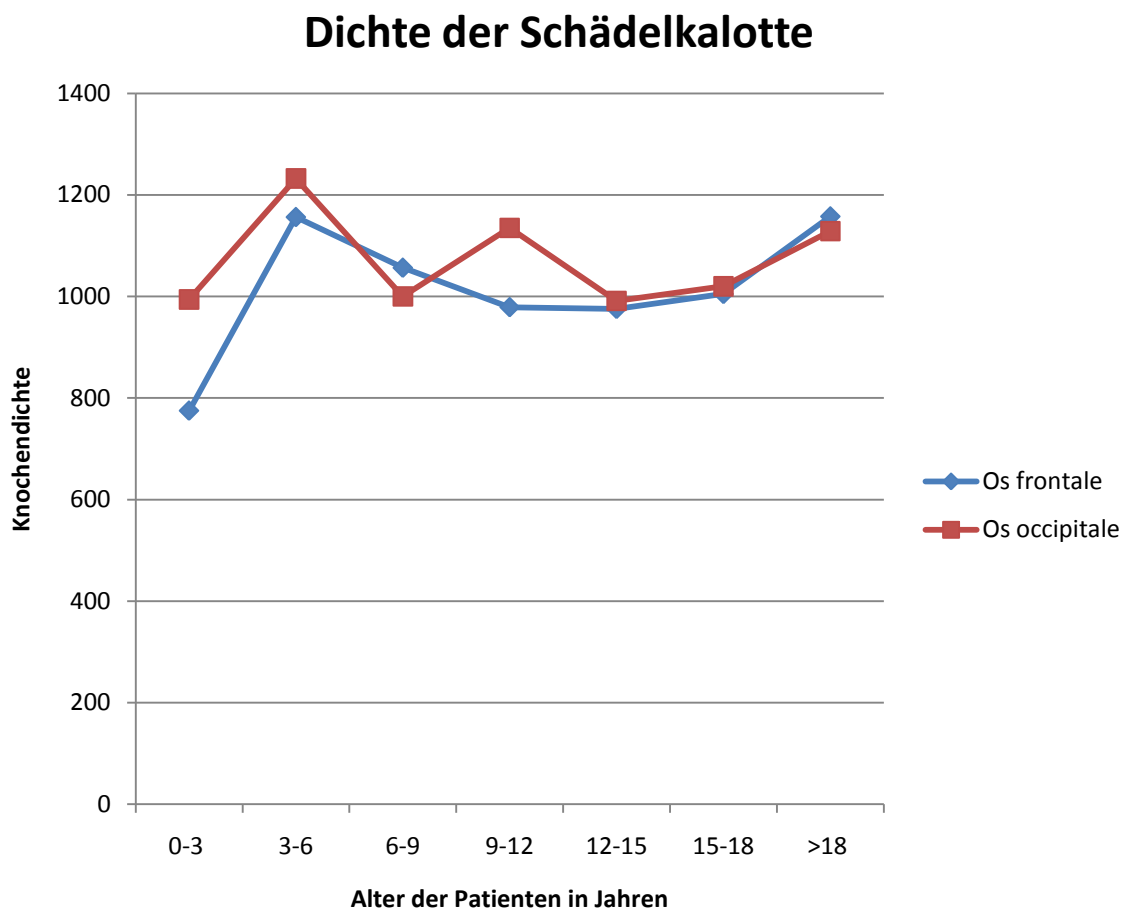


Abb. 11: Der blaue Balken zeigt die Dichteentwicklung des Os frontale im Verlauf des Wachstums. Der rote Balken stellt die Dichtewerte des Os occipitale dar.

Es zeigt sich, wie in Abb. 11 zu sehen, eine Zunahme der Dichte vor allem in den ersten 4 Lebensjahren. Nach einem Absinken der Dichte im Alter von 4 bis 8 Jahren kommt es zum neuerlichen Anstieg der Knochendichte im Bereich der Schädelkalotte. Ab dem circa 13. Lebensjahr verhalten sich die Dichtewerte des Os frontale und des Os occipitale annähernd gleich.

Die Dichte in Zahlen zeigt die folgende Tabelle:

Alter der Patienten in Jahren	Dichtewerte des Os frontale (je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)	Dichtewerte des Os occipitale (je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)
0-3 Jahre	776	994
3-6 Jahre	1157	1233
6-9 Jahre	1057	1001
9-12 Jahre	979	1135
12-15 Jahre	975	991
15-18 Jahre	1005	1120
>18 Jahre	1158	1129

Tab. 5: Hier sind die Dichtewerte der Schädelkalotte (Os frontale / Os occipitale) in Zahlen ersichtlich. Die Tabelle korreliert mit der Abb. 10.

Die Messungen der Dichte zeigten starke Schwankungen innerhalb der einzelnen Altersgruppen. Die Minimal- und die Maximalwerte zeigen die folgenden Abbildungen:

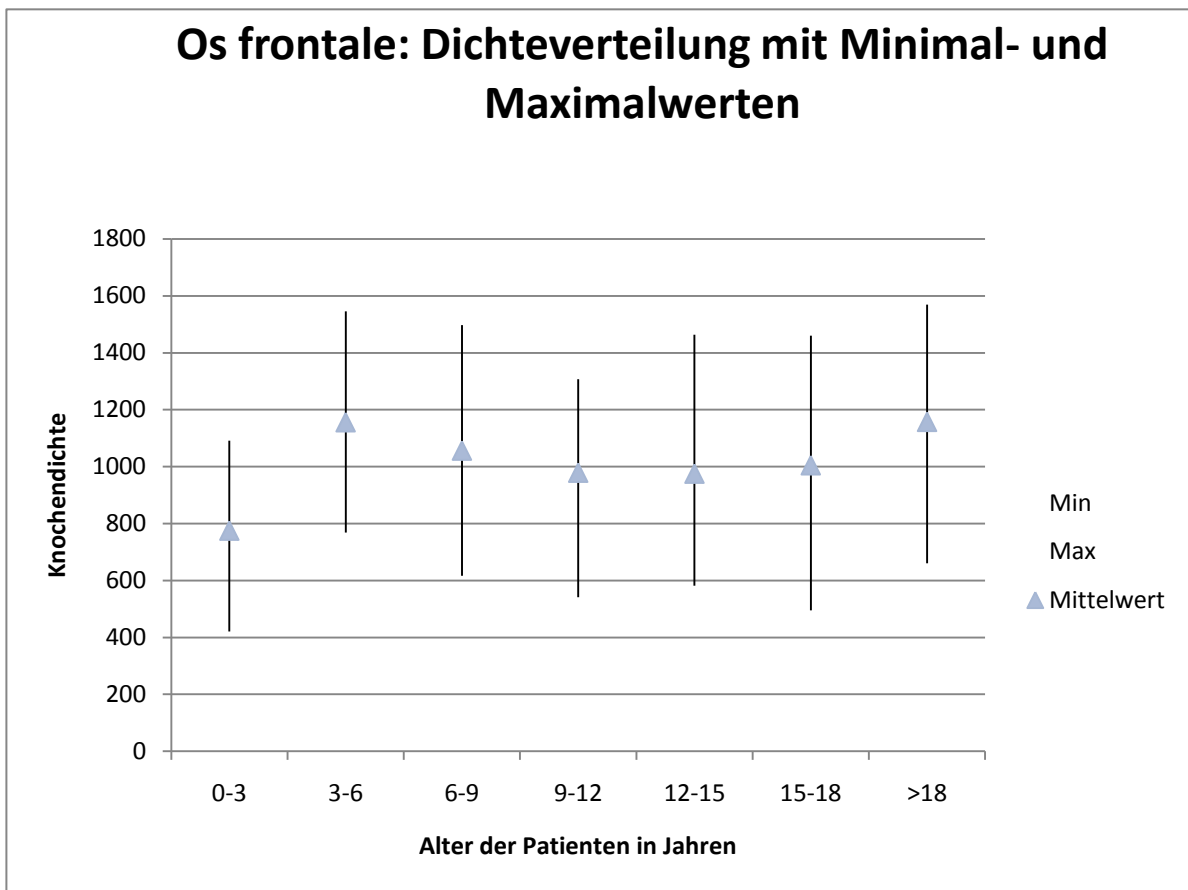


Abb. 12: Os frontale: Minimal- und Maximaldichtewerte innerhalb der einzelnen Altersgruppen.

Die Zahlen korrelierend mit Abb. 12 zeigt folgende Tabelle:

Os frontale : Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	421	1092
3-6 Jahre	769	1546
6-9 Jahre	616	1497
9-12 Jahre	541	1307
12-15 Jahre	582	1464
15-18 Jahre	495	1461
>18 Jahre	661	1570

Tab. 6: Os frontale: Minimal- und Maximalwerte der Knochendichte bezogen auf die Altersgruppen.

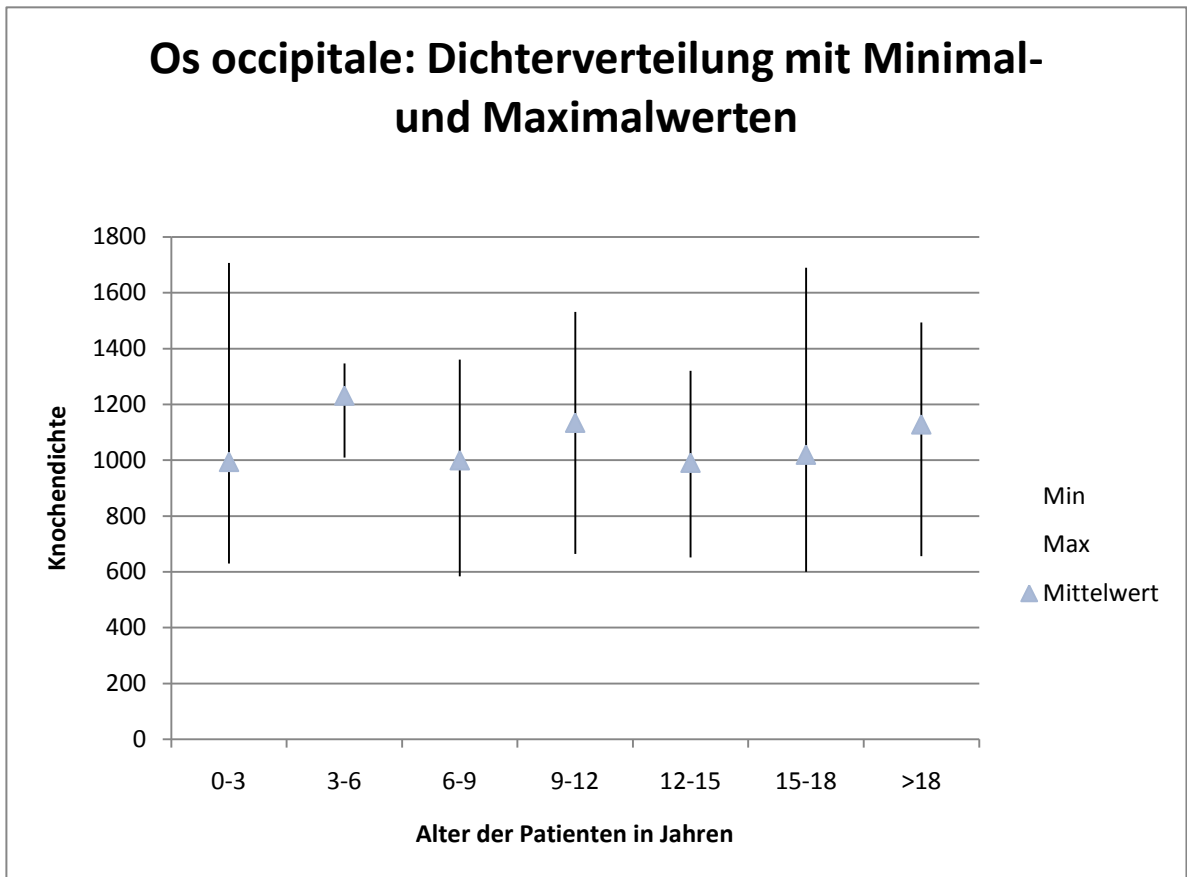


Abb. 13: Os occipitale: Minimal- und Maximaldichtewerte innerhalb der einzelnen Altersgruppen.

Zahlen zu Abb. 13:

Os occipitale : Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	630	1708
3-6 Jahre	1010	1346
6-9 Jahre	584	1360
9-12 Jahre	665	1531
12-15 Jahre	652	1320
15-18 Jahre	600	1690
>18 Jahre	656	1493

Tab. 7: Os occipitale: Minimal- und Maximalwerte der Knochendichte bezogen auf die Altersgruppen.

Os sphenoidale

Das Os sphenoidale befindet sich mit seiner mittleren Dichte im Bereich zwischen den Werten 250 und 400. Im Vergleich zur Schädelkalotte zeigt es also eine geringere Knochendichte.

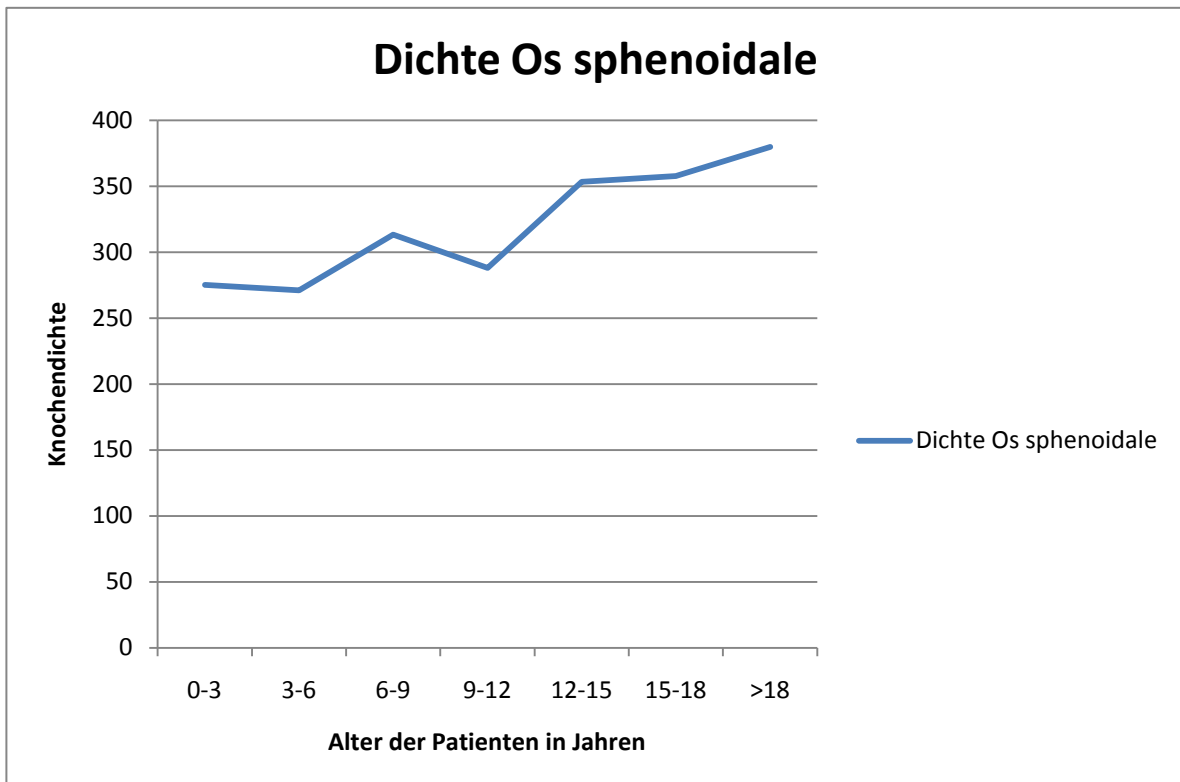


Abb. 14: Der Blaue Balken zeigt den Verlauf der Dichteentwicklung des Os sphenoidale im Bezug auf die Altersgruppen.

Abb. 14 zeigt, wie sich die Dichte des Os sphenoidale im Verlauf des Alters entwickelt. Im Alter zwischen 0 und 5 Jahren verändert sich die Dichte nur minimal. Es kommt dann zu einer Dichtezunahme bis zum circa 7.-8. Lebensjahr worauf eine Dichteabnahme bis zum circa 11. Lebensjahr folgt. Anschließend beginnt die Dichte des Os sphenoidale bis zum circa 14. Lebensjahr stark anzusteigen. Zwischen dem 14. Und >18 Lebensjahr kommt es zu einer weiteren, aber nur mehr mäßigen Zunahme der Knochendichte. Tab. 8 zeigt die Mittelwerte der Dichte je Altersgruppe in Zahlen.

Alter der Patienten in Jahren	Dichtewerte des Os sphenoidale (je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)
0-3 Jahre	275
3-6 Jahre	271
6-9 Jahre	313
9-12 Jahre	288
12-15 Jahre	353
15-18 Jahre	358
>18 Jahre	380

Tab. 8: Os sphenoidale: Die Tabelle zeigt die Dichte-Mittelwerte der unterschiedlichen Altersgruppen. Die Tabelle korreliert mit der Abb. 13.

Auch die Messungen am Os sphenoidale zeigen starke Schwankungen innerhalb der Altersgruppen. Dazu siehe Abb. 15 und Tab. 9.

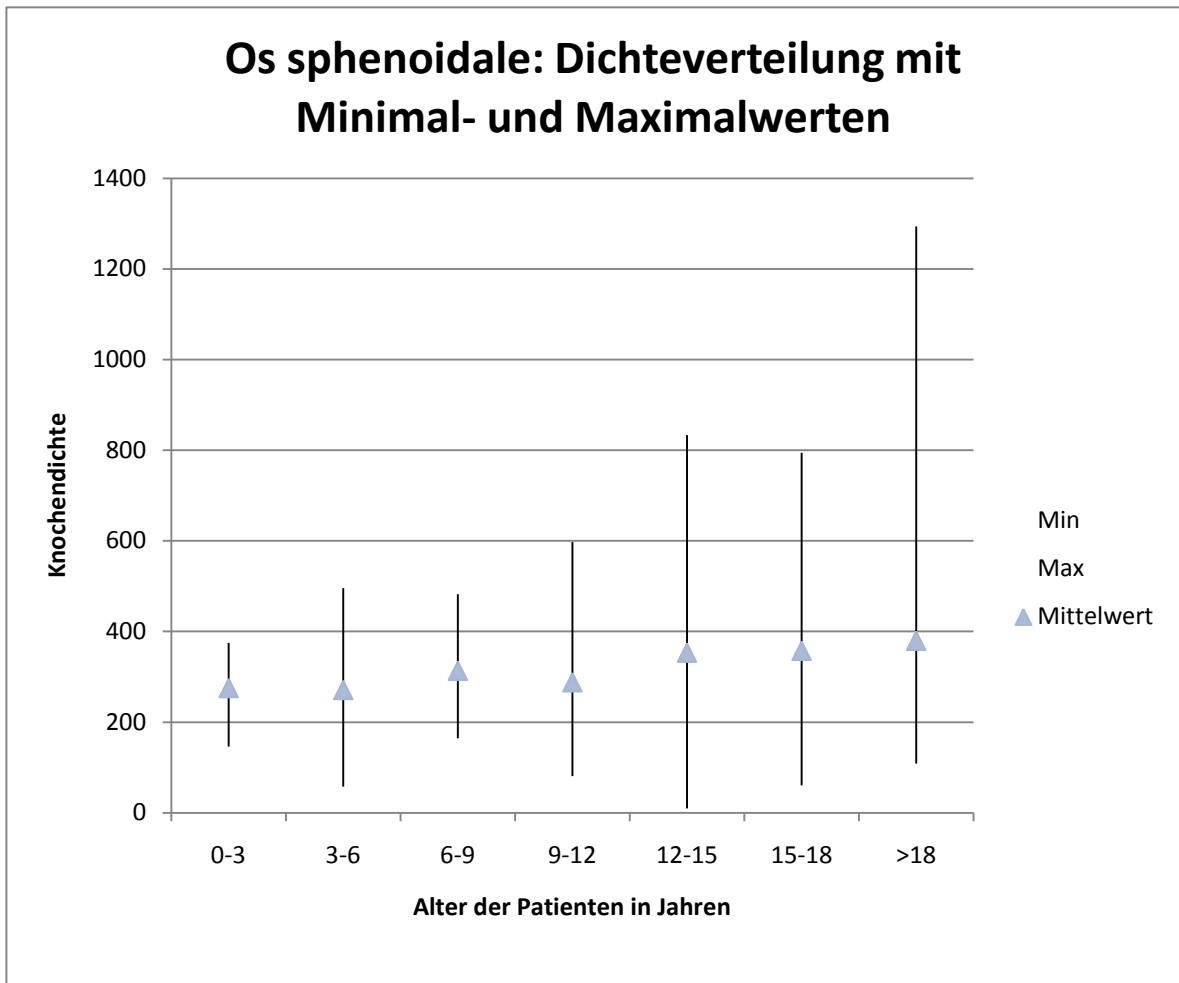


Abb. 15: Os sphenoidale: Minimal- und Maximaldichtewerte innerhalb der einzelnen Altersgruppen graphisch dargestellt.

Aus Abb. 15 ist ersichtlich, dass die Dichtewerte eine große Spanne zeigen. Meist weichen die Minimalwerte in gleichem Ausmaß in niedrigere Dichtebereiche wie die Maximalwerte in höhere Dichtebereiche vom Mittelwert ab.

Man kann erkennen, dass mit dem Alter auch das Ausmaß der Spannweite vom Minimalwert zum Maximalwert der Knochendichte zunimmt. Je älter das Kind, desto variabler die Knochendichte. Hier ist zu beachten, dass die Pneumatisierung des Os sphenoidale mit dem Alter zunimmt und es dadurch zu mehr Lufteinschlüssen im Knochen kommt.

In der folgenden Tabelle sind die Minimal- und Maximalwerte der Dichte des Os sphenoidale ersichtlich:

Os sphenoidale: Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	146	375
3-6 Jahre	58	496
6-9 Jahre	164	482
9-12 Jahre	81	598
12-15 Jahre	10	833
15-18 Jahre	60	795
>18 Jahre	108	1294

Tab. 9: Os sphenoidale: Tabelle korreliert mit Abb. 15. Minimal- und Maximalwerte der Knochendichte bezogen auf die Altersgruppen in Zahlen.

Os parietale: Zwei Schichten über Pyramide

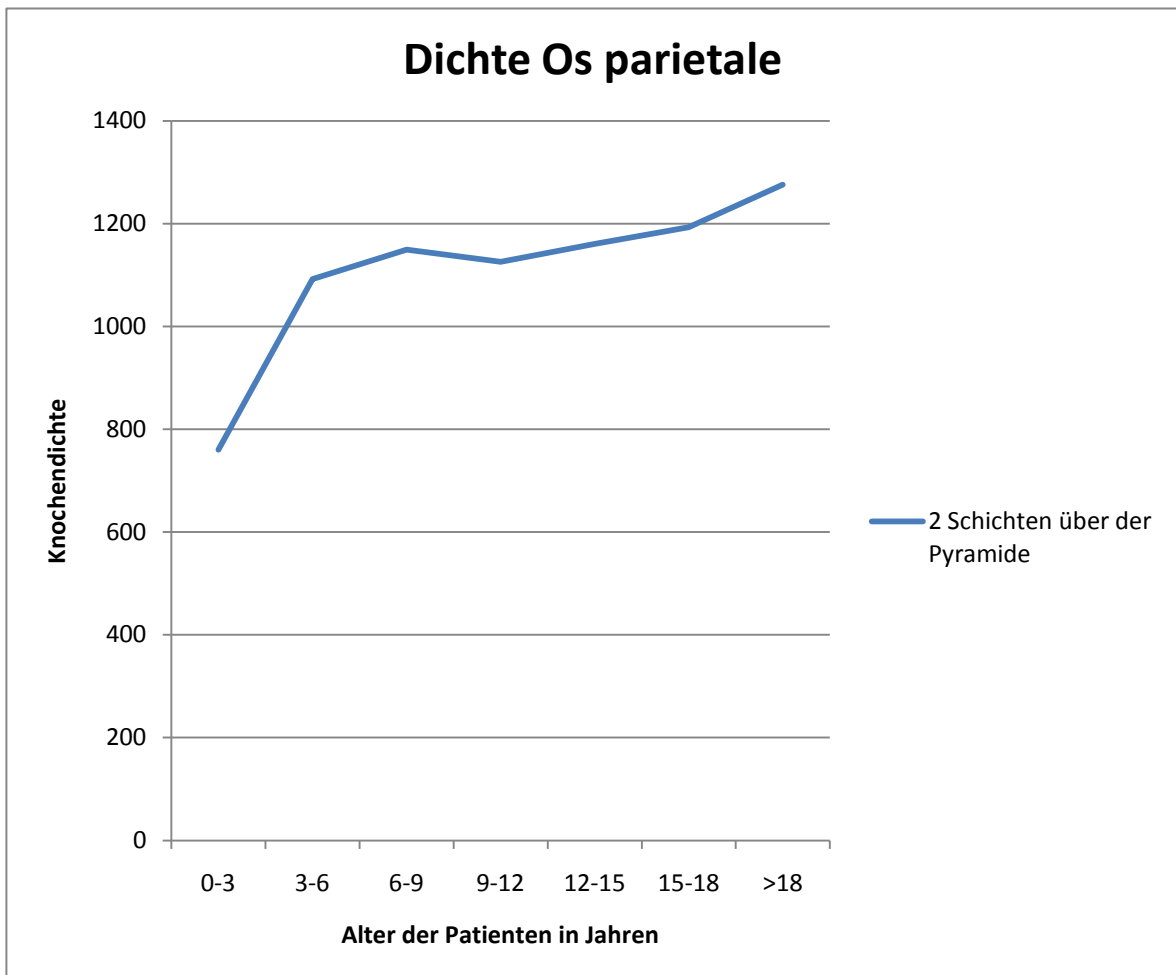


Abb. 16: Der Blaue Balken zeigt den Verlauf der Dichteentwicklung des Os parietale (gemessen 2 Schichten über der Pyramide) im Bezug auf die Altersgruppen.

Wie in Abb. 16 zu erkennen, entwickelt sich die Dichte des Os parietale stetig aufwärts. Während bei diesem Knochen die mittlere Dichte in jungen Jahren einen Wert von 760 aufweist, zeigt er im Alter von 15 - >18 Jahren bereits eine mittlere Dichte von 1276, also fast das Doppelte.

Die Zahlen zu Abb. 16 sind in der Tab. 10 ersichtlich.

Alter der Patienten in Jahren	Dichtewerte des Os parietale (gemessen 2 Schichten über Pyramide; je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)
0-3 Jahre	760
3-6 Jahre	1092
6-9 Jahre	1150
9-12 Jahre	1126
12-15 Jahre	1161
15-18 Jahre	1193
>18 Jahre	1276

Tab. 10: 2 Schichten über Pyramide: Die Tabelle zeigt die Dichte-Mittelwerte der unterschiedlichen Altersgruppen. Die Tabelle korreliert mit der Abb. 9.

Auch die Messungen am Os parietale zeigten starke Schwankungen innerhalb der einzelnen Altersgruppen. Die Abweichungen vom Mittelwert nach oben überwiegen in den ersten 6 Lebensjahren. Ab dem 9. Lebensjahr halten sich die Abweichungen nach unten und oben ungefähr die Waage (siehe Abb. 17).

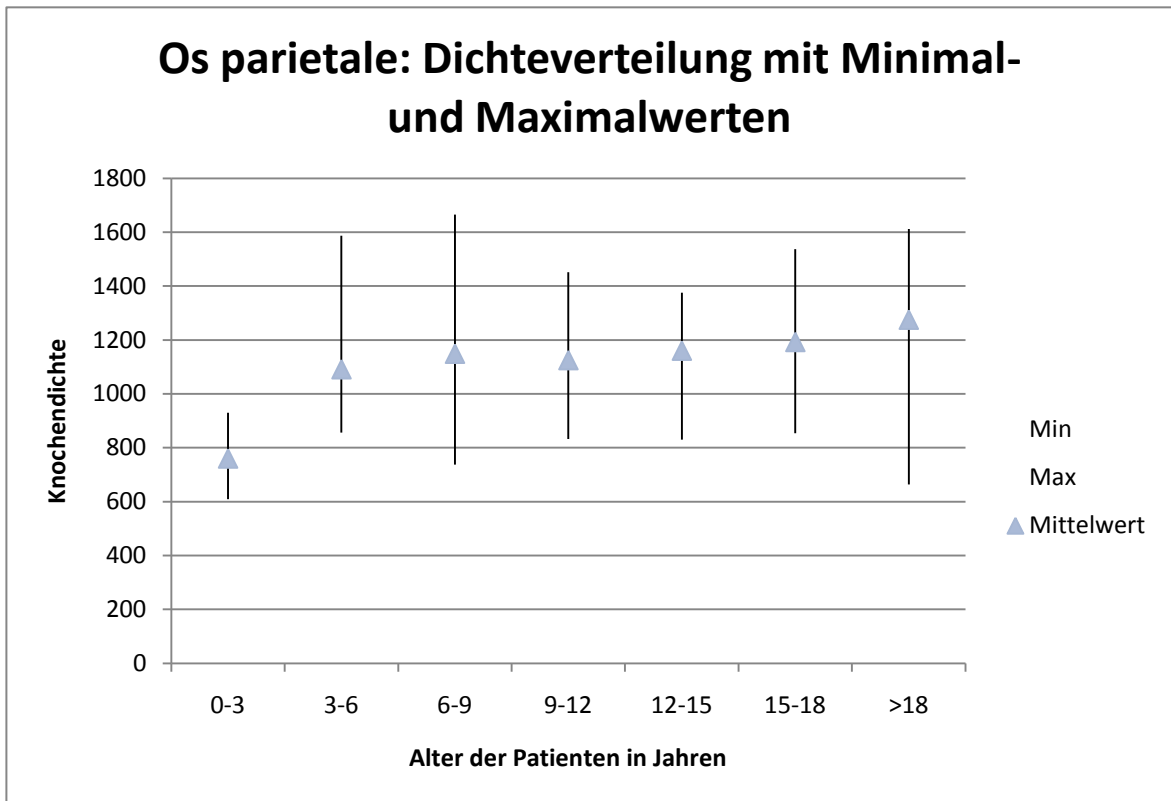


Abb. 17: Os parietale (2 Schichten über Pyramide): Minimal- und Maximalwerte der Messungen innerhalb der einzelnen Altersgruppen graphisch dargestellt.

Korrelierende Zahlen zu Abb. 17:

Os parietale : Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	610	930
3-6 Jahre	856	1587
6-9 Jahre	738	1666
9-12 Jahre	832	1452
12-15 Jahre	831	1376
15-18 Jahre	854	1537
>18 Jahre	664	1611

Tab. 11: Os parietale: Tabelle korreliert mit Abb. 16. Minimal- und Maximalwerte der Knochendichte bezogen auf die Altersgruppen in Zahlen.

Belüftetes Mastoid

Die Abb. 18 zeigt schematisch die Entwicklung der Dichteverhältnisse im Bezug auf das Alter des Kindes:

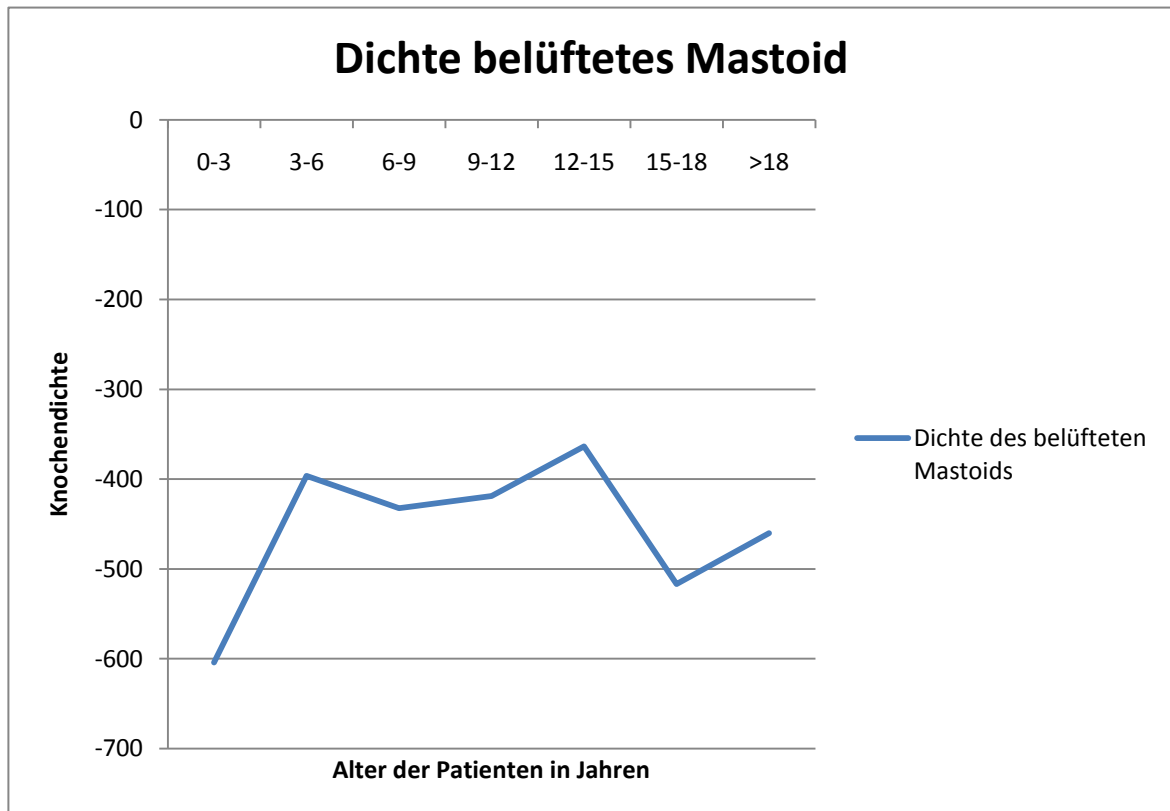


Abb. 18: Der Blaue Balken zeigt den Verlauf der Dichteentwicklung der belüfteten Pyramide im Bezug auf die Altersgruppen.

Wie in Abbildung 18 auffällt, befinden sich die Dichtewerte der belüfteten Pyramide im negativen Bereich. Wie im theoretischen Teil bereits erwähnt zeigt Luft auf der Hounsfield-Skala den Dichtewert -1000. Da die Cellulae mastoideae des Mastoids mit Luft gefüllt sind, ist nachzuvollziehen, warum sich hier die Dichtewerte im Vergleich zu den anderen gemessenen Schädelknochen negativ darstellen.

Es lässt sich in diesem Bereich des Schädels auch keine lineare Zu- oder Abnahme der Knochendichte im Bezug auf das Alter feststellen. Am Beginn des Lebens kommt es zu einem Abfall der Dichte, sprich die luftgefüllten Zellen

beginnen sich zu entwickeln und verursachen eben diese Dichteabnahme des Knochens. Ab dem circa 14. Lebensjahr kommt es aber wieder zu einer Zunahme der Knochendichte. Im Alter von 15 - >18 Jahren befindet sich die Dichte bei einem mittleren Wert von -460.

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der Dichte bezogen auf die Altersgruppen in Zahlen:

Alter der Patienten in Jahren	Dichtewerte des belüfteten Mastoids (je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)
0-3 Jahre	-604
3-6 Jahre	-396
6-9 Jahre	-432
9-12 Jahre	-419
12-15 Jahre	-364
15-18 Jahre	-517
>18 Jahre	-460

Tab. 12: Dichtewerte werden in Zahlen ausgedrückt. Jede Altersgruppe präsentiert den Mittelwert der Gruppe.

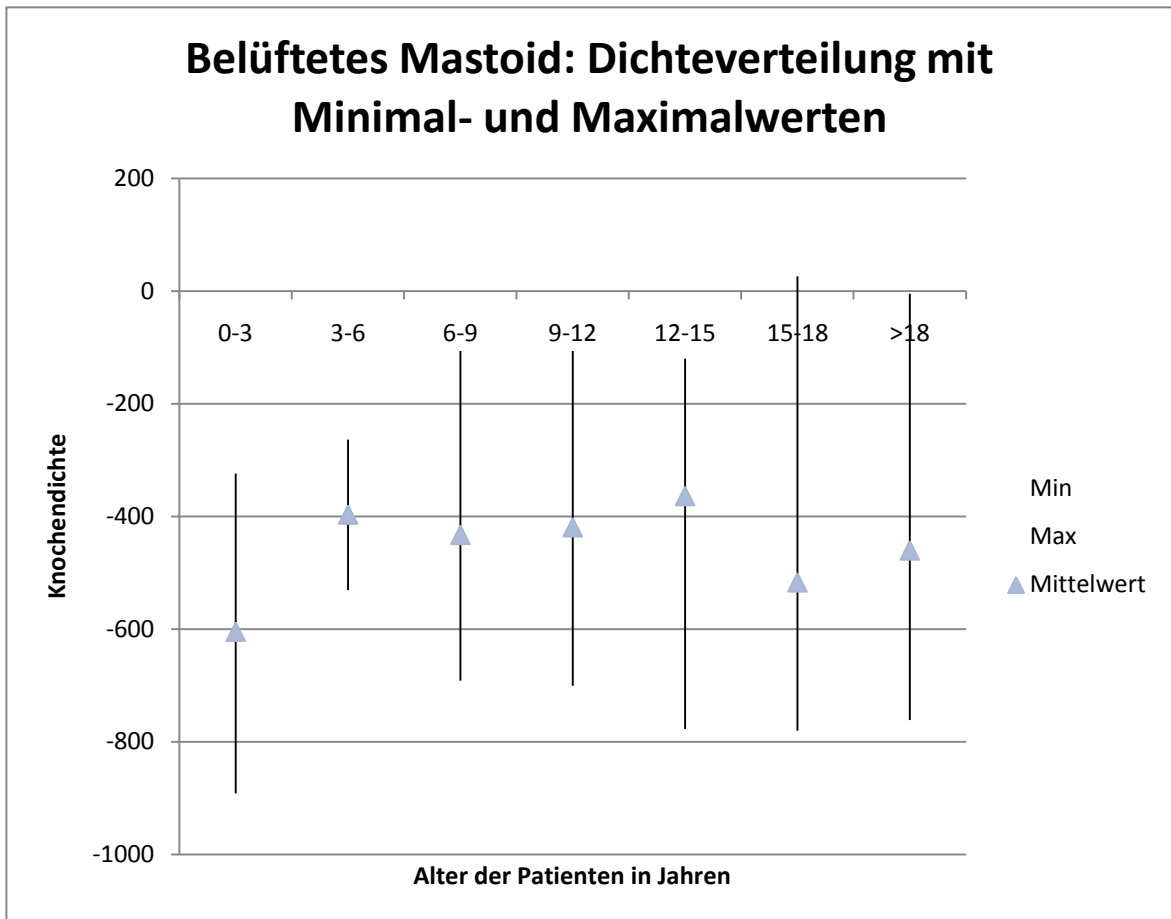


Abb. 19: Es werden die maximalen und minimalen Abweichungen vom Mittelwert gezeigt.

Mit zunehmendem Alter wird die Spannweite der Dichtewerte immer größer. Je älter das Kind, desto variabler die Dichte des belüfteten Mastoids. Die geringste Spanne zeigt die Altersgruppe der 3-6 Jährigen. In der Gruppe der 15-18 Jährigen reichen manche gemessenen Werte bis in den positiven Bereich.

In der folgenden Tabelle sind die maximalen und minimalen Dichtewerte in Zahlen zu sehen:

Belüftetes Mastoid : Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	-892	-324
3-6 Jahre	-531	-264
6-9 Jahre	-691	-106
9-12 Jahre	-701	-106
12-15 Jahre	-777	-120
15-18 Jahre	-780	26
>18 Jahre	-761	-5

Tab. 13: Minimal- und Maximalwerte der Dichte je Altersgruppe. Tabelle korreliert mit Abb. 19.

Knöchernes Mastoid

Hier ist zu erwähnen, dass nur 25 der untersuchten Computertomographien, sprich bei 25 Patienten, ein nicht ausschließlich knöchernes Mastoid zu finden war. Bei allen anderen CT-Untersuchungen war es nicht möglich beidseits diese Struktur zu vermessen.

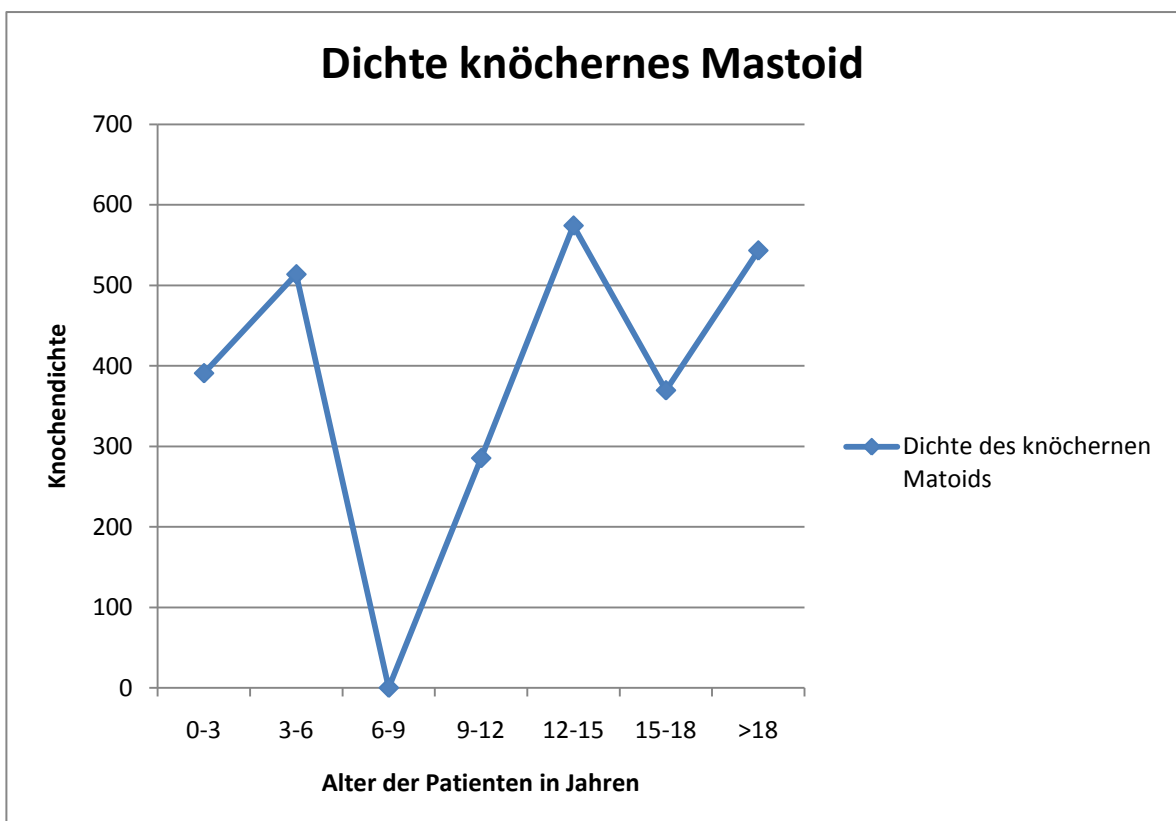


Abb. 20: Dichtemittelwerte des knöchernen Mastoids.

Der Ausschlag nach unten in der Altersgruppe der 6-9 Jährigen kommt aufgrund der fehlenden Messungen in dieser Altersgruppe zustande. In allen anderen Gruppen gab es Messungen. In der Altersgruppe der 0-3 Jährigen 1 Patient, der 3-6 Jährigen 2 Patienten, der 9-12 Jährigen 2, der 12-15 Jährigen 1, der 15-18 Jährigen 9 und in der Gruppe der >18 Jährigen gab es 10 Patienten an deren CT's die Messung durchgeführt werden konnte. Die größere Anzahl in den älteren Gruppen ist auf die primär größere Teilnehmerzahl dieser zurückzuführen.

Die folgende Tabelle zeigt die Zahlen korrelierend mit Abb. 20:

Alter der Patienten in Jahren	Dichtewerte des knöchernen Mastoids (je Altersgruppe wurde der Mittelwert errechnet)
0-3 Jahre	391
3-6 Jahre	514
6-9 Jahre	
9-12 Jahre	285
12-15 Jahre	574
15-18 Jahre	370
>18 Jahre	543

Tab. 14: Es zeigen sich die Mittelwerte der Dichtemessungen bezogen auf die Altersgruppe. In der Gruppe der 6-9 Jährigen fanden keine Messungen statt.

Auch bei diesen Messungen zeigten sich, wenn auch nur geringe, Schwankungen der Dichte in den einzelnen Altersgruppen. Siehe dazu Abb. 21 und die dazu gehörenden Zahlen in Tab. 15:

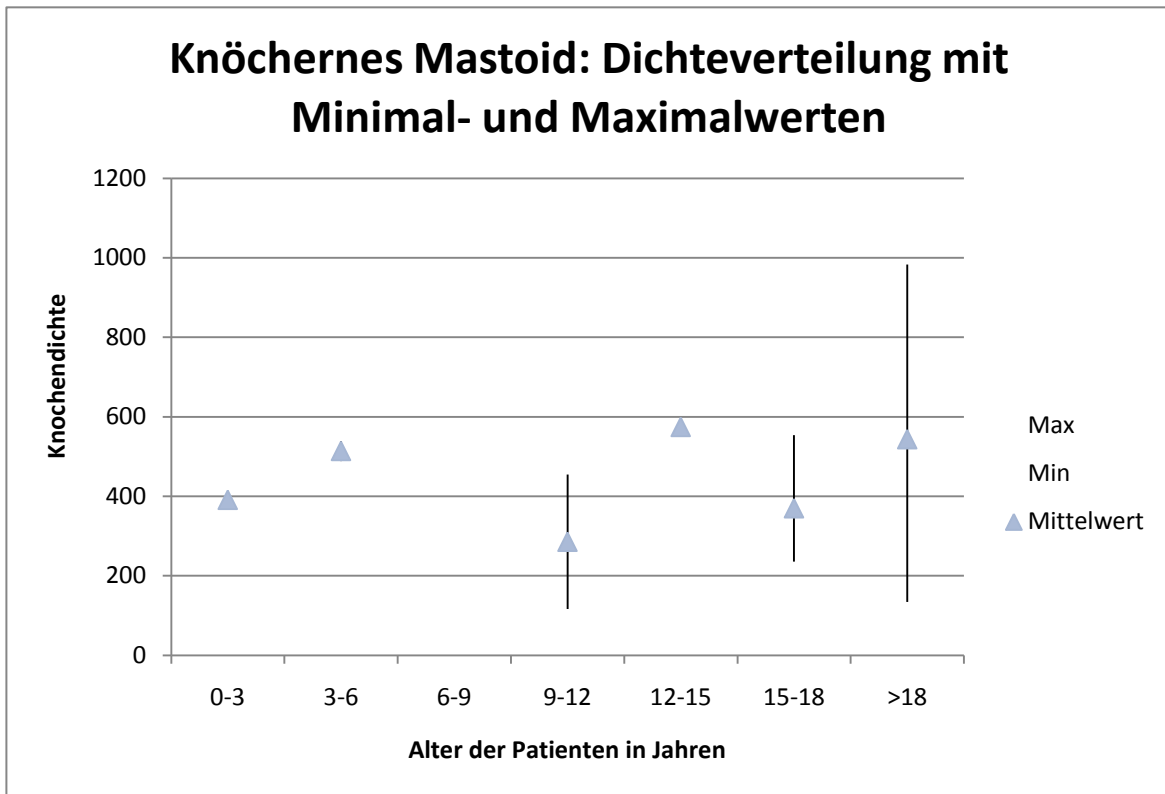


Abb. 21: Hier die Mittelwerte der Dichte der nicht belüfteten Pyramide mit ihren Maximal- und Minimalabweichungen.

Die Minimal- und Maximalwerte der Messungen in Zahlen:

Knöchernes Mastoid : Minimale und Maximale Dichtewerte		
Alter der Patienten in Jahren	Minimalwerte	Maximalwerte
0-3 Jahre	391	391
3-6 Jahre	539	489
6-9 Jahre		
9-12 Jahre	455	116
12-15 Jahre	574	574
15-18 Jahre	554	235
>18 Jahre	983	134

Tab. 15: Minimal- und Maximalwerte der Dichte bezogen auf die Altersgruppe. Die Tabelle korreliert mit der Abb. 21.

Diskussion

Da die Computertomographie-Untersuchung und die damit verbundene Strahlenbelastung der Patienten aus der heutigen Radiologie nicht mehr wegzudenken ist, ist es von besonders großer Bedeutung stetig um eine Dosisoptimierung bemüht zu sein. Nach heutigen Standards wird die Dosis für die pädiatrische, craniale Computertomographie anhand von Referenzwerten gewählt, die aus der Erfahrung generiert wurden.

Kinder sind keine kleinen Erwachsenen und müssen auch so behandelt werden. Die Entwicklung der Kinder ist in den ersten 18 Lebensjahren enorm. Sie entwickeln sich vom absolut abhängigen Säugling bis hin zum selbstständigen Menschen. Der Kopf eines Kindes ist in den ersten Lebensphasen verhältnismäßig groß im Vergleich zum Rest des Körpers. Wird eine CT-Untersuchung des Schädels durchgeführt, so wird bei Kleinkindern bis zu einem Drittel des Körpers bestrahlt. Dieses Faktum soll noch einmal zeigen wie wichtig es ist Dosisoptimierung zu betreiben.

Der einzige morphometrische Parameter ist der Kopfumfang. Dieser wird regelmäßig im Laufe der kindlichen Entwicklung gemessen. Anhand von Perzentilenkurven wird ab der Geburt der Kopfumfang in gewissen Abständen erhoben und in den Kurven eingetragen. Ähnliche Parameter über die Knochendichte gibt es nicht. Da die Dichte der Knochen nicht von außen messbar ist, benötigt man dazu eine retrospektive Analyse bereits stattgefundener kindermedizinischer Computertomographien aller Altersstufen.

Die Kopfumfangsperzentile zeigt die größte Entwicklung, beziehungsweise Wachstum, bis zum zwölften Lebensjahr. Man kann also sagen, dass der kindliche Schädel im Alter von zwölf Jahren größtenteils ausgewachsen ist.

Unseren Messungen zu Folge zeigt aber die Dichte schon vor dem zwölften Lebensjahr ihr Maximum. Ab einem Alter von sechs Jahren verändert sich die punktuell gemessene Knochendichte des Schädels nur mehr gering. In den ersten sechs Lebensjahren kommt es zu einer Dichtezunahme der Schädelknochen, wie die Berechnungen zeigen. In den darauffolgenden Jahren verändern sich die

Dichtewerte nur mehr minimal, so dass man sagen kann, dass die maximale Dichte bereits vor dem Erreichen des maximalen Schädelumfangs erreicht wird. Die Knochendichteentwicklung geht also dem Schädelwachstum voran. Die benötigte Dosis bei Computertomographie-Untersuchungen, der das Schädelwachstum als Grundlage dient, könnte durch diese Ergebnisse eventuell schon früher angepasst werden.

Weiters zeigten sich bei den Messungen der unterschiedlichen Knochen, Schädelkalotte, Os parietale, Os sphenoidale und Mastoid starke Variabilitäten in der Dichte. In den unterschiedlichen Altersgruppen waren große Schwankungen zu erkennen. Prinzipiell zeigte sich aber auch, dass mit dem Alter sehr wohl eine Dichtezunahme des Knochens zu messen war. Vor allem die gemessenen Knochen der Schädelkalotte, Os frontale, Os occipitale und das Os parietale, nahmen im Verlauf der kindlichen Entwicklung an Dichte zu. Je älter das Kind, desto dichter die Schädeldecke.

Besonders an den Messungen am Mastoid war aber auch zu erkennen, dass die Knochendichte nicht nur innerhalb der Altersgruppen starke Schwankungen zeigte. Auch im direkten Vergleich mit den anderen punktuell vermessenen Knochen ist zu sehen, dass es zu keinem linearen Anstieg der Knochendichte in diesem Bereich kommt. Ursächlich dafür kommt die Pneumatisierung dieser Knochen in Frage.

Die Pneumatisierung einzelner Knochen, wie zum Beispiel des Mastoid oder auch des Os sphenoidale, führt zu Problemen bei den Messungen. Durch die zunehmende Pneumatisierung kommt es scheinbar nur zu geringer Zunahme der Knochendichte.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine punktuell gemessene Dichte des Schädelknochens schwierig sein kann und nicht den gewünschten Aufschluss bringt. Die Messung der einzelnen Knochenteile führt zu starker Variabilität innerhalb der Altersgruppen. Die Schwankungen zwischen den Minimal- und Maximalwerten sind teilweise sehr groß.

Es wäre von Vorteil die Gesamtdichte des Schädelknochens zu erheben, anstatt punktueller Messungen, um eine bessere Aussage über die Entwicklung der

Schädelknochendichte bei Kindern treffen zu können. Punktuelle Messungen zeigen, wie oben erwähnt, nicht zu vernachlässigende Variabilitäten innerhalb der Altersgruppen und es lässt sich nur schwer eine Aussage über die wirkliche Dichteentwicklung bezogen auf das Alter treffen.

Zusammenfassung

Das Fach der Radiologie befindet sich in stetiger Weiterentwicklung. Die Computertomographie ist eines der häufigsten angewandten radiologischen Verfahren. Ein großer Teil der Strahlenbelastung der Patienten fällt auf die Computertomographie zurück. Aus diesem Grunde gewinnt auch der Strahlenschutz immer mehr an Bedeutung.

Vor allem aber die Radiologie im kindermedizinischen Bereich bedarf besonderer Aufmerksamkeit. Kinder sind eigenständige Individuen und sollen nicht als kleine Erwachsene behandelt werden. Aus diesem Grund ist der Strahlenschutz in diesem Bereich wichtig. Bei einer einzelnen cranialen Computertomographie-Untersuchung eines Kindes kommt es zur Bestrahlung von bis zu einem Drittel des Körpers, da der kindliche Kopf im Verhältnis zum Rest des Körpers groß ist.

Die Grundlagen des Strahlenschutzes sind primär die genaueste Indikationsprüfung, die Optimierung der angewandten Dosis und die kindgerechte Durchführung der Untersuchung. Hat eine Computertomographie keine diagnostische oder therapeutische Konsequenz so darf sie nicht durchgeführt werden. Die Dosisoptimierung beruht auf der Gewinnung von zusätzlichen Daten, die die Entwicklung des kindlichen Kopfes aufzeigen. Bis heute sind die Kopfumfangskurven die einzigen morphometrischen Daten.

Die erhobene Schädelknochendichte, punktuell gemessen, zeigt in einigen Bereichen erwartungsgemäß steigende Werte. Jedoch zeigen pneumatisierende Knochen, wie zum Beispiel das Mastoid, andere Dichteverhältnisse.

Literaturverzeichnis

1. Benz-Bohm G, Alzen G. Kinderradiologie: 38 Tabellen. 2., erw. und vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005. (RRR - Referenz-Reihe Radiologie)
2. E. Sorantin. Kinderradiologie Trainer - Besonderheiten der CT im Kindersalter.
3. Sadler TW, Langman J, Drews U. Medizinische Embryologie: Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen. 10., korrigierte Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003. Available from: URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/109094867.pdf>.
4. Kalender WA. Computertomographie: Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen. 2., überarb. und erw. Aufl. Erlangen: Publicis Corp. Publ.; 2006. Available from: URL: <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/179142046.pdf>.
5. Dr. med. Hans-Joachim Mentzel. Computertomographie im Kindesalter. kind & radiologie 2006; 3.(7):10–3. Available from: URL: <http://kind-und-radiologie.eu/pdf/archiv/heft07/heft7-artikel3.pdf>.
6. Grillenberger A, Fritsch E. Computertomographie: Eine Einführung in ein modernes bildgebendes Verfahren. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG; Facultas-Verl.; 2007. Available from: URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2826932&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm / <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht014908379.pdf>.
7. Bundesgesetzblatt II. Diagnostische Referenzwerte; 2010. Available from: URL: http://artwork4joomla.com/strahlenschutz/images/PDF/anlage_diag_referenzwerte_med_strschvo_2010.pdf.

8. med. Brigitte Stoever DmPR. Computertomographie-Untersuchungen beim Kind – welche Möglichkeiten gibt es, um die Strahlenexposition zu reduzieren? kind & radiologie 2005; 2.(2):26–9. Available from: URL: <http://kind-und-radiologie.eu/pdf/archiv/heft04/heft4-artikel6.pdf>.
9. Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung. Erkrankungen durch ionisierende Strahlen: Merkblatt für die ärztliche Untersuchung; 1991. Available from: URL: <http://www.arbmed.med.uni-rostock.de/bkvo/m2402.htm>.
10. URL: <http://www.klinikum-ingolstadt.de/index.php?id=1493>
11. URL: http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/Index?page=4239948,chunk=img_0.html