

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität Hamburg
Direktor: Prof. Dr. med. K. Püschel

**Die Computertomographisch ermittelte Ausreifung der medialen
Claviculaepiphyse als Untersuchungsmethode der
Lebensaltersbestimmung**



Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg
vorgelegt von

Holger Butting

aus Göttingen

Hamburg 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: 09.06.2008

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, die/der Vorsitzende: Prof. Dr. U. Lockemann

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter: Prof. Dr. K. Püschel

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter: Prof. Dr. M. Amling

1	Einleitung	S. 5
1.1	Einführung und Zielsetzung der Arbeit	S. 5
1.2	Topographisch-funktionelle Anatomie	S. 9
1.2.1	Obere Extremität	S. 9
1.2.2	Das Schlüsselbein (Clavicula)	S. 9
1.2.3	Schlüsselbeingelenk (Articulatio sternoclavicularis)	S. 10
1.3	Osteogenese	S. 11
1.3.1	Desmale Osteogenese	S. 11
1.3.2	Perichondrale Osteogenese	S. 12
1.3.3	Enchondrale Osteogenese	S. 12
1.4	Aufbau und Prinzip eines Computertomographen	S. 14
1.4.1	Mathematische Grundlagen	S. 15
1.4.2	Strahlenexposition und Risiko	S. 17
1.4.3	Bilddarstellung	S. 18
1.4.3.1	Fensterlage und Fensterbreite	S. 18
1.4.3.2	Bild und Scanparameter	S. 19
1.5	Computertomographische Untersuchungstechniken	S. 21
1.5.1	Konventionelle Tomo Mode	S. 21
1.5.2	Spiral Tomo Mode	S. 22
2	Patienten und Methoden	S. 23
2.1	Datenerhebung und Modifikation der CT-Untersuchung	S. 25
2.2	Untersuchungsprotokolle	S. 26
2.3	Bildauswertung	S. 32
2.4	Statistische Testverfahren	S. 34
3	Ergebnisse	S. 35
3.1	Gesamtkollektiv	S. 35
3.2	Asymmetrien	S. 40
3.3	Geschlechterdifferenzen	S. 43
3.3.1	Ergebnis für Frauen	S. 46
3.3.2	Ergebnis für Männer	S. 50
3.4	Topographische Lage, Form und Anzahl der Ossifikationszentren	S. 54

3.4.1	Topographische Lage	S. 54
3.4.2	Form der Ossifikationszentren	S. 55
3.4.3	Anzahl der Ossifikationszentren	S. 56
3.4.4	Verlaufsbeurteilungen und Fälle von schwierigen Zuordnungen	S. 57
3.4.5	Röntgenmorphologie des Sternoclaviculargelenks	S. 61
3.4.6	Experimenteller Teil	S. 64
4	Diskussion	S. 72
4.1	Auswahl des Studiendesign	S. 72
4.2	Die Auswahl der Untersuchungsmethode	S. 75
4.3	Eigene Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund der Kreitner Publikation	S. 76
4.4	Asymmetrien	S. 78
4.5	Risikoabschätzung von Strahlenexposition bei radiologischen Untersuchungen	S. 80
4.6	Vorstellung weiterer Methoden der Skelett- und Lebensaltersbestimmungen	S. 82
4.7	Ausblick auf zukünftige Verfahren der Lebensaltersbestimmung	S. 84
5	Zusammenfassung	S. 85
6	Lebenslauf	S. 87
7	Danksagung	S. 89
8	Literaturverzeichnis	S. 90

1 Einleitung

1.1 Einführung und Zielsetzung der Arbeit

Indikationen für eine Skeletaltersbestimmung durch radiologische Methoden an Kindern, Jugendlichen sowie Erwachsenen sind oft durch spezielle klinische und juristische Fragestellungen gegeben. Mit Hilfe der Medizin wurden in den vergangenen Jahrzehnten verschiedenste Verfahren zur Diagnostik des Lebensalters etabliert, die diese - zumeist sehr differenzierten - Fragestellungen beantworten. Analog zu den Leitlinienempfehlungen der evidenzbasierten Medizin haben sich in den letzten Jahren in der Bundesrepublik Fachgremien gebildet, die Empfehlungen zur Altersdiagnostik bei Lebenden in- und außerhalb von Strafverfahren, im Rentenverfahren sowie für die forensische Geschlechts- und Altersdiagnostik am Skelett herausgegeben haben [Schmeling A (2000), Schmeling et al. (2000), Fuhrmann et al. (2001), Geserick G und Schmeling A (2001), Schmeling et al. (2001), Ritz-Timme et al. (2002), Reisinger et al. (2003), Lockemann et al. (2004), Schmeling et al. (2004), Rösing et al. (2005)].

Aufgrund von anhaltenden kriegerischen Auseinandersetzungen in den Ländern der so genannten Dritten Welt, einem starken wirtschaftlichen globalen Nord-Süd Gefälle sowie einer allgemeinen Globalisierung durch das World Wide Web, Ferntourismus, TV und Printmedien haben sich zunehmend grenz- und kontinentalüberschreitende Migrationsströme in die Länder der europäischen Union und Skandinavien entwickelt. Dies hat auch zu einer veränderten gesellschaftspolitischen Situation innerhalb der Bundesrepublik Deutschland geführt, wobei eine Zunahme der Verfahren zur Lebensaltersfeststellung zu verzeichnen ist.

Vor bundesdeutschen Gerichten mehren sich in den letzten Jahren Gerichtsverfahren, bei denen Gerichte zunehmend Straftäter zu verurteilen haben, die sich nicht ausweisen können, da sie keine Identitätspapiere besitzen oder jemals besessen haben (UNICEF-Bericht zur Situation der Kinder in der Welt 2001/2002). Es kommt aber auch vor, dass

die zu verurteilenden Straftäter Aussagen bezüglich ihres Alters treffen, die sie nicht dokumentieren können und eine auffällige Diskrepanz hinsichtlich ihres körperlichen Erscheinungsbildes und der getroffenen Altersangabe besteht.

Aufgrund dieser Tatsache sehen sich die Gerichte häufiger veranlasst, Gutachten zur Lebensaltersbestimmung durch Mediziner anfertigen zu lassen [Rauche G (2000), Kaatsch HJ (2001), Schoenfeldt M (2001), Fuhrmann et al. (2002)]. Dabei ist die Klärung der Frage nach bestehender Strafmündigkeit – Lebensalter über vierzehn Jahre: der Frage nach Anwendung des Jugendstrafrechts / Lebensalter über achtzehn Jahre bzw. über einundzwanzig Jahre: der Anwendung des Erwachsenenstrafrechts – von zentraler Bedeutung für die Justiz.

Eine Methode der Lebensaltersbestimmung, die den Zeitraum zwischen dem Beginn der Pubertät und dem zweiten bis dritten Dezennium erfasst, ist in diesem Zusammenhang als Methode der Wahl anzusehen. Dabei haben alle bis dato praktizierten Methoden aufgrund ihrer oft streng definierten Fragestellung jeweils Vor- und Nachteile.

Eine gängige Methode der Lebensaltersdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen bzw. jungen Erwachsenen ist die Anfertigung radiologischer Aufnahmen der linken Hand. Allerdings hat diese Methode den Nachteil, dass es zu einem Verschluss sämtlicher Epiphysen im Handradiogramm bei Jungen und Mädchen mit dem sechzehnten Lebensjahr, bzw. achtzehnten Lebensjahr kommt [Stöver (1983), Zink et al. (1986)]. Diese Methode ist für die oben genannten Fragestellungen somit nur eingeschränkt empfehlenswert; daher ist ein Altersfeststellungsverfahren, dass sich über das sechzehnte bis achtzehnte Lebensjahr hinaus erstreckt, von großer Bedeutung.

Aus radiologischer Sicht eine Region von besonderem Interesse in diesem Zusammenhang ist die mediale Claviculaepiphyse, denn hier erscheint im chronologischen Verlauf des Skelettreifungsprozess das letzte Ossifikationszentrum beim Menschen.

Verschiedene Studien in der Vergangenheit haben sich bereits mit der Ausreifung der Claviculaepiphyse beschäftigt, und das erstmalige Auftreten eines Knochenkerns wird von den Autoren dieser Studien mit verschiedenen Altersangaben beschrieben; jedoch ist mit dem Erscheinen eines Ossifikationszentrums im Sternoclaviculargelenk nicht vor dem Beginn der Pubertät zu rechnen, und darüber hinaus vollzieht sich der Fusionsprozess mit der Clavicula in dem Alter, der für die Klärung der oben genannten Fragestellungen für die Gerichte von besonderer Bedeutung ist. Die dabei angewandten Methoden waren zum einen anatomische Sektionen mit morphologischer Begutachtung [Szilvássy (1977), Owings & Myers (1985)], konventionelle radiologische Untersuchungen des Sternoclaviculargelenkes [Jit & Kulkarny (1976), Schmeling et al. (2004)] oder kombinierte morphologisch/- radiologische Untersuchungen (Ogden et al. 1979).

Im Fall eines Altersfeststellungsverfahrens bei Lebenden im Strafverfahren ist eine anatomische Sektion ausgeschlossen und das konventionelle Röntgenbild des Sternoclaviculargelenkes beinhaltet die Gefahr einer Überlagerung von knöchernen und / oder Weichteilstrukturen, da ein konventionelles Röntgenbild immer ein Summationsbild ist. Eine überlagerungsfreie Darstellung dieser Region ist jedoch Voraussetzung für eine exakte und praktikable Einschätzung eines Fusionsprozesses und kann mit Hilfe einer computertomographischen oder magnetresonanztomographischen Darstellung erreicht werden.

Kreitner et al. haben 1997 und 1998 erstmals die Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse in einer retrospektiven Studie computertomographisch untersucht. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass die Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse mittels CT relativ einfach bestimmt werden kann. Sie empfehlen diese Methoden als additive Maßnahme zur Lebensaltersbestimmung in der Adoleszenz bis zum dritten Dezennium. Sie haben in ihrer süddeutschen Studie auf die seitengetrennte Betrachtung des Ausreifungsprozesses in der linken und rechten Claviculaepiphyse sowie die geschlechtergetrennte Darstellung verzichtet, da sie keine signifikanten Unterschiede in der Ausreifung beobachten konnten.

Beurteilt wurde stets die Ausreifung des linken Sternoclaviculargelenks. Asymmetrien in der Entwicklung zwischen rechtem und linkem Sternoclaviculargelenk wurden nur vereinzelt gefunden (4 Fälle; 1,4%; 1997), so dass es zu keinen statistisch bedeutsamen Unterschieden in der Stadienverteilung kam. Weitere Publikationen, die die Ergebnisse der Arbeit Kreitners bestätigen oder von ihr abweichen, liegen bis zum heutigen Zeitpunkt nicht vor.

Unter diesen Aspekten erschien es interessant, diese Methode zur Lebensaltersbestimmung anhand einer eigenen Studie nachzuvollziehen und somit eigene Werte und Ergebnisse für eine norddeutsche, großstädtische Population zu bekommen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Untersuchung Kreitners nachzuvollziehen und um eine seiten- und geschlechtergetrennte Auswertung zu erweitern.

In einem experimentellen Teil wurden 15 anatomische Sektionspräparate computertomographisch untersucht. Ziel der Untersuchung war die Ermittlung einer optimalen Schichtdicke bei einer computertomographisch gesteuerten Untersuchung des Sternoclaviculargelenkes. Sofern das Lebensalter bekannt war, wurden auch diese Sektionspräparate gemäß der Stadieneinteilung nach Owings und Myers beurteilt, die Ergebnisse wurden aber nicht in die retrospektive Studie miteinbezogen.

1.2 Topographisch-funktionelle Anatomie

1.2.1 Obere Extremität

Der Arm ist durch gelenkige Verbindungen mit dem Schultergürtel, bestehend aus Schulterblatt und Schlüsselbein mit dem Rumpfskelett verbunden.

Das Schulterblatt nimmt mit seiner Gelenkpfanne den Kopf des Oberarmes auf und steht mit dem Rabenschnabelfortsatz in gelenkiger Verbindung zur lateralen Extremitas acromiales des Schlüsselbeines. Medial ist das Schlüsselbein über das Brustbein-Schlüsselbeingelenk mit dem Rumpf verbunden.

1.2.2 Das Schlüsselbein (Clavicula)

Die Clavicula ist ein 12-15cm langer, schwach S-förmig gebogener Knochen, der sich in seiner Form der Thoraxwölbung anpasst. Der Knochen ist in seiner ganzen Länge unter der Haut zu ertasten und dient Muskeln als Ursprung, ohne dass er von diesen umhüllt ist. Lediglich Hautnerven (Nn. supraclaviculares) ziehen über die Clavicula hinweg. Das Mittelstück der Clavicula, Corpus claviculae, entspricht dem Schaft eines Röhrenknochens und ist vom Schulterblatt abwärts von oben nach unten zunehmend flacher. Die äußere Begrenzung der Clavicula, Extremitas acromialis, trägt eine kleine ovale Gelenkfläche für das Schulterreckgelenk. Die innere Begrenzung der Clavicula, Extremitas sternalis, ist kolbenförmig verbreitert und schließt mit einer sattelförmigen Gelenkfläche zum Brustbein ab.

1.2.3 Schlüsselbeingelenk (*Articulatio sternoclavicularis*)

Das Schlüsselbeingelenk ist die einzige gelenkige Verbindung zwischen der oberen Extremität und dem Thorax. Es liegt zwischen der *Extremitas sternalis* der Clavicula, die den oberen Brustbeinrand überragt, und der *Incisura clavicularis* des Sternum.

Die Gelenkhöhle wird durch eine Faserknorpelscheibe, *Discus articularis*, in zwei vollständige Kammern unterteilt. Der *Discus articularis* ist medial kaudal am Sternum und lateral cranial an der Clavicula befestigt und mit der ringsum schließenden Gelenkkapsel verwachsen. Mehrere Bandzüge verstärken die relativ kleine Gelenkpfanne und schränken dadurch den Bewegungsumfang im Sternoclaviculargelenk ein.

Der Bandapparat besteht aus dem *Ligamentum sternoclaviculare anterior*, welches das Zurückführen der Schulter hemmt, dem *Lig. sternoclaviculare posterior*, das die Vorwärtsbewegung hemmt, sowie dem *Lig. Interclaviculare*, das zwischen den beiden Extremitäten Sternales verläuft und das Senken in diesem Gelenk hemmt.

Ein weiterer Bandzug, das *Lig. Costoclaviculare*, befestigt die *Extremitas sternalis* mit der ersten Rippe. Das Sternoclaviculargelenk entspricht funktionell einem Kugelgelenk, das wie um drei aufeinander senkrecht stehende Achsen beweglich ist. Bei herabhängendem Arm befindet sich die Clavicula annähernd in Horizontallage und kann aus dieser Neutral-Null Stellung heraus um ca. 50° gehoben, um ca. 5° gesenkt und um ca. 20° nach vorn oder hinten bewegt werden.

1.3 Osteogenese

1.3.1 Desmale Osteogenese

Der Schlüsselbeinkörper entsteht durch direkte Knochenbildung, desmale Osteogenese, ungefähr in der siebten Entwicklungswoche und ist das erste verknöchernde Skelettelement des Körpers. Die gelenknahen knorpeligen Anteile des Schlüsselbeins werden durch indirekte Knochenbildung, (en)-chondrale Osteogenese, ersetzt. Die desmale Osteogenese entsteht durch Zellvermehrung im Mesenchym, aus denen die Osteoblasten hervorgehen.

Die Osteoblasten produzieren ein glykoproteinhaltiges Grundgerüst, das Osteoid, sowie Tropokollagen, das extrazellulär zu größeren Einheiten, den Kollagenfibrillen, polymerisiert. Die Mineralisierung des Grundgerüsts wird ebenfalls durch die Osteoblasten vermittelt, indem sie Kalzium aufnehmen und in Form von Kalzium-Phosphatsalz in die Grundsubstanz einlagern. Die Osteoblasten verlieren durch diesen Einlagerungsvorgang ihre Fähigkeit, das Osteoid zu produzieren. Sie werden fortan als Osteocyten bezeichnet.

Durch diese Einbauprozesse entsteht zunächst primitiver Faserknochen, der später zu reifem Lamellenknochen umgebaut wird. Der für die anabolen und metabolen Vorgänge wichtige Stoffaustausch zwischen den Osteocyten und dem arteriellen Gefäßsystem erfolgt über gap junctions, die zwischen dünnen Zellfortsätzen in feinen Knochenkanälchen verlaufen. Die Zellkörper der Osteocyten liegen in knöchernen Höhlen, den Lakunen, und ihre Zellfortsätze münden sowohl in die Lakunen benachbarter Osteocyten als auch in die Haverschen Gefäßkanäle. Die Osteocyten stehen somit in einem großflächigen Austausch zum mineralisierten Gewebe und zum Gefäßsystem. Ihre Funktion besteht im Abfangen von Kalzium aus dem Serum sowie der Mobilisation von Kalzium aus dem Knochengewebe.

In einem sich anschließenden Prozess, der als appositionelles Wachstum bezeichnet wird, werden nun Schichten lamellären Knochens auf den primitiven Faserknochen aufgelagert. Durch diese Verdichtung entsteht der reife lamelläre Knochen. Gleichzeitig wird der primitive Geflechtknochen durch endostale enzymatische Aktivität der Osteocyten resorbiert.

1.3.2 Perichondrale Osteogenese

Im Bereich der Dia- und Metaphyse des Schlüsselbeins erfolgt durch perichondrale Verknöcherung das Dickenwachstum des Knochens. Die perichondrale Osteogenese verläuft dabei nach dem Prinzip der desmalen Osteogenese. Durch stete Auflagerung von Faserknochenbälkchen entsteht eine Knochenmanschette und unterhalb dieser werden die Knorpelzellen durch das primäre Knochenmark ersetzt, das je nach Alter, Geschlecht und Lokalisation entweder hämatopoetisch aktiv ist oder in Fettmark umgewandelt wird.

1.3.3 Enchondrale Osteogenese

Im Innern der Diaphyse, am Übergang vom rein knorpeligen zum bereits perichondral verknöcherten Schaft, wird der embryonale Knorpel durch die Tätigkeit der Chondroklasten abgebaut, und es entsteht die primäre Markhöhle, in der jedoch noch keine Blutbildung stattfindet.

In den gelenknahen Abschnitten der Epiphyse bleibt typisch hyaliner Knorpel liegen. In Richtung Diaphyse ordnen sich die Knorpelzellen in Längsrichtung des Knochens zu

einer Proliferationszone - dem Säulenknorpel - an, aus der neue Knorpelzellen hervorgehen. Diaphysenwärts ist die Ernährung des Säulenknorpels nicht mehr gewährleistet; es kommt zur Kalzifizierung: die Zellen werden größer und bilden die Schicht des Blasenknorpels.

Chondroklasten eröffnen die Zone des Blasenknorpels und formen aus den verkalkten Knorpelsepten das Gerüst der späteren Spongiosa. Durch das Einsprossen von Blutkapillaren in diesen Bereich entsteht die Eröffnungszone. In der sich metaphysenwärts anschließenden Ossifikationszone lagern sich Osteoblasten auf die kalzifizierten Knochensepten auf. Der so entstandene primäre Geflechtknochen wird mit den verkalkten Knorpelsepten abgebaut und über sekundären Geflechtknochen zu Lamellenknochen umgebaut.

Mit der Ausbildung eines Knochenkernes in der Epiphyse entsteht zu Beginn der Pubertät ein sekundäres Ossifikationszentrum [Benninghoff (2002), Moll und Moll (1995)].

1.4 Aufbau und Prinzip eines Computertomographen

Ein Computertomograph besteht aus einer Abtastvorrichtung, der Gantry, die äußerlich wie ein Reif aufgebaut ist und sich im Winkel von $+25^\circ$ bis -25° zur Tischebene neigen lässt. Im Innern der Gantry befindet sich die Röntgenröhre mit einem Verbund von vielen Detektoren.

Bei einem Scan-Vorgang erfasst ein breit gefächerter Röntgenstrahl das zu untersuchende Objekt und wird beim Durchtritt durch diese Materie entsprechend dem spezifischem Dichtewert der Materie geschwächt. Die aus dem Körper austretende Röntgenstrahlung wird von einem Verbundsystem aus Detektoren gemessen. Die Detektoren, dies sind Messkammern für die einfallende Röntgenstrahlung, arbeiten nach dem Prinzip der Ionisationskammer (Hochdruck-Gasdetektoren) oder nach dem Prinzip einer Szintillator-Photodioden-Kombination (Cs-Jodid Festkörperdetektoren).

Die zum Zeitpunkt der Untersuchung gebräuchlichen Scanner werden als Scanner der dritten und vierten Generation bezeichnet. Bei Scannern der dritten Generation bewegt sich die Röntgenröhre gleichsinnig und gleichzeitig um das zu untersuchende Objekt. Das Detektorfeld besteht dabei aus 200-1000 Einheiten, die kürzeste Untersuchungszeit beträgt 1-4 Sekunden. Bei Scannern der vierten Generation bewegt sich die Röntgenröhre um das zu untersuchende Objekt, die aus dem Objekt heraustretende Röntgenstrahlung wird jedoch dabei von einem Ring aus feststehenden Detektoren gemessen. Ein derart geschlossener feststehender Detektorring enthält 300-4000 Detektoren; die kürzeste Scanzeit beträgt bei diesem System 3-8 Sekunden.

Weitere Bausteine eines Computertomographen sind der Generator, der die Röntgenröhre mit der nötigen Hochspannung versorgt; dazu kommt eine Rechereinheit mit entsprechender Software, die der Rekonstruktion der Schichtbilder und der Steuerung sowie sämtlicher Funktionsabläufe des Systems, z.B. dem Tischvorschub des Lagerungstisches, dient.

Zu einem funktionierenden System gehören ferner eine Magnetplatte, die als Zwischenspeicher der errechneten Daten dient sowie entsprechendes Material zur Langzeitspeicherung der durchgeführten Untersuchungen (Optical Disk, Magnetband).

An der Bedienungskonsole des CT lassen sich die Einstellungen der Scanparameter und die Bildauswertung vornehmen. Die Bedienungskonsole ist mit der Rechereinheit verbunden und befindet sich stets außerhalb des Untersuchungsraumes.

1.4.1 Mathematische Grundlagen

Bei einem konventionellen Röntgenbild kommt es zu einer Überlagerung vieler Schwächungswerte auf dem Bild und somit auf einer einzigen Ebene, währenddessen das computertomographische Bild zu einer punktgenauen Darstellung der räumlichen Verteilung von Schwächungswerten führt und insofern mehrere Ebenen Berücksichtigung finden.

Die Röntgenröhre, die sich fortlaufend (360°) um den Patienten herum bewegt, liefert Schwächungswerte aus vielen unterschiedlichen räumlichen Ebenen. Die Summe der Schwächungswerte bestimmt das räumliche Auflösungsvermögen sowie Anzahl und Informationsgehalt der Bildelemente (Bildelement = Pixel). Da das Bildelement nicht nur durch die Größe der Bildelemente (Bildmatrix) selbst und den Scanfeld-Durchmesser bestimmt ist, sondern auch von der gewählten Schichtdicke und somit ein Volumen beschreibt, wird deshalb von einem Volumenelement (Voxel) gesprochen. Ein Voxel entspricht also einem Pixel multipliziert mit der Schichtdicke.

Die Schwächung von Röntgenstrahlen erfolgt im diagnostischen Bereich der Computertomographie hauptsächlich als Photoabsorption (Photoeffekt) und Streuung und lässt sich durch das Schwächungsgesetz quantitativ beschreiben als $I = I_0 e^{-\mu d}$.

Dabei gilt folgendes:

- μ entspricht dem linearen Schwächungskoeffizient der durchstrahlten Materie und ist abhängig von der Strahlenart und vom Material.
- e entspricht der Basis des natürlichen Logarithmus.
- I steht für die austretende Strahlungsintensität.
- I_0 ist gleich der einfallenden Strahlungsintensität.
- d entspricht der Dicke der Materie, der Schichtdicke.

Die bei dem Durchstrahlen eines Voxels und das in ihm enthaltenen Gewebe auftretenden charakteristischen Schwächungswerte werden in ihrer relativen Abweichung, bezogen auf Wasser, als mit dem Faktor 1000 multiplizierte lineare Schwächungskoeffizienten von dem durchstrahlten Gewebe als CT-Zahl angegeben.

$$\text{CT-Zahl} = \frac{\mu_x - \mu_w}{\mu_w} \times 1000$$

μ_w entspricht dem linearen Schwächungskoeffizienten von Wasser.

μ_x = linearer Schwächungskoeffizient des durchstrahlten Gewebes, abhängig von der Gewebeart.

Die durch die CT-Zahl bestimmten Dichtewerte haben in einer willkürlich festgelegten Skala den Wert 0 HE für Wasser, den Wert -1024 HE für Luft und bis zu über $+3000$ HE für Knochen.

Diese Skala wird nach dem Wegbereiter der Computertomographie, dem Physiker G. N. Hounsfield, als Hounsfield-Skala bezeichnet.

1.4.2 Strahlenexposition und Risiko

Für die Beurteilung der Strahlenexposition und dessen Risiko sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen:

Die verschiedenen Strahlenarten (Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, Alpha- sowie Betastrahlen) verursachen aufgrund ihrer unterschiedlichen Ionisationsdichte – die durch den Strahlenwichtungsfaktor ausgedrückt wird – bei gleicher absorbierten Energie im Körpergewebe unterschiedlich starke biologische Wirkungen. Der Wichtungsfaktor für Röntgenstrahlen beträgt 1 und für Alpha-Strahlen 20.

Die Energiedosis beschreibt die durch Ionisation abgegebene Energie an eine Materie und wird in der physikalischen Maßeinheit Gray gemessen. Multipliziert man nun den Wichtungsfaktor einer Strahlenart mit der Energiedosis, erhält man die Äquivalentdosis, die in der Maßeinheit Sievert (SV) angegeben wird.

Zu berücksichtigen ist ferner, dass die verschiedenen Körperorgane und Gewebe unterschiedlich sensibel auf eine bestimmte Strahlenexposition sind. Um die Gesamtbelastungen des Körpers von Teilbelastungen einzelner Organe differenzieren zu können, wird die Äquivalentdosis mit dem individuellen Wichtungsfaktors eines Gewebes oder Organs multipliziert.

Die Summe dieser speziell gewichteten Äquivalentdosis eines oder mehrerer Organe, oder eines gesamten Körpers, ist die effektive Dosis [Jung (2000), Schmeling et al. (2000)].

1.4.3 Bilddarstellung

1.4.3.1 Fensterlage und Fensterbreite

Die bildliche Darstellung einer computertomographischen Untersuchung, sei es auf dem Monitor oder auf einem Röntgenfilm, erfolgt üblicherweise in Grautönen und zwar so, wie sich ein Laie in etwa eine Schwarz-Weiß-Fotografie bzw. einen Schwarz-Weiß-Fernseher vorzustellen hat.

Das menschliche Auge ist darauf ausgerichtet, bis zu zwanzig Grautöne differenzieren zu können. Würde die gesamte Hounsfield-Skala, die 4000HE umfasst, von -1024HE für Luft bis über 3000HE für Knochen, in einem einzigen Bild in den verschiedenen Graustufen zur Darstellung kommen, gingen für das menschliche Auge sehr viele Informationen verloren, weil es nicht in der Lage wäre, die verschiedenen Körpergewebearten zu differenzieren.

Zur Differenzierung kleiner Dichteunterschiede der Gewebe kann nun der Untersucher mittels eines Bildfensters die Grauskala willkürlich festlegen. Bei einer ausgesuchten Fensterbreite (width) gehen nun Dichtewerte, die sich oberhalb dieses Fensters befinden, dem diagnostischen Auge verloren, da sie in Weiß zur Darstellung kommen. Dichtewerte unterhalb dieses Fensters kommen Schwarz zur Darstellung, auch dieses ist gewünscht. Mittels der Fensterlage (center) wird nun der Dichtewert eines Gewebes festgelegt, welcher im mittleren Grautonbereich zur Darstellung kommen soll. Enge

Fenstereinstellungen zeichnen sich durch eine kontrastreiche Darstellung aus, da sie feine Dichteunterschiede der Gewebe für das menschliche Auge erkennbar machen. Strukturen, die sich nicht in diesem Fenster befinden, kommen allerdings gar nicht oder optisch nur schlecht bzw. wenig zur Darstellung. Weite Fenstereinstellungen zeichnen sich durch einen entsprechend verminderten Kontrast aus und bergen die Gefahr der Maskierung von geringen Dichtewertunterschieden.

1.4.3.2 Bild- und Scanparameter

Bei jedem Einzel-Scan, zu dem auch eine Spirale gerechnet wird, erhält man einen bestimmten Satz aus Rohdaten, der sich aus den Bildparametern und den Scanparametern zusammensetzt. Zu den Scanparametern gehören die Schichtdicke (Slice), die Rotationszeit, die Stromstärke (mA) und -spannung (kV) sowie der Tischvorschub pro Umdrehung, der den Schichtabstand festlegt.

Die Bildparameter werden durch den Faltungskern (Kernel) festgelegt. Das ist ein Vorgang der Bildrekonstruktion, bei dem die aufgenommenen Absorptionsprofile einer Filterung unterworfen werden, um die bei der Rückprojektion entstehenden Unschärfen an Objektgrenzen zu eliminieren. Ferner gehört zu den Bildparameter der Rekonstruktionsalgorithmus, das Field of View (FoV, Vergrößerungsfaktor / x+y Koordinaten) und das Increment; ein Faktor, der den Tischvorschub zwischen zwei Scans geteilt durch die Schichtdicke angibt. Mittels des Increments wird die Lage (Tischposition) der zu errechnenden Bilder festgelegt. Der Pitch beschreibt das Verhältnis des Tischvorschubs pro Rotation zur Schichtdicke, ausgedrückt als

$$\text{Pitch } x = \frac{\text{Tischvorschub}}{\text{Schichtdicke}}$$

Scanparameter sind nach der Datenaufnahme nicht mehr zu ändern, jedoch sind einige Bildparameter, in Abhängigkeit davon, ob der entsprechende Rohdatensatz noch vorliegt oder ob er schon aus dem Arbeitsspeicher gelöscht worden ist, zu einem späteren Zeitpunkt neu berechenbar. So ist es zum Beispiel nicht möglich, nachträglich mit Hilfe des Increments Bilder mit einer veränderten Schichtdicke (z.B. geringerer Schichtdicke) zu errechnen. Sämtliche Bilder einer Spiralsequenz haben somit die Schichtdicke, die als Slice bzw. Kollimation zum Zeitpunkt der Untersuchung eingestellt wurden, und sind damit nicht mehr veränderbar.

1.5 Computertomographische Untersuchungstechniken

Bei den Scannern der dritten und vierten Generation unterscheidet man zwischen Spiral- und Einzelschichtung. Dabei kommen meist Schichtdicken im Bereich von 1-10 mm zur Verwendung; dies ist abhängig von der klinischen Fragestellung und dem zu untersuchenden Organ.

1.5.1 Konventionelle Tomo Mode

Bei der Einzelschichtung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Verfahrensweisen:

Die kontinuierliche Schichtung erfolgt ohne Zwischenraum, d. h. Schicht auf Schicht wird das zu untersuchende Organ fortlaufend durchstrahlt. Der Tischvorschub und die Schichtdicke sind dabei gleich groß, woraus ein Pitch = 1 resultiert.

Die überlappende Schichtung erfolgt mit einem kleineren Tischvorschub als die Schichtdicke; es resultieren sich jeweils überlappende Schichten.

Der Pitch beträgt somit < 1 .

Bei der diskontinuierlichen Schichtung liegt zwischen den einzelnen Schichten ein Zwischenraum, d. h. der Tischvorschub ist größer als die Schichtdicke.

Der Pitch beträgt im Fall einer solchen Schichtung > 1 .

1.5.2 Spiral Tomo Mode

Ein Spiral-Scan ist eine lückenlose Volumenaufnahmetechnik bei gleichzeitigem kontinuierlichem Tischvorschub und rotierender Röntgenröhre. Die Vorteile dieser Scantechnik liegen in der kurzen Untersuchungszeit der darzustellenden Untersuchungsregion und somit einer wesentlich verringerten Gefahr durch Artefakte, die durch Atmungs- und Bewegungsexkursionen verursacht werden können. Durch die erheblich kürzeren Untersuchungszeiten ergibt sich eine höhere Akzeptanz – Compliance – durch die Patienten und eine geringere Patientendosis.

Durch die verkürzte Untersuchungszeit kommt es zu einer wesentlich besseren Erfassung eines maximalen Enhancements bei einer Kontrastmittelgabe, da wesentlich mehr Schichten erfasst werden können als bei einer konventionellen Schichtung. Auch ist die Gefahr des Übersehens eines Atem-verschieblichen pathologischen Substrates deutlich geringer [Wegener (1992), Maatsch und Knapheide (1997), Fishmen und Brooke (1998)].

2 Patienten und Methoden

Die Arbeit gliedert sich in einen retrospektiven und einen prospektiven – experimentellen Teil.

Retrospektiv wurden 263 CT-Untersuchungen des Thorax und des Halses aus dem Zeitraum von 1995 bis 2001 ausgewertet. Das Patientenalter lag zwischen vier und einunddreißig Jahren.

Hinsichtlich einer erneuten Dokumentation mit veränderten Bildparametern wurden nur solche CT-Untersuchungen in diese Studie miteinbezogen, die eine ausreichende anatomische sowie technische Erfassung und Beurteilbarkeit der Sternoclavicularregion durch eine Knochenfensterlage boten. Die CT-Untersuchungen wurden an einem CT der Firma Phillips und an zwei Computertomographen der Firma Siemens (Somatom Plus 4, Somatom Plus S) in der Abteilung für Radiologische Diagnostik des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf durchgeführt. Zur Auswertung kamen CT-Untersuchungen des Thorax und des Halses. Während bei einer CT-Untersuchung des Thorax die Arme des Patienten über den Kopf gestreckt sind, ist es bei einer Routineuntersuchung des Halses üblich, dass die Arme des Patienten entlang dem Rumpf ausgestreckt sind.

Prospektiv wurden 15 anatomische Sektionspräparate des Instituts für Rechtsmedizin in Hamburg computertomographisch untersucht. Ziel war die Ermittlung einer optimalen Schichtdicke bei einer computertomographischen Untersuchung der Sternoclaviculargelenkes.

Da sich bei den retrospektiv ausgesuchten CT-Bildern im Gegensatz zu manch anderen Parametern der nachträglichen Bildbearbeitung, die bei der ursprünglichen Untersuchung gewählte Schichtdicke postprozessional sich nicht mehr ändern ließ, war

es sehr interessant, den Einfluss verschiedener Schichtdicken auf den Datenfluss und die bildliche Darstellung des Sternoclaviculargelenkes zu untersuchen.

Die Präparate wurde ebenfalls einer Stadienzuordnung gemäß Owings Webb und Myers Suchey (1985) bewertet, die Ergebnisse wurden nicht in die retrospektive Studie einbezogen.

Von den 263 retrospektiven CT-Untersuchungen konnten neun Patienten in einem zeitlichen Verlauf beobachtet und dokumentiert werden. Die zeitlichen Verläufe differenzierten dabei mindestens zwischen einer Altersklasse, zum Teil konnte auch ein mehrjähriger Verlauf erfasst werden. In 201 Fällen (76,4%) war ein Tumorleiden, in 32 Fällen (12,2%) ein Entzündungs- bzw. Infektionsnachweis Grund für die Untersuchung. Es folgen mit 16 Fällen (6,08%) die Traumadiagnostik, und in 14 Fällen (5,3%) gab es unterschiedliche Gründe für die Untersuchung. So zum Beispiel Gefäßerkrankungen, Personaluntersuchungen und Persönlichkeitsstörungen. In zwei Fällen konnte kein ursächlicher Grund für die Untersuchung erhoben werden. Bei 240 Fällen (91,25%) wurde ein Spiral-CT gefahren und in 23 Fällen (8,75%) ist ein herkömmlicher Tomo-Mode für die Untersuchung gewählt worden. Die angewandten Schichtdicken lagen in 207 Fällen (78,70%) bei 5 mm, in 24 Fällen (9,12%) bei 7 mm, in 14 Fällen (5,32%) bei 10 mm, in neun Fällen (3,42%) bei 3 mm, in fünf Fällen (1,90%) bei 8 mm und in vier Fällen (1,92%) bei 1 mm.

2.1 Datenerhebung und Modifikation der CT-Untersuchung

Anhand der CT-Logbücher wurden die CT-Untersuchungen des Thorax und des Halses unter Berücksichtigung eines maximalen Alters herausgesucht. Durch das Aufspielen einer Magnetspeicherplatte bzw. Optical Disk, auf der die gewünschte Untersuchung gespeichert war, konnten sie der erneuten Manipulation durch den Untersucher von der Bedienungskonsole des CT's aus zugänglich gemacht werden. Nach einer visuellen Inspektion der gesamten CT-Untersuchung, bei der überprüft wurde, ob die Sternoclavicularregion in ausreichendem Maße in der vorliegenden Untersuchung dokumentiert ist (idealerweise unteres Claviculadrittel bis erstes sternocostales Gelenk), begann die Manipulation des Bildmaterials, indem über diejenigen Scans mit dem gewünschten Bildmaterial ein Zoomfaktor gelegt wurde. Durch Scrollen wurde das vergrößerte und gegebenenfalls dezentrierte Bildmaterial entsprechend dem Bildfenster mittig ausgelegt.

Anschließend wurde die Graustufung in der Bilddarstellung durch Veränderung der Fensterlage und Fensterbreite dahingehend optimiert, dass für Knochen und Knorpel gute Kontrastunterschiede gegenüber dem übrigen Gewebe erzielt wurden. Abhängig vom jeweiligen Gerät ließen sich weitere Einstellungen vornehmen; so wurde beispielsweise in 134 Fällen (51%) ein dreistufiger Sharp über das Bild gelegt, der für eine bessere Kantenanhebung sorgt. Die derart manipulierten Bilder wurden nun für eine neue Dokumentation auf einem eigenen Bildbogen mit einer Vierer- bis Sechser-Einteilung abfotografiert.

2.2 Untersuchungsprotokolle

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die relevanten Daten der untersuchten Patienten sowie die wichtigsten Untersuchungsparameter erfasst.

Tabelle 1.

Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
42	m	4	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,22
43	m	5	TU	Spiral	5	1450	450	100	150	3	3	4,06
44	f	5	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	7	2,87
49	m	5	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,83
45	m	6	TU	Spiral	10	1400	450	120	200	3	5	4,02
46	f	7	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	7	2,86
40	m	8	TU	Spiral	5	1450	450	120	300	3	7	3,11
47	m	8	TU	Spiral	5	1450	450	100	250	3	4	
48	m	8	TU	Spiral	5	1450	500	140	160			
50	m	8	Entzündung	Spiral	5	1800	450	120	250			
41	m	9	TU	Spiral	5	1800	450	120	200	3	3	3,95
51	f	9	TU	Spiral	5	1400	500	120	175		3	3,91
52	m	9	TU	Spiral	5	1400	450	120	100			
53	f	9	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,11
54	f	9	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	175	3	3	5,25
				Einzel-								
1	m	10	TU	schicht	5	1800	450	140	125		5	2,53
2	m	10	Entzündung	Spiral	5	1450	450	120	200	3	7	3,95
220	f	10	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
3	m	11	TU	Spiral	10	1400	450	120	250	3	5	3,58
4	m	11	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,95
5	m	11	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,47
6	m	11	TU	Spiral	3	1400	450	120	200	3	8	4,56
7	m	11	Trauma	Spiral	5	1450	450	120	160			
8	m	11	TU	Spiral	3	1700	400	140	120			
9	f	11	TU	Spiral	10	1400	450	120	200	3	5	3,89
10	f	11	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,15
11	f	11	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	4,48
226	f	11	TU	Spiral	5	1800	500	140	160			2,00
			Aortenisthmus-									
238	m	11	stenose	Spiral	5	1600	500	140	250			2,00
				Einzel-								
12	m	12	TU	schicht	10	1400	450	120	250	3	5	3,94
13	m	12	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	175	3	3	4,56
				Einzel-								
14	m	12	TU	schicht	5	1450	450	120	350	3	5	2,52
15	f	12	TU	Spiral	5	1800	450	120	200	3	3	2,83
225	m	12	TU	Spiral	5	1200	450	140	160			2,00
228	m	12	TU	Spiral	5	1800	450	120	220			2,00
16	m	13	TU	Spiral	5	1400	500	120	160			
17	m	13	TU	Spiral	3	1800	450	120	200		4	
18	f	13	TU	Spiral	5	1450	450	120	350	3	5	2,21

ff.	Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
	19	f	13	Neurofibro- matose	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	4,14
	20	f	13	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,25
	21	f	13	TU	Einzel- schicht	5	1500	450	120	350	3	5	1,96
	22	f	13	TU	Spiral	5	1800	500	140	250			
	218	f	13	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
	223	f	13	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
	262	m	13	TU	Spiral	7	1600	500	120	220			2,00
	23	m	14	TU	Spiral	5	1400	450	120	250	3	4	3,61
	24	m	14	TU	Einzel- schicht	10	1450	450	120	250	3	5	3,90
	25	m	14	COPD	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,85
	26	m	14	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	8	3,18
	27	m	14	Trauma	Spiral	5	1800	500	120	160			
	28	f	14	TU	Einzel- schicht	5	1450	450	120	350	3	5	2,03
	29	f	14	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,60
	30	f	14	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,96
	31	f	14	TU	Spiral	3	2400	400	140	160			
	32	m	14	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,62
	33	m	14	Entzündung	Spiral	5	1500	500	140	160			
	206	f	14	Entzündung	Spiral	5	1800	450	140	160			2,00
	213	f	14	Tu	Spiral	5	1200	450	140	160			2,00
	233	m	14	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
	247	m	14	Entzündung	Spiral	7	1600	500	140	200			2,00
	34	m	15	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,07
	35	m	15	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,30
	36	m	15	TU	Spiral	5	1450	450	120	160			
	37	m	15	TU	Spiral	8	1450	500	120	160			
	38	m	15	TU	Spiral	5	1450	450	120	160			
	39	f	15	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,67
	212	f	15	TU	Spiral	5	1200	450	140	160			2,00
	237	f	15	TU	Spiral	7	1850	500	140	240			2,00
	55	m	16	TU	Spiral	5	1475	350	120	160			
	56	f	16	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,54
	57	m	16	Entzündung	Spiral	5	1800	450	120	200		4	2,64
	58	m	16	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,55
	59	f	16	TU	Spiral	5	1500	450	120	200	3	3	3,39
	60	f	16	Trauma	Spiral	8	1450	450	120	160			
	61	f	16	TU	Einzel- schicht	5	1800	450	140	125	3	5	2,59
	192	m	16	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		4	3,21
	193	f	16	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	4,40
	194	m	16	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		3	3,18
	195	m	16	TU	Spiral	5	1450	500	140	160			
	205	m	16	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
	62	f	17	TU	Einzel- schicht	5	1450	450	120	250	3	4	4,54

ff.												
Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
63	f	17	CDIDP	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,75
64	m	17	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	8	3,68
65	f	17	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	
66	f	17	TU	Spiral	5	1450	500	120	200			
67	f	17	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,10
68	m	17	TU	Spiral	5	2500	500	120	160			
209	f	17	TU	Spiral	5	1800	600	140	160			2,00
221	m	17	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
230	f	17	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
248	m	17	TU	Spiral	7	1600	500	120	240			2,00
255	m	17	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
69	m	18	TU	Spiral	3	1700	400	140	120			
70	f	18	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,21
71	m	18	TU	Einzel- schicht	5	1400	450	140	250	3	5	2,30
72	f	18	Infektion	schicht	5	1450	450	140	250	3	5	2,39
73	f	18	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,95
74	m	18	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	3,81
75	f	18	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,76
76	f	18	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	8	4,36
77	m	18	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	2,92
189	m	18	TU	Spiral	5	1450	500	140	210			
190	f	18	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,79
196	m	18	TU	Spiral	5	1400	450	140	160			
201	m	18	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,84
204	m	18	TU	Einzel- schicht	5	1400	450	140	125	3	5	2,24
242	m	18	TU	Spiral	7	1600	500	140	200			2,00
243	m	18	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
78	m	19	TU	Spiral	5	2500	500	120	160			
79	m	19	TU	Spiral	1	1450	500	140	270			
80	f	19	TU	Spiral	5	1450	450	140	250	3	4	4,83
81	f	19	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,52
82	m	19	TU	Spiral	5	1400	400	140	160			
83	f	19	-	Spiral	3	2500	500	120	160			
84	m	19	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,45
85	f	19	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	4,13
86	m	19	TU	Spiral	5	2500	550	140	160			
87	m	19	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		3	2,82
88	m	19	TU	Einzel- schicht	5	1400	450	140	250	3	5	2,68
188	m	19	Trauma	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	2,97
202	m	19	TU	Spiral	5	2500	500	140	160			
208	m	19	Trauma	Einzel- schicht	3	2500	500	140	200			2,00
231	m	19	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
246	f	19	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
253	m	19	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00

ff.												
Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
260	m	19	Entzündung	Spiral	7	1700	500	140	200			2,00
				Einzel-								
89	m	20	TU	schicht	5	1400	450	120	350	3	5	2,54
90	f	20	Orbitopathie	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,46
91	m	20	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,71
92	f	20	TU	Spiral	10	1450	450	120	250	3	5	4,29
93	f	20	TU	Spiral	5	1450	450	140	160			
94	m	20	Personalunters.	Spiral	10	1450	450	120	250	3	5	3,87
95	m	20	Trauma	Spiral	5	2500	500	120	160			
96	f	20	TU	Spiral	5	1800	450	120	200			
97	f	20	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	4,41
98	m	20	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,00
215	f	20	TU	Spiral	5	1200	450	140	160			2,00
232	f	20	Trauma	Spiral	5	1800	450	140	240			2,00
236	f	20	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
101	f	21	Hyperthyreose	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,39
102	m	21	TU	Spiral	5	1450	450	120	350	3	5	2,77
103	m	21	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	8	2,90
104	f	21	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	160			
105	f	21	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	160			
106	f	21	-	Spiral	5	1400	500	140	160			
107	m	21	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,16
108	m	21	TU	Spiral	5	1570	550	140	160			
109	m	21	TU	Spiral	5	1500	450	120	160			
110	m	21	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,82
111	m	21	Entzündung	Spiral	5	1500	450	120	200		8	2,62
187	m	21	Trauma	Spiral	8	1450	450	120	160			
210	m	21	TU	Spiral	5	1800	600	140	160			2,00
235	m	21	TU	Spiral	7	1800	500	140	240			2,00
112	f	22	TU	Spiral	5	1800	450	120	200	3	3	2,41
113	m	22	TU	Spiral	5	1450	450	140	250	3	4	3,16
				Einzel-								
114	f	22	TU	schicht	5	1400	450	120	350	3	5	2,53
115	m	22	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,34
			ASD-									
116	m	22	Verschuß	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,22
117	m	22	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		4	2,29
207	m	22	TU	Spiral	5	1800	450	140	160			2,00
211	m	22	Entzündung	Spiral	3	1200	500	140	160			2,00
251	f	22	Entzündung	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
257	m	22	Trauma	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
118	m	23	Entzündung	Spiral	5	1450	600	140	200			
119	f	23	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,96
120	m	23	TU	Spiral	5	1450	450	140	250	2		
121	m	23	TU	Spiral	5	1450	450	100	200	3	3	3,76
122	m	23	TU	Spiral	5	1400	500	140	160			
123	m	23	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,03
124	m	23	Entzündung	Spiral	5	1450	500	140	160			
125	m	23	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	2,50

ff.												
Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
254	m	23	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
256	m	23	TU	Spiral	5	1800	450	140	160			2,00
126	f	24	Entzündung	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,85
				Einzel-								
127	m	24	TU	schicht	10	1450	450	120	250	3	5	3,65
128	m	24	TU	Spiral	5	1500	450	140	160			
129	f	24	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	4,19
130	m	24	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,60
133	m	24	TU	Spiral	10	1400	450	120	250	3	5	3,35
217	f	24	TU	Spiral	5	1200	450	140	160			2,00
222	f	24	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
224	m	24	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
241	m	24	TU	Spiral	7	1600	500	140	200			2,00
258	m	24	Trauma	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
131	m	25	TU	Spiral	10	1450	450	120	250	3	3	3,70
132	m	25	Infektion	Spiral	10	1400	450	120	250	3	5	3,32
134	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,02
135	f	25	Infektion	Spiral	10	1450	450	120	250	3	5	3,99
136	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	2,91
137	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	3,91
138	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,79
139	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,58
140	f	25	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		4	2,53
141	m	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	3,11
				Einzel-								
142	f	25	TU	schicht	5	1500	450	140	250	3	5	2,11
143	f	25	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,02
186	m	25	NTX	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	4,21
199	m	25	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		3	2,97
216	f	25	TU	Spiral	5	1800	550	140	160			2,00
234	f	25	Infektion	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
245	m	25	TU	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
252	f	25	Entzündung	Spiral	5	1600	500	140	160			2,00
259	m	25	Trauma	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
197	f	26	TU	Spiral	5	1450	500	140	160			
			Persönlich-									
144	f	26	keitsstörung	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,03
145	m	26	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,02
146	f	26	Trauma	Spiral	8	1450	450	120	160			
147	m	26	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,71
			Dilatation d.									
			oberen									
148	m	26	Hohlvene	Spiral	5	1450	450	140	160			
				Einzel-								
149	m	26	TU	schicht	5	1450	450	140	250	3	5	2,03
150	f	26	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,16
151	m	26	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,21
				Einzel-								
152	m	26	TU	schicht	5	1400	450	140	250	3	5	2,07

ff.

Nr.	sex	Alter	Diagnose	Technik	Slice	Window	Center	KV	mA	Sharp	Filter	Zoom
153	m	26	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,64
154	m	26	Infektion	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,28
155	m	26	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,10
156	m	26	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	3,75
157	f	26	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,58
158	m	26	TU	Spiral	5	1400	420	140	160			
159	m	26	TU	Spiral	5	1580	540	120	320			
160	f	26	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,47
161	f	26	TU	Spiral	5	1800	450	120	200	3	3	3,02
214	f	26	Entzündung	Spiral	5	1650	550	120	240			2,00
219	m	26	TU	Spiral	5	1500	500	140	160			2,00
229	f	26	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
239	f	26	Entzündung	Spiral	7	1600	500	140	200			2,00
250	f	26	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
162	m	27	TU	Spiral	5	1450	450	120	160			
163	m	27	Kong. Herzer- krankung	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,68
164	f	27	Trauma	Spiral	8	1800	450	120	160			
165	f	27	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,65
166	f	27	benigner TU	Spiral	5	1450	450	140	250	3	5	2,44
167	m	27	TU	Einzel- schicht	5	1400	450	140	250	3	5	2,14
168	m	27	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	3,30
169	f	27	TU	Einzel- schicht	5	1400	450	140	250	3	5	2,10
170	f	28	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	3	4,17
171	f	28	TU	Spiral	5	1450	450	120	250	3	4	3,63
172	m	28	TU	Einzel- schicht	10	1450	450	120	250	3	5	3,52
173	m	28	TU	Einzel- schicht	10	1450	450	120	250	3	5	3,64
174	f	28	TU	Spiral	5	1400	500	120	340			
175	m	28	TU	Spiral	5	1900	435	140	160			
176	f	28	TU	Spiral	5	1450	475	140	160			
177	f	28	TU	Spiral	5	1450	450	120	200	3	8	2,77
227	f	28	TU	Spiral	5	1800	500	140	160			2,00
244	f	28	Entzündung	Spiral	3	1600	500	140	240			2,00
261	m	28	TU	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
178	m	29	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	8	3,00
179	m	29	TU	Spiral	5	1400	450	120	200		3	2,55
200	m	29	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	2,96
240	m	29	Trauma	Spiral	7	1600	500	140	240			2,00
263	m	29	TU	Spiral	5	1500	450	140	160			2,00
180	f	30	TU	Spiral	5	1400	450	120	200	3	3	4,46
181	m	30	Trauma	Spiral	5	2500	500	140	140			
182	f	31	TU	Spiral	1	1450	500	140	270			
183	f	31	TU	Spiral	5	1450	450	120	160			4,30
184	m	31	Infektion	Spiral	5	1570	500	120	160			
185	m	31	TU	Spiral	5	1800	450	120	200		8	1,24

2.3 Bildauswertung

Bei der Bildauswertung wurde bezüglich des Alters der Patienten und der Zuordnung zu den Altersklassen festgelegt, dass eine „Altersklasse“ bedeutet, das entsprechende Lebensalter vollendet und das sich darauf anschließende Lebensjahr noch nicht vollendet zu haben. Demnach bedeutet die Altersklasse 14 Jahre, dass die Person den vierzehnten Geburtstag erreicht hat, aber noch nicht den fünfzehnten. Die Bildauswertung erfolgte stets in Unkenntnis des tatsächlichen Alters des Patienten.

Die Bewertung der Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse wurde nach der Methode von Owings Webb und Myers Suchey (1985) sowie Jit und Kulkarni (1976) vorgenommen, die vier Stadien differenzieren:

Das Stadium 1 entspricht der noch nicht verknöcherten Epiphyse, kein Ossifikationszentrum lässt sich nachweisen. Im Stadium 2 ist ein Ossifikationszentrum im Gelenkspalt nachweisbar. Stadium 3 beschreibt die partielle Fusion des Epiphysenkerns mit der medialen Claviculametaphyse, die im Stadium 4 abgeschlossen ist (s. Abb. 1-4).

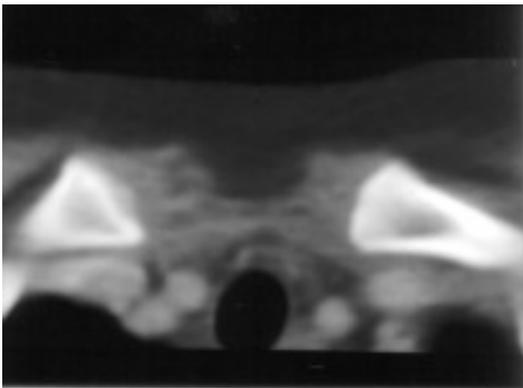


Abb. 1 zeigt das Stadium 1
Kein Ossifikationszentrum erkennbar.
9 Jahre alt, männlich

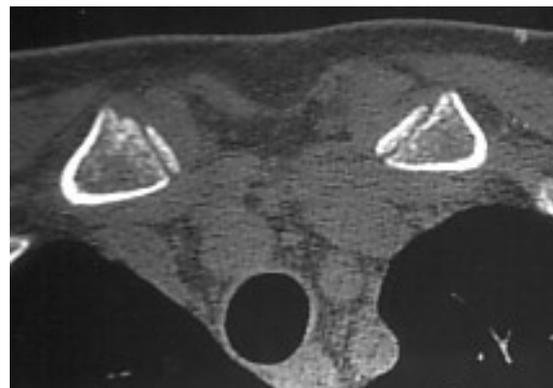


Abb. 2 zeigt Stadium 2
Beidseits je ein flacher Knochenkern
ohne partielle Fusion.
17 Jahre alt, weiblich

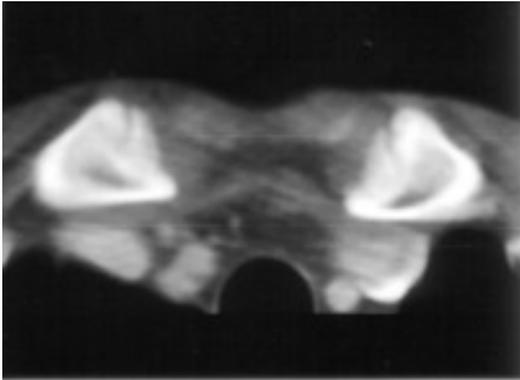


Abb. 3: Stadium 3

Partielle Fusion der medialen Clavicula
Epiphyse beidseits; 19 Jahre alt, männlich

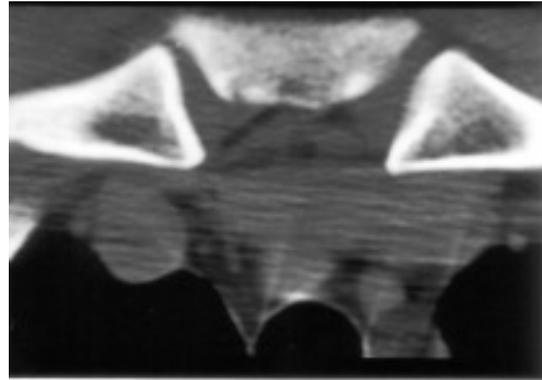


Abb. 4: Stadium 4

Fusion abgeschlossen mit kräftiger
kortikaler Begrenzung der medialen
Clavicula; 27 Jahre alt, männlich

In den Fällen, in denen eine Asymmetrie in der Ausreifung zwischen der rechten und der linken medialen Claviculaepiphyse festgestellt wurde, ist nach dem Prinzip der Aufrundung zum Stadium des höher ausgereiften medialen Claviculaendes verfahren worden. Da bei 76% der untersuchten Patienten ein Tumorleiden vorlag, ist davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Teil dieser Patienten eine chemotherapeutische Behandlung erfahren hat, bei der es zu einer mehrmonatigen Wachstumsverzögerung kommen kann. Unter Berücksichtigung dieser Überlegung erscheint das Aufrunden in den wenigen Fällen der Asymmetrie im Verhältnis zur Anzahl der Tumorpatienten gerechtfertigt.

Die Zuordnung der Bilder zu den einzelnen Stadien wurden zunächst selbständig von dem zum MTRA ausgebildeten Doktoranden vorgenommen und anschließend mit dem radiologischen Doktorvater diskutiert.

2.4 Statistische Testverfahren

Es ist davon auszugehen, dass das zufällig gewählte Patientenkollektiv die Durchschnittsbevölkerung Hamburgs mit seinem Anteil an in- und ausländischen Mitbürgern repräsentiert.

In dieser Untersuchung kamen folgende Testverfahren zur Anwendung:

Für die Asymmetrien in der Ergebnisreihe wurde der Vorzeichentest verwandt. Der Vorzeichentest ist ein nicht-parametrischer Test für verbundene Stichproben von quantitativen Merkmalen. Die Prüfgröße ist die Anzahl der positiven bzw. negativen Differenzen der Paare der verbundenen Stichprobe. Die Teststatistik folgt einer Binominalverteilung.

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests wurde die Frage überprüft, ob bei beiden Geschlechtern eine gleiche Altersverteilung vorliegt. Der Chi-Quadrat-Test prüft die Unabhängigkeit zweier qualitativer Merkmale. Die Teststatistik bei Gültigkeit der Nullhypothese folgt der Chi-Quadrat-Verteilung.

Der Mann-Whitney-U-Test diente in der vorliegenden Untersuchung der Berechnung von statistisch signifikanten Mittelwertsunterschieden. Er ist ein nicht-parametrischer Test zum Vergleich zweier unverbundener Stichproben quantitativer Merkmale. Die Prüfgröße des Tests wird aus den Rangzahlen der Stichproben berechnet [Baur et al. (1996), Phillips (1997)].

3 Ergebnisse

3.1 Gesamtkollektiv

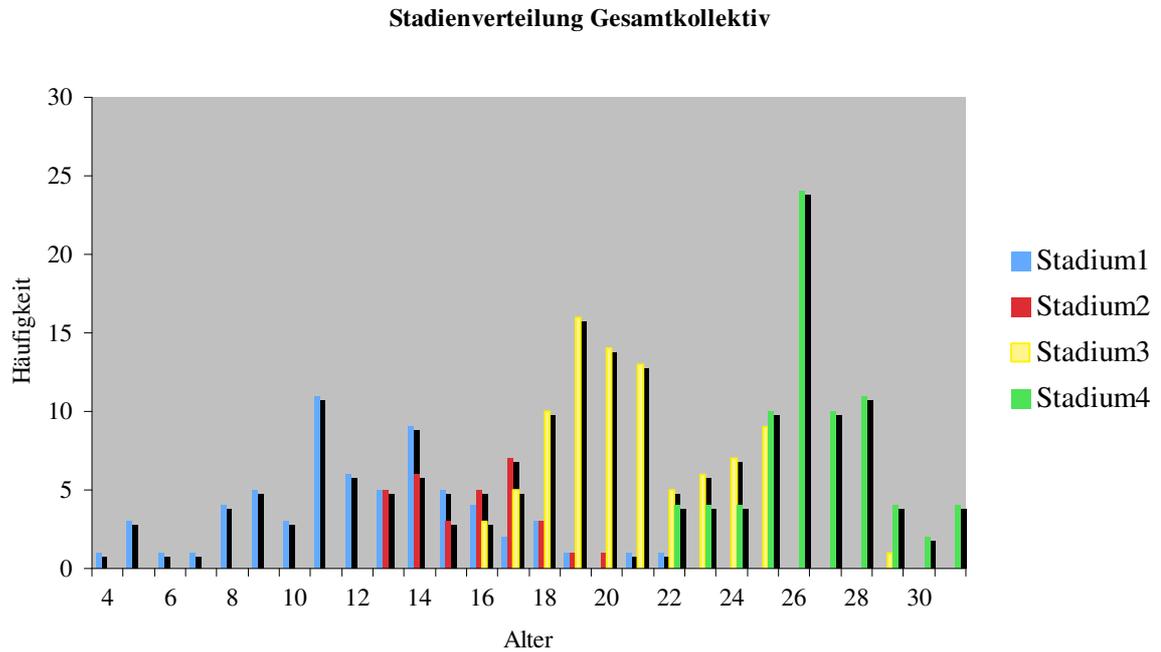
Zur Auswertung lagen die Stadieneinteilungen von 263 Patienten vor. Davon waren 105 Patienten weiblichen Geschlechts (39,9%) und 158 männlichen Geschlechts (60,1%). In 25 Fällen (9,5%) fanden sich unterschiedliche Stadien bei der Beurteilung des linken und rechten Sternoclaviculargelenks. In diesen Fällen wurde für die Bestimmung des Gesamtstadiums das jeweils ältere Stadium gewählt.

Tabelle 2 und Diagramm 1 geben einen Überblick über die Stadien in Bezug auf die Altersverteilung des gesamten Patientenkollektivs.

Tabelle 2:

Alter	Total	Stadium1	Stadium2	Stadium3	Stadium4
4	1	1	-	-	-
5	3	3	-	-	-
6	1	1	-	-	-
7	1	1	-	-	-
8	4	4	-	-	-
9	5	5	-	-	-
10	3	3	-	-	-
11	11	11	-	-	-
12	6	6	-	-	-
13	10	5	5	-	-
14	15	9	6	-	-
15	8	5	3	-	-
16	12	4	5	3	-
17	14	2	7	5	-
18	16	3	3	10	-
19	18	1	1	16	-
20	15	-	1	14	-
21	14	1	-	13	-
22	10	1	-	5	4
23	10	-	-	6	4
24	11	-	-	7	4
25	19	-	-	9	10
26	24	-	-	-	24
27	10	-	-	-	10
28	11	-	-	-	11
29	5	-	-	1	4
30	2	-	-	-	2
31	4	-	-	-	4
Total	263	66	31	89	77

Diagramm 1:



Entsprechend dem Ansatz von Kreitner et al. (1997) wurde für die Verteilung der Stadien über die verschiedenen Altersgruppen eine annähernde Normalverteilung angenommen und die Wahrscheinlichkeit der Stadienzugehörigkeit für jedes definierte Alter bestimmt.

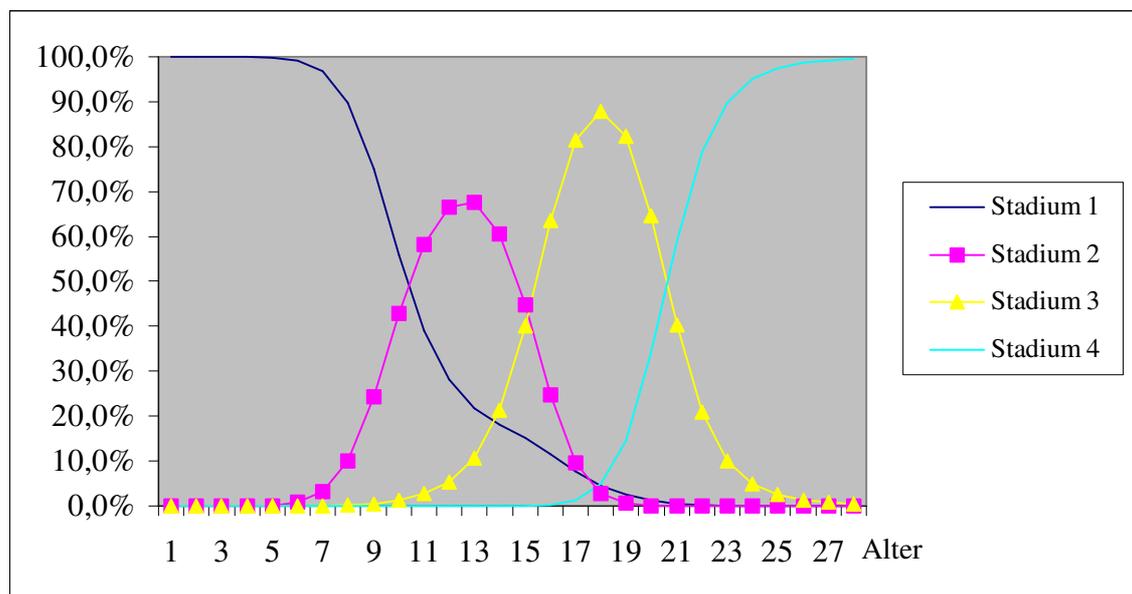
Tabelle 3 und Diagramm 2 zeigen die Wahrscheinlichkeitsangabe für das Gesamtkollektiv, bei einem definiertem Alter, unter der Annahme einer Normalverteilung, einem bestimmtem Stadium zugehörig zu sein.

Tabelle 3:

Alter	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
4	100,0%	-	-	-
5	100,0%	-	-	-
6	100,0%	-	-	-
7	100,0%	-	-	-
8	99,8%	0,1%	-	-
9	99,2%	0,8%	-	-
10	96,8%	3,1%	0,1%	-
11	89,7%	10,1%	0,2%	-
12	75,1%	24,4%	0,5%	-
13	55,9%	42,9%	1,3%	-
14	39,1%	58,2%	2,7%	-
15	28,1%	66,6%	5,3%	-
16	21,8%	67,6%	10,6%	-
17	18,1%	60,5%	21,3%	-
18	15,2%	44,8%	40,0%	-
19	11,5%	24,7%	63,5%	0,3%
20	7,6%	9,7%	81,4%	1,3%
21	4,5%	2,8%	87,9%	4,8%
22	2,5%	0,6%	82,3%	14,5%
23	1,3%	0,1%	64,5%	34,1%
24	0,5%	-	40,4%	59,1%
25	0,2%	-	21,0%	78,8%
26	0,1%	-	10,1%	89,8%
27	-	-	4,9%	95,1%
28	-	-	2,5%	97,5%
29	-	-	1,3%	98,7%
30	-	-	0,8%	99,2%
31	-	-	0,5%	99,5%

Das Durchschnittsalter für das Erscheinen eines Ossifikationskerns im Sternoclaviculargelenk liegt im Stadium 2 bei 15,68 Jahren. Die Standardabweichung beträgt im Stadium 2 1,94 Jahre. Der 95% Referenzbereich im Stadium 2 umfasst das Alter von 11,8 bis 19,56 Jahren. Für das Stadium 3 liegt der Mittelwert bei 20,69 Jahren; die Standardabweichung beträgt 2,67 Jahre und der 95% Referenzbereich reicht von 15,34 bis 26,03 Jahren. Für das Stadium 1 reicht er bis 19,9 Jahre und für das Stadium 4 beginnt er bei 22,08 Jahren.

Diagramm 2:



Das Diagramm 2 zeigt die grafische Wahrscheinlichkeitsverteilung der Patienten, die bei einem definierten Alter – unter der Annahme einer Normalverteilung – zu einem festgelegtem Stadium gehören.

3.2 Asymmetrien

Bei den 25 Patienten, denen unterschiedliche Stadien links und rechts zuzuordnen waren, erwiesen sich in 12 Fällen die Stadien rechts als weiterentwickelt und in 13 Fällen die Stadien links. Entsprechend dem Vorzeichentest (one sample sign test) ergaben sich keine systematischen Unterschiede. In keinem Fall wich die Stadieneinteilung zwischen den beiden Sternoclaviculargelenken um mehr als 1 Stadium ab.

Beispiele für eine Asymmetrie in der Ausreifung zwischen rechtem und linkem Sternoclaviculargelenk und der unterschiedlichen Stadienzuordnung zeigen die folgenden Abbildungen 5-9.

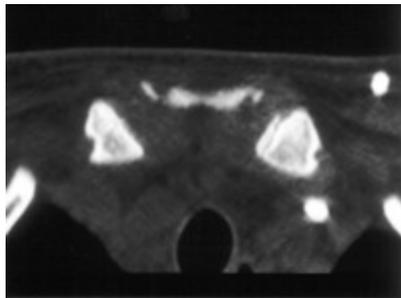


Abb. 5

Abbildung 5 zeigt einen 19-jährigen Patient mit Asymmetrie in der Ausreifung beider SC-Gelenke. Im linken Sternoclaviculargelenk zeigt sich ein Ossifikationszentrum, vorwiegend im dorsalen Gelenkabschnitt gelegen, das weder partiell noch komplett mit der Clavicula verschmolzen ist. Dies entspricht dem Stadium 2.

Im rechten SC-Gelenk ist noch kein Ossifikationskern erkennbar, dies entspricht dem Stadium 1.

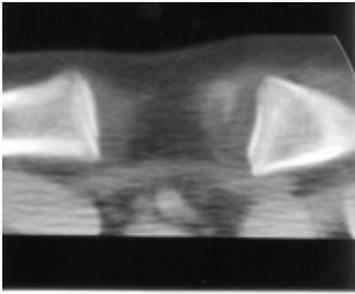


Abb. 6

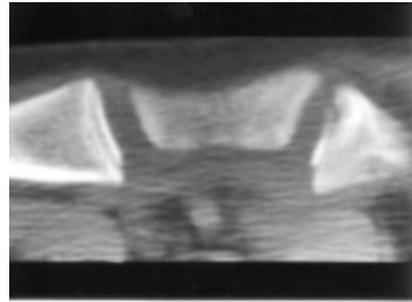


Abb. 7

Abbildung 6 und 7 zeigen eine 16-jährige Patientin mit Asymmetrie. In der Abbildung 6 ist das Ossifikationszentrum im linken SC-Gelenk mit der Clavicula bereits partiell fusioniert und entspricht dem Stadium 3, während das Ossifikationszentrum im rechten SC-Gelenk noch keine Fusion mit der Clavicula aufweist und dem Stadium 2 zuzuordnen ist.

Auf dem rechten Bild (Abb. 7), das bereits das Sternum mit anschneidet und somit ein Scan caudal von Abbildung 6 ist, zeichnet sich weiterhin keine partielle Fusion des rechten Ossifikationskernes mit der Clavicula ab.

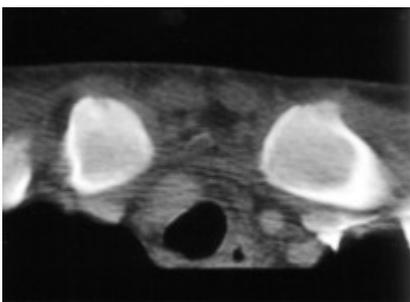


Abb. 8

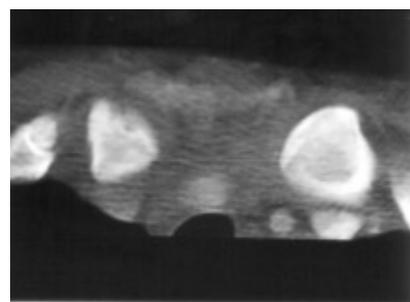


Abb. 9

Abbildung 8 und 9 zeigen die Aufnahme eines 21-jährigen Patienten, der in den Abbildungen 8 und 9 im linken SC-Gelenk dem Stadium 4 zuzuordnen ist und im rechten SC-Gelenk dem Stadium 3.

In Abbildung 8, dem cranialen Scan, erkennt man deutlich wie der Ossifikationskern sich kappenartig („Capping“) dem medialen Claviculaende anlegt und in Abbildung 9, wie er mit der Clavicula komplett fusioniert ist.

Eine deutliche Kortikalis begrenzt die Clavicula zum Sternum hin. Das rechte Ossifikationszentrum dagegen zeigt in Abbildung 8 noch deutlich den Charakter einer partiellen Fusion, der ventrale Anteil des Ossifikationskerns zeigt noch einen deutlich klaffenden Spalt.

3.3 Geschlechterdifferenzen

Um eventuell vorhandene Reifungsunterschiede zwischen den Geschlechtern auswerten zu können, die sich in unterschiedlichen Altersmittelwerten der einzelnen Stadien ausdrücken können, wurde zunächst mittels Chi-Quadrat-Test überprüft, ob in Bezug auf die beiden Geschlechter eine Altersgleichverteilung besteht. Die Hypothese der Altersgleichverteilung im Chi-Quadrat-Test konnte nicht widerlegt werden ($p=0.36$). Damit kann das Patientenkollektiv als brauchbar für die Bestimmung von Geschlechtsunterschieden angesehen werden.

Die Tabelle 4 zeigt den Vergleich beobachteter und erwarteter Häufigkeiten entsprechend dem Chi-Quadrat-Test.

Tabelle 4:

Alter	Gesamtzahl	Beobachtete Häufigkeit Frauen	Erwartete Häufigkeit Frauen	Beobachtete Häufigkeit Männer	Erwartete Häufigkeit Männer
4	1	-	0,4	1	0,6
5	3	1	1,2	2	1,8
6	1	-	0,4	1	0,6
7	1	1	0,4	-	0,6
8	4	-	1,6	4	2,4
9	5	3	2	2	3
10	3	1	1,2	2	1,8
11	11	4	4,4	7	6,6
12	6	1	2,4	5	3,6
13	10	7	4	3	6
14	15	6	6	9	9
15	8	3	3,2	5	4,8
16	12	5	4,8	7	7,2
17	14	8	5,6	6	8,4
18	16	6	6,4	10	9,6
19	18	5	7,2	13	10,8
20	15	9	6	6	9
21	14	4	5,6	10	8,4
22	10	3	4	7	6
23	10	1	4	9	6
24	11	4	4,4	7	6,6
25	19	7	7,6	12	11,4
26	24	11	9,6	13	14,4
27	10	5	4	5	6
28	11	7	4,4	4	6,6
29	5	-	2	5	3
30	2	1	0,8	1	1,2
31	4	2	1,6	2	2,4

Die Altersmittelwerte für jedes Stadium zeigten Unterschiede bezüglich des Geschlechts. Für das Stadium 2 und für das Stadium 3 lag der Altersmittelwert der weiblichen Patientinnen 1,63 bzw. 1,73 Jahre unter dem entsprechenden Wert der Männer. Das heißt, dass männliche Jugendliche die Stadien 2 und 3 erst in einem höheren Lebensalter erreichen, als weibliche Jugendliche.

Tabelle 5 zeigt die Übersicht über die Altersmittelwerte der einzelnen Stadien der Frauen

Tabelle 5:

	Mittelwert	Stand.abw.	Anzahl	Minimum	Maximum	Median
Alter Stadium1 Frauen	11,474	2,913	19	5,000	17,000	11,000
Alter Stadium2 Frauen	14,786	1,578	14	13,000	17,000	14,500
Alter Stadium3 Frauen	19,684	2,395	38	16,000	25,000	20,000
Alter Stadium4 Frauen	26,588	1,877	34	22,000	31,000	26,000

Tabelle 6 zeigt die Übersicht über die Altersmittelwerte der einzelnen Stadien der Männer

Tabelle 6:

	Mittelwert	Stand.abw.	Anzahl	Minimum	Maximum	Median
Alter Stadium1 Männer	12,638	4,078	47	4,000	22,000	12,000
Alter Stadium2 Männer	16,412	1,938	17	13,000	20,000	17,000
Alter Stadium3 Männer	21,412	2,594	51	17,000	29,000	21,000
Alter Stadium4 Männer	26,140	2,284	43	22,000	31,000	26,000

Im Mann-Whitney-U-Test für unverbundene Stichproben ergeben sich statistisch signifikante Mittelwertunterschiede für die Stadien 2 und 3 ($p=0,023$ bzw. $p=0,003$).

Dementsprechend ergeben sich für Männer und Frauen unterschiedliche Häufigkeitstabellen und Wahrscheinlichkeitstabellen der Stadienzuordnung zum entsprechenden Alter.

3.3.1 Ergebnis für Frauen

Tabelle 7 und Diagramm 3 zeigen die Häufigkeitsverteilung des Alters bezüglich der einzelnen Stadien für die Frauen.

Tabelle 7:

Alter	Total	Stadium1	Stadium2	Stadium3	Stadium4
4	-	-	-	-	-
5	1	1	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	1	1	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	3	3	-	-	-
10	1	1	-	-	-
11	4	4	-	-	-
12	1	1	-	-	-
13	7	3	4	-	-
14	6	3	3	-	-
15	3	1	2	-	-
16	5	-	2	3	-
17	8	1	3	4	-
18	6	-	-	6	-
19	5	-	-	5	-
20	9	-	-	9	-
21	4	-	-	4	-
22	3	-	-	2	1
23	1	-	-	1	-
24	4	-	-	2	2
25	7	-	-	2	5
26	11	-	-	-	11
27	5	-	-	-	5
28	7	-	-	-	7
29	-	-	-	-	-
30	1	-	-	-	1
31	2	-	-	-	2
32	105	19	14	38	34

Diagramm 3:

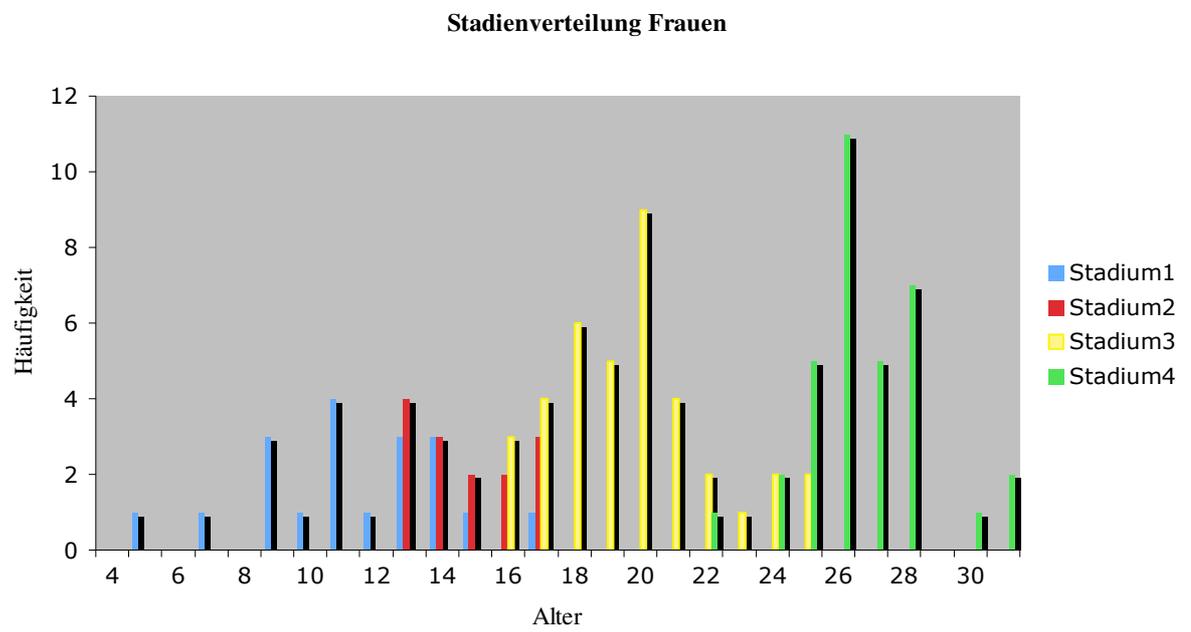


Tabelle 8 und Diagramm 4 zeigen die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das weibliche Geschlecht – unter der Annahme einer Normalverteilung – an der ab einem definierten Alter Stadienzugehörigkeit besteht.

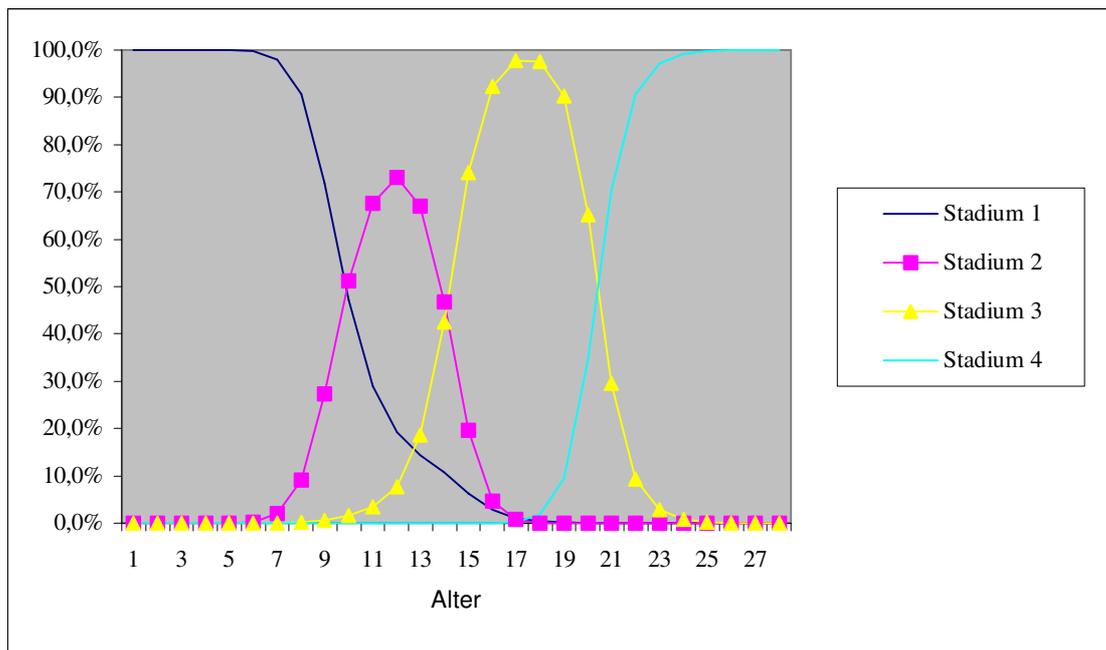
Tabelle 8:

Alter	Stadium1	Stadium2	Stadium3	Stadium4
4	100,0%	-	-	-
5	100,0%	-	-	-
6	100,0%	-	-	-
7	100,0%	-	-	-
8	100,0%	-	-	-
9	99,7%	0,3%	-	-
10	97,9%	2,0%	0,1%	-
11	90,6%	9,2%	0,2%	-
12	71,9%	27,4%	0,6%	-
13	47,2%	51,2%	1,6%	-
14	29,0%	67,6%	3,5%	-
15	19,2%	73,0%	7,7%	-
16	14,3%	67,1%	18,6%	-
17	10,7%	46,8%	42,6%	-
18	6,3%	19,7%	74,0%	-
19	2,8%	4,7%	92,4%	-
20	1,1%	0,8%	97,8%	0,3%
21	0,4%	0,1%	97,6%	1,9%
22	0,2%	-	90,2%	9,6%
23	0,1%	-	65,1%	34,8%
24	-	-	29,5%	70,5%
25	-	-	9,4%	90,6%
26	-	-	2,8%	97,2%
27	-	-	0,9%	99,1%
28	-	-	0,3%	99,7%
29	-	-	0,1%	99,9%
30	-	-	0,1%	99,9%
31	-	-	-	100,0%

Das Durchschnittsalter für das Erscheinen eines Ossifikationskerns im Sternoclaviculargelenk bei Mädchen liegt im Stadium 2 bei 14,83 Jahren. Die Standardabweichung beträgt im Stadium 2 1,59 Jahre. Der 95% Referenzbereich im Stadium 2 umfasst das Alter von 11,65 bis 18,01 Jahren.

Für das Stadium 3 liegt der Mittelwert bei 19,67 Jahren; die Standardabweichung beträgt 2,45 Jahre und der 95% Referenzbereich reicht von 14,77 bis 24,57 Jahren. Für das Stadium 1 reicht er bis 17,29 Jahre und für das Stadium 4 beginnt er bei 22,81 Jahren.

Diagramm 4:



Das Diagramm zeigt die grafische Wahrscheinlichkeitsverteilung der Patientinnen – unter der Annahme einer Normalverteilung – die ab einem bestimmten Alter zu einem definiertem Stadium gehören.

3.3.2 Ergebnis für Männer

Tabelle 9 und Diagramm 5 zeigen die Häufigkeitsverteilung des Alters bezüglich der einzelnen Stadien für die Männer

Tabelle 9:

Alter	Total	Stadium1	Stadium2	Stadium3	Stadium4
4	1	1	-	-	-
5	2	2	-	-	-
6	1	1	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	4	4	-	-	-
9	2	2	-	-	-
10	2	2	-	-	-
11	7	7	-	-	-
12	5	5	-	-	-
13	3	2	1	-	-
14	9	6	3	-	-
15	5	4	1	-	-
16	7	4	3	-	-
17	6	1	4	1	-
18	10	3	3	4	-
19	13	1	1	11	-
20	6	-	1	5	-
21	10	1	-	9	-
22	7	1	-	3	3
23	9	-	-	5	4
24	7	-	--	5	2
25	12	-	-	7	5
26	13	-	-	-	13
27	5	-	-	-	5
28	4	-	-	-	4
29	5	-	-	1	4
30	1	-	-	-	1
31	2	-	-	-	2
32	158	47	17	51	43

Diagramm 5:

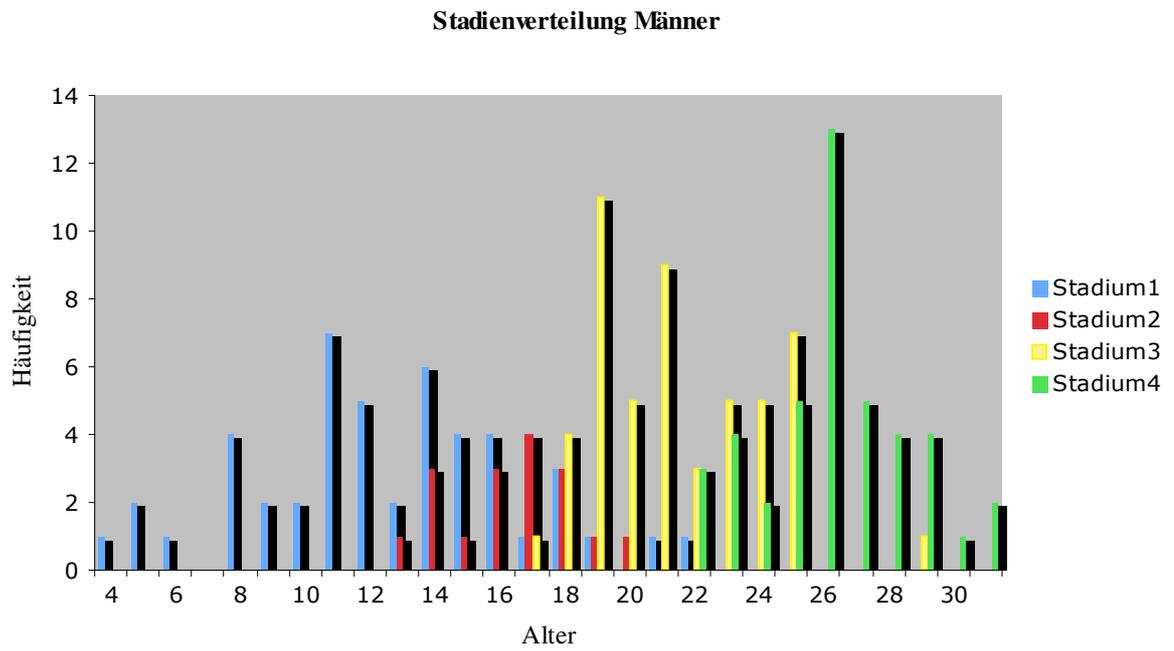


Tabelle 10 und Diagramm 6 zeigen die Wahrscheinlichkeitsverteilung für Männer – unter der Annahme einer Normalverteilung – die ab einem bestimmten Alter zu einem definierten Stadium gehören.

Tabelle 10:

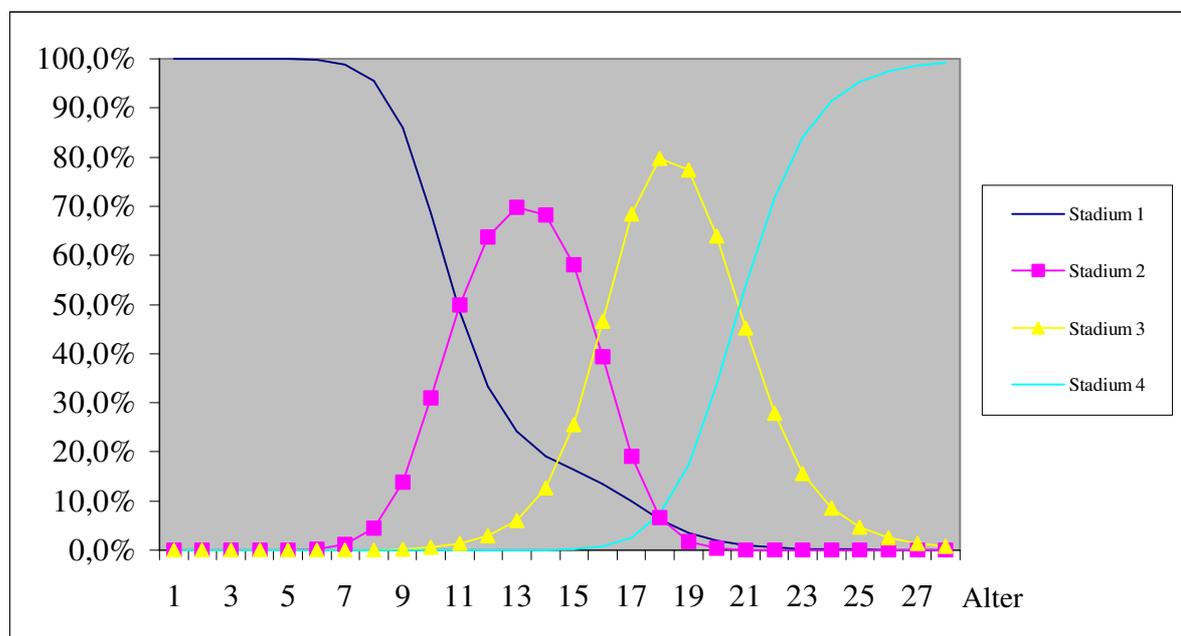
Alter	Stadium1	Stadium2	Stadium3	Stadium4
4	100,0%	-	-	-
5	100,0%	-	-	-
6	100,0%	-	-	-
7	100,0%	-	-	-
8	100,0%	-	-	-
9	99,8%	0,2%	-	-
10	98,9%	1,1%	-	-
11	95,5%	4,5%	-	-
12	86,0%	13,8%	-	-
13	68,6%	30,9%	0,6%	-
14	48,6%	50,0%	1,4%	-
15	33,4%	63,7%	2,9%	-
16	24,2%	69,8%	6,0%	-
17	19,2%	68,2%	12,6%	-
18	16,3%	58,0%	25,6%	0,1%
19	13,5%	39,3%	46,5%	0,7%
20	9,9%	19,1%	68,5%	2,5%
21	6,3%	6,6%	79,8%	7,4%
22	3,6%	1,7%	77,3%	17,4%
23	2,0%	0,3%	64,0%	33,8%
24	1,0%	-	45,2%	53,8%
25	0,5%	-	27,8%	71,7%
26	0,2%	-	15,6%	84,1%
27	0,1%	-	8,5%	91,4%
28	0,1%	-	4,6%	95,4%
29	-	-	2,5%	97,4%
30	-	-	1,4%	98,6%
31	-	-	0,8%	99,2%

Das Durchschnittsalter für das Erscheinen eines Ossifikationskerns im Sternoclaviculargelenk bei männlichen Jugendlichen liegt im Stadium 2 bei 16,41 Jahren. Die Standardabweichung beträgt im Stadium 2 1,94 Jahre. Der 95% Referenzbereich im Stadium 2 umfasst das Alter von 12,53 bis 20,29 Jahren. Für das

Stadium 3 liegt der Mittelwert bei 21,41 Jahren; die Standardabweichung beträgt 2,59 Jahre und der 95%-Referenzbereich reicht von 16,23 bis 26,59 Jahren. Für das Stadium 1 reicht er bis 21,8 Jahre und für das Stadium 4 beginnt er bei 21,55 Jahren.

Die grafische Wahrscheinlichkeitsverteilung für Männer, die ab einem definiertem Alter – unter der Voraussetzung einer Normalverteilung – zu einem bestimmten Stadium gehören, zeigt das untenstehende Diagramm 6.

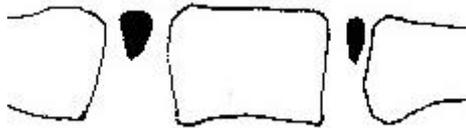
Diagramm 6:



3.4 Topographische Lage, Form und Anzahl der Ossifikationskerne

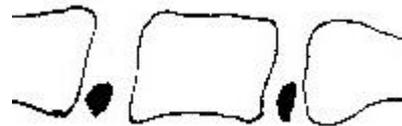
3.4.1 Topographische Lage

Innerhalb der Gelenkkapsel kommt das Ossifikationszentrum überwiegend im dorsalen Abschnitt, das heißt zum Brustraum hin gelegen, zur Darstellung. Ein Auftreten im zentralen Bereich zwischen Clavicula und Sternum oder im ventralen, zur äußeren Brustwand gelegenen Anteil der Gelenkkapsel, ist ebenso möglich (s. Abb. 5 und 6).



Zeichnung 1

Zwei Ossifikationskerne im ventralen Gelenkabschnitt.



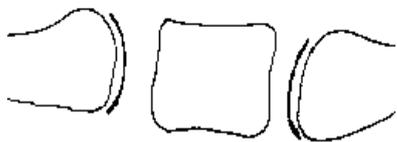
Zeichnung 2

Zwei Ossifikationskerne im dorsalen Gelenkabschnitt.

3.4.2 Form der Ossifikationszentren

Die Erscheinungsformen der Ossifikationszentren sind vielfältig:

Die Knochenkerne erscheinen zum einen wie eine flache Scheibe, diskusartig, die sich über das ventrale und das dorsale Ende der Clavicula wie eine Kappe legt. Häufig sind die Knochenkerne von polymorpher und plumper Gestalt (s. Abb. 7 und 8).



Zeichnung 3

Jeweils ein Knochenkern legt sich typischerweise kappenartig über die Clavicula im Gelenkspalt (Capping).

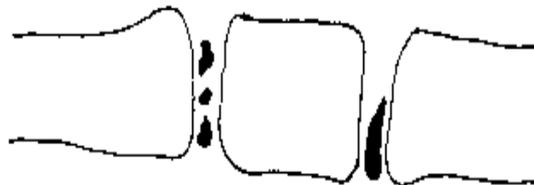


Zeichnung 4

Beispiel für multiple Knochenkerne von polymorpher Gestalt im Gelenkspalt

3.4.3 Die Anzahl der Ossifikationszentren

Die Ossifikationszentren treten sowohl solitär als auch in Form von vielen kleinen Knochenkernen auf, die miteinander konfluieren, um dann mit der Clavicula zu fusionieren. Beispiele für ein solitäres Auftreten oder ein multiples finden sich in den oben gezeigten Ausführungen. Dabei ist es durchaus möglich, dass sich in dem Gelenkspalt der einen Seite ein einzelner Knochenkern findet, während auf der anderen Körperseite multiple Ossifikationszentren erscheinen (Zeichnung 5).



Zeichnung 5

Zeichnung 5 ist ein Beispiel für das gleichzeitige Auftreten von mehreren Knochenkernen in dem Gelenkspalt der einen Körperseite und das Auftreten eines einzelnen Knochenkernes auf der anderen Körperseite.

3.4.4 Verlaufsbeurteilungen und Fälle von schwierigen Zuordnungen

Bei insgesamt 9 von 263 Patienten konnte ein zeitlicher Verlauf dokumentiert werden.

Die Zeitspanne zwischen diesen einzelnen Untersuchungen betrug Monate, zum Teil konnte aber auch ein mehrjähriger Verlauf erfasst werden. Dabei konnte zum Teil eine sichere Stadienzunahme – allerdings nur in einem Sternoclaviculargelenk – festgestellt werden, es gab auch schwierige Fälle, die über einen mehrjährigen zeitlichen Abstand beobachtet wurden, die sich anhand der Kriterien der Stadieneinteilung nur sehr schwer einem entsprechendem Stadium zuordnen ließen, da im zeitlichen Verlauf keine Ossifikationszentren dokumentiert werden konnten und das röntgenmorphologische Erscheinungsbild einem sehr unreifen Zustand entsprach.

Verlaufsbeurteilung:

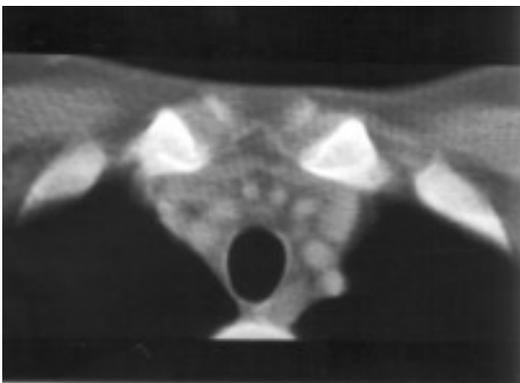


Abb. 10: 15 Jahre, 5 Monate

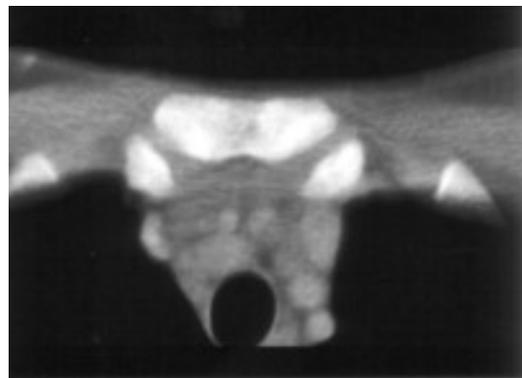


Abb. 11: 15 Jahre, 5 Monate

Stadium 1 in beiden SC-Gelenken beider Schnittbilder.

In beiden Schnittbildern befindet sich kein Nachweis eines Ossifikationszentrums. Der Gelenkspalt ist relativ eng.

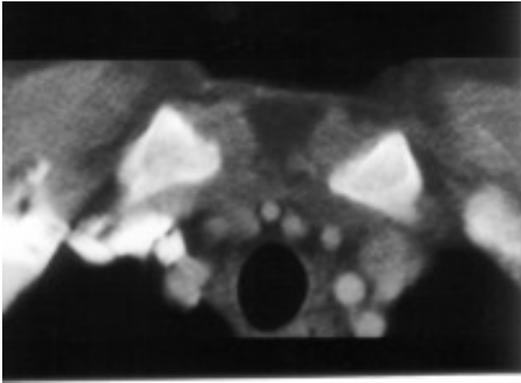


Abb. 12: 15 Jahre, 10 Monate
Stadium 1 in beiden SC-Gelenken
dieses Schnittbildes.

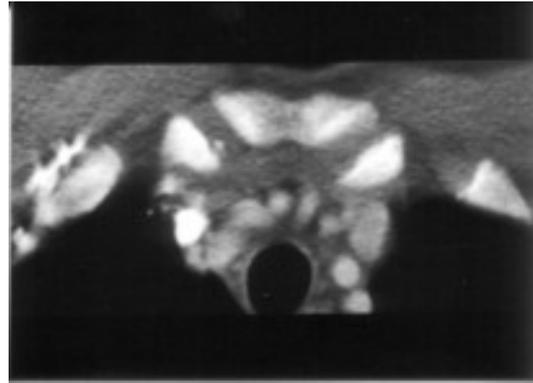


Abb. 13: 15 Jahre, 10 Monate
Stadium 2 im rechten SC-Gelenk.
Im dorsal gelegenen Gelenkspalt zeigt sich
ein kleiner -nicht partiell- fusionierter
Ossifikationskern.

Abbildung 10-13:

Bei den Bildern 10-13 handelt es sich um einen 15-jährigen Jungen, bei dem innerhalb eines sechsmonatigen Verlaufs eine Stadienzunahme im rechten Sternoclaviculargelenk beobachtet und dokumentiert werden konnte. Die Bilder 10 und 12 sind Schnittbilder oberhalb des Manubriums, bzw. in Bild 10 ist das Manubrium gerade mit angeschnitten. Abbildung 11 und 13 sind Schnittbilder in etwa der gleichen Höhe des Manubriums.

Fälle von schwierigen Zuordnungen:

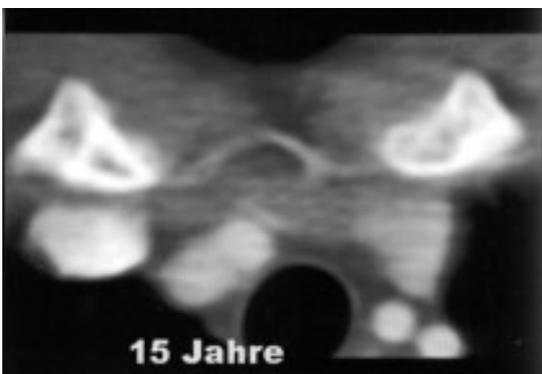


Abb. 14: 15-jähriger Junge, Stadium 1

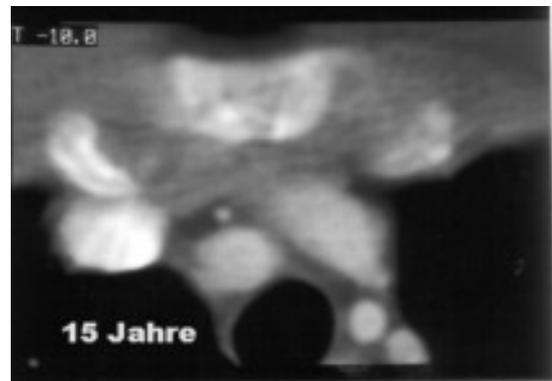


Abb. 15: 15-jähriger Junge, Stadium 1

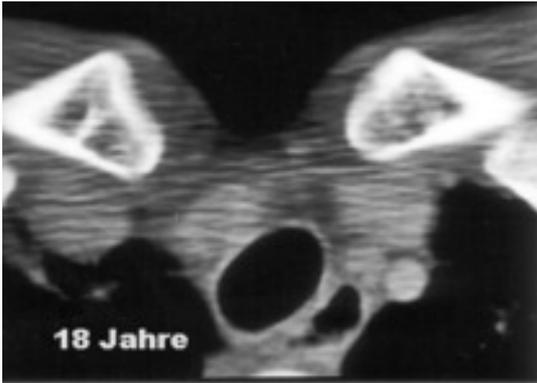


Abb. 16: 18 Jahre, Stadium 1

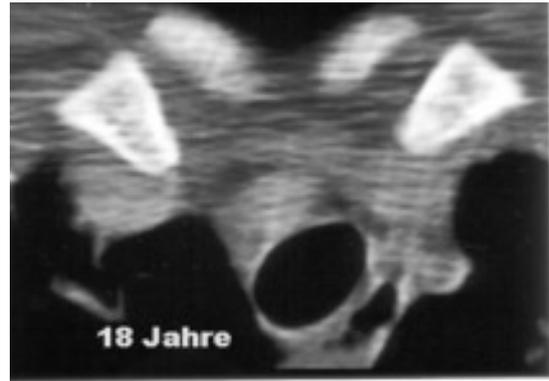


Abb. 17: 18 Jahre, Stadium 1

Abbildung 14-17:

Bei den Abbildungen 14-17 handelt es sich um eine Verlaufsdokumentation des gleichen Patienten im Alter von 15 Jahren und 18 Jahren. Sowohl bei den beiden Abbildungen im Alter von 15 Jahren als auch auf den Abbildungen im Alter von 18 Jahren lässt sich kein sekundäres Ossifikationszentrum und somit auch keine eventuelle partielle Fusion nachweisen. Demzufolge wurde der Patient für beide Altersstufen dem Stadium 1 zugeordnet. Die Tatsache, dass die Clavicula zum medialen Gelenkspalt hin kolbenartig erweitert ist und die kortikalen Strukturen insgesamt kräftiger scheinen als im Alter von 15 Jahren, zeugen allerdings von einem knöchernen Reifungsprozess.

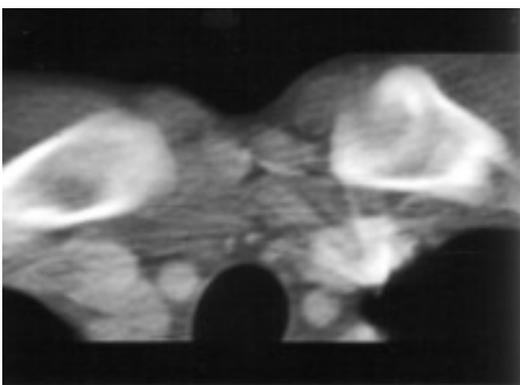


Abb. 18: 14 Jahre, Stadium 1

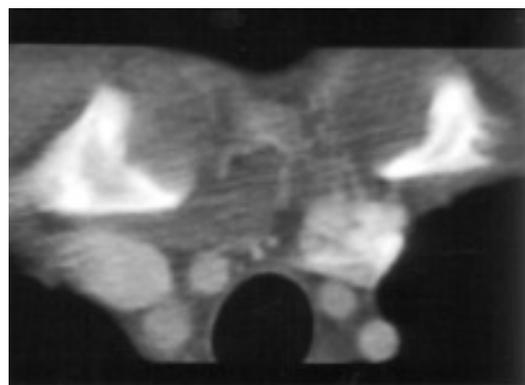


Abb. 19: 14 Jahre, Stadium 1

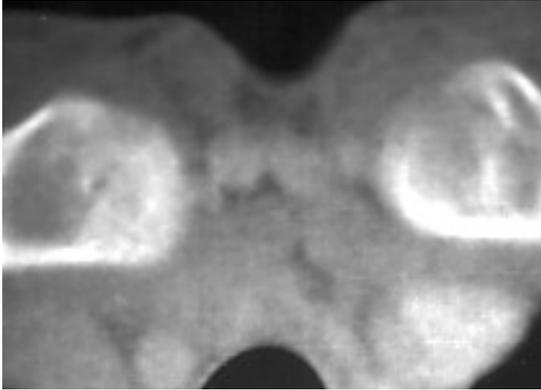


Abb. 20: 18 Jahre, Stadium 1

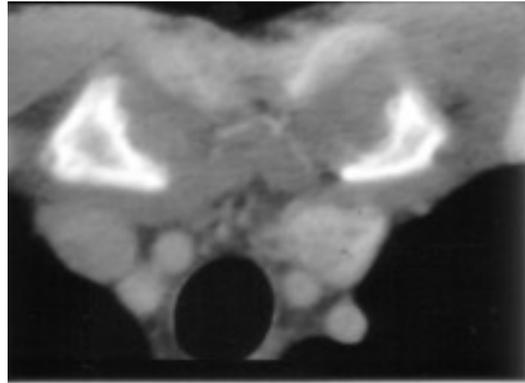


Abb. 21: 18 Jahre, Stadium 1

Abbildung 18-21:

Die Abbildungen 18-21 zeigen eine Verlaufsdokumentation von ein und demselben Patienten im Alter von 14 und von 18 Jahren. In beiden Fällen ist kein Ossifikationszentrum nachweisbar und beide Sternocalviculagelenke erscheinen sowohl im Alter von 14 Jahren als auch im Alter von 18 Jahren röntgenmorphologisch zerklüftet. Ein skelettaler Reifungsprozess ist nicht nachweisbar. Sowohl im Alter von 14 Jahren als auch im Alter von 18 Jahren wurde der Patient dem Stadium 1 zugeordnet.

3.4.5 Röntgenmorphologie des Sternoclaviculargelenks

Im Kindesalter erscheint das Sternoclaviculargelenk unreif. Kriterien hierfür sind ein noch sehr weiter Gelenkspalt zwischen Clavicula und Manubrium sterni, eine schwache Ausbildung der kortikalen Claviculastrukturen, und der gelenkspaltnahe Anteil der Clavicula ist in der Regel scharfkantig, fast rechtwinklig verlaufend.

Im Lauf der Pubertät nimmt die Gelenkspaltweite ab, die Kortikalis im Bereich der Metaphyse ist kräftiger ausgebildet, und das gelenknahe Ende der Clavicula wird zunehmend kolbenartig aufgetrieben, ebenfalls mit Ausbildung einer kräftigen Kortikalis, die die Clavicula zum Manubrium sterni begrenzt.

Kindesalter:

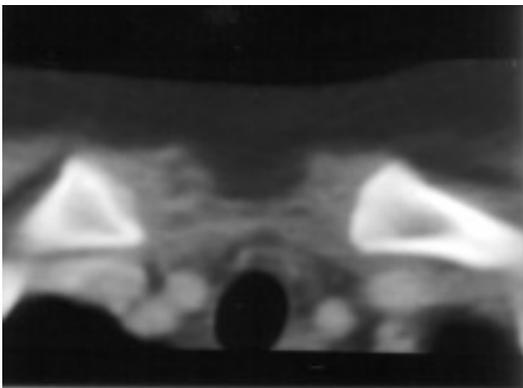


Abb. 22: 9-jähriger Junge, Stadium 1

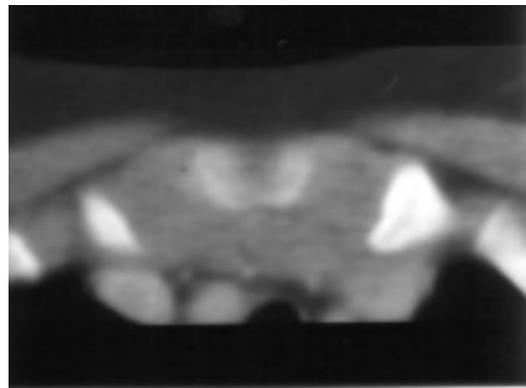


Abb. 23: 9-jähriger Junge, Stadium 1

Abbildung 22 und 23:

Die Abbildungen zeigen einen weiten Gelenkspalt zwischen Clavicula und Manubrium sterni sowie einen scharfen fast rechtwinklig verlaufendes mediales Ende der Clavicula.

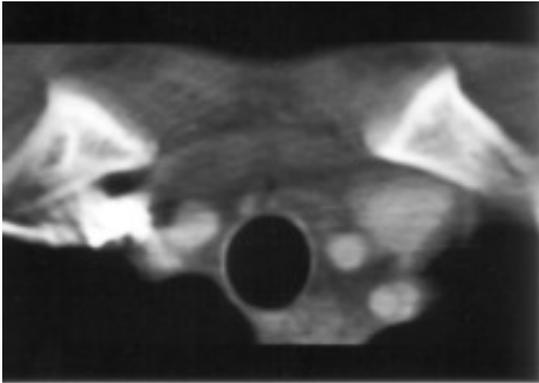


Abb. 24: 11-jähriger Junge, Stadium 1

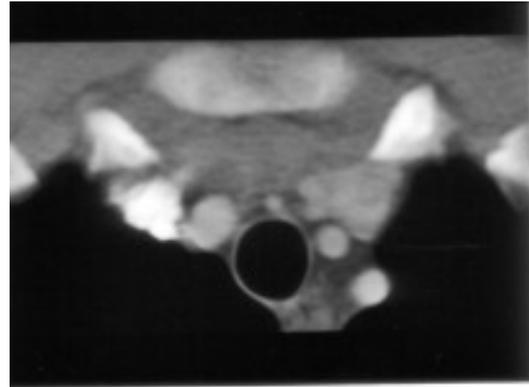


Abb. 25: 11-jähriger Junge, Stadium 1

Abbildung 24 und 25:

Die Abbildungen zeigen ebenfalls einen weiten Gelenkspalt zwischen Clavicula und Manubrium sterni und eine fast rechtwinklig verlaufende mediale Begrenzung der Clavicula zum Sternum.

Erwachsenenalter:

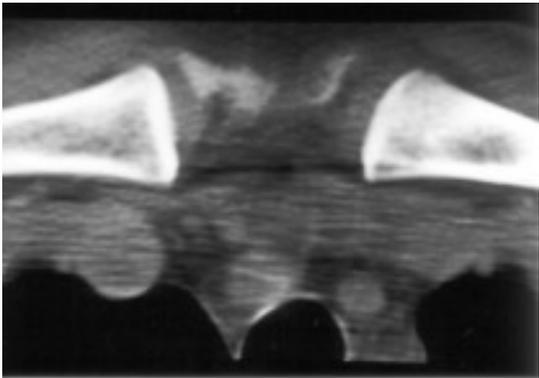


Abb. 26: 27-jähriger Mann, Stadium 4

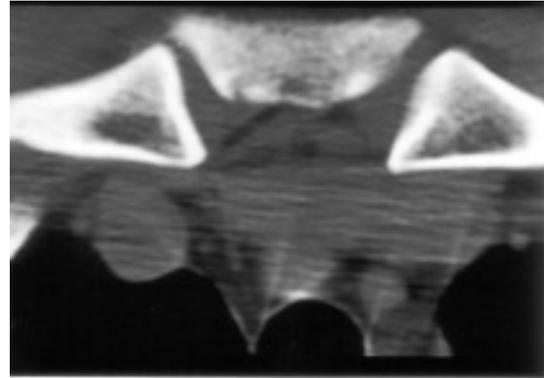


Abb. 27: 27-jähriger Mann, Stadium 4

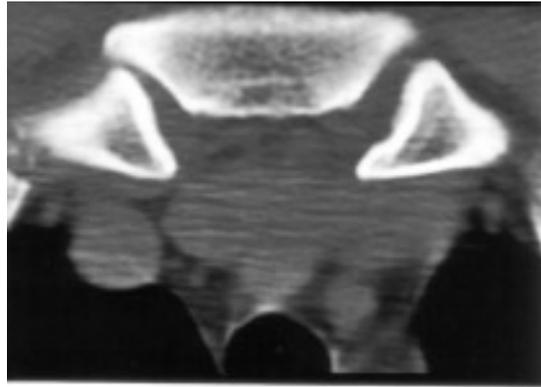


Abb. 28: 27-jähriger Mann, Stadium 4

Abbildung 26-28:

In diesen drei Darstellungen, die durch das Sternoclaviculargelenk verlaufen, zeigt sich eine geringe Gelenkspaltweite sowie die Ausbildung kräftiger kortikaler Strukturen der medialen Claviculaepiphyse. Die kolbenartige Ausprägung des medialen Claviculaendes ist in diesem Beispiel eher spitzwinkelig und zeigt somit den Variantenreichtum des röntgenmorphologischen Erscheinungsbildes des Sternoclaviculargelenkes.

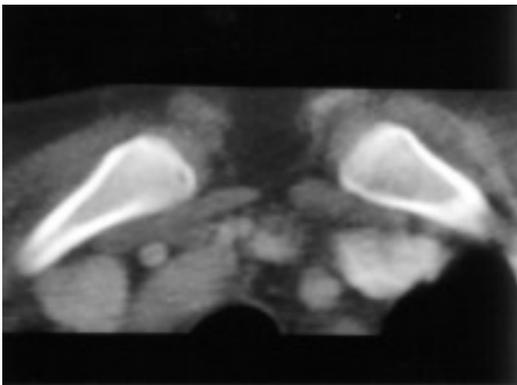


Abb. 29: 28-jährige Frau, Stadium 4

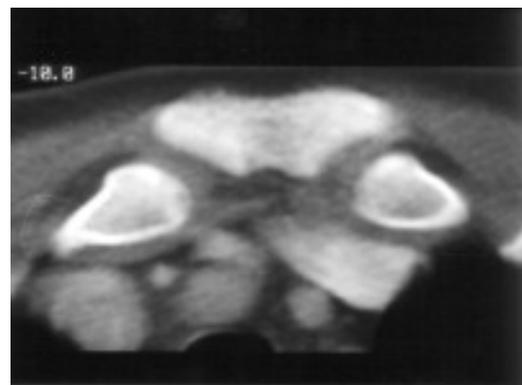


Abb. 30: 28-jährige Frau, Stadium 4

Abbildung 29 und 30:

Die Abbildungen zeigen die typische kolbenartige Erweiterung des medialen Claviculaendes zum Gelenkspalt, der relativ glattrandig begrenzt ist. Die kortikalen Strukturen sind nur mäßig ausgeprägt.

3.4.6 Experimenteller Teil

In einem prospektiven Ansatz wurden 15 anatomische Sektionspräparate des Instituts für Rechtsmedizin in Hamburg computertomographisch untersucht. Ziel war die Ermittlung einer optimalen Schichtdicke bei einer computertomographischen Untersuchung des Sternoclaviculargelenkes.

Da sich diese Doktorarbeit mit einer retrospektiv angelegten Untersuchung beschäftigt, ließen sich – im Gegensatz zu manch anderen Parametern der nachträglichen Bildbearbeitung – die bei der ursprünglichen Untersuchung gewählte Schichtdicke im „Nachhinein“ nicht mehr ändern.

Von daher war es interessant, den Einfluss verschiedener Schichtdicken auf den Datenfluss und die bildliche Darstellung des Sternoclaviculargelenks zu untersuchen. Die Präparate wurden ebenfalls einer Stadienzuordnung gemäß Owings und Myers (1985) bewertet, die Ergebnisse wurden aber nicht in die retrospektive Studie miteinbezogen.

Zum besseren Verständnis für den Leser ist nachfolgend ein Topogramm – eine Übersicht durch den Schnittverlauf der Bilder durch ein Sternoclaviculargelenk – abgebildet.

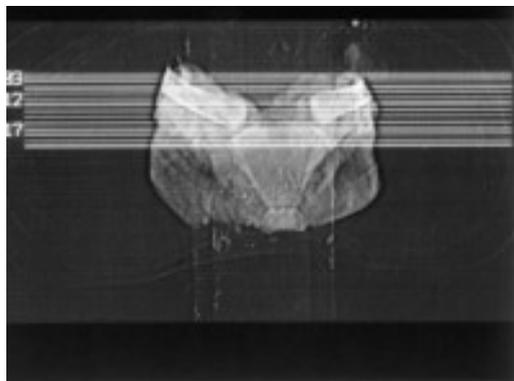


Abb. 31: Ein Topogramm

Computertomographischer Schnitt durch das Sternoclaviculargelenk eines 20-jährigen Mannes im Stadium 3. Die Bildserie verläuft von cranial nach caudal bei 7mm Schichtdicke. Scanparameter: Schichtdicke 7mm, 5/10.

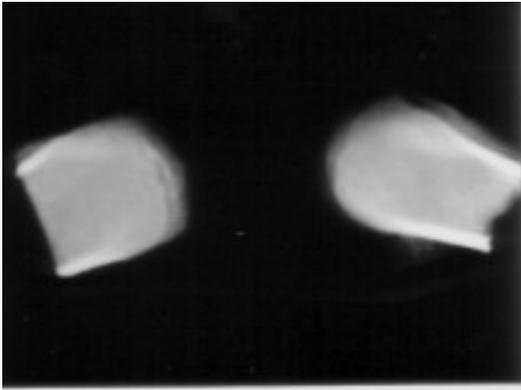


Abb. 32: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
7 mm Schichtdicke, cranialer 1. Schnitt

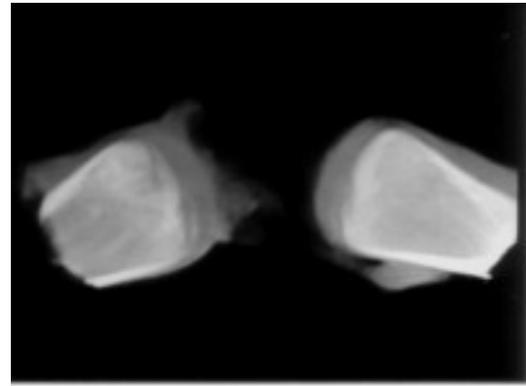


Abb. 33: Sektionspräparat Mann 20 Jahre
7 mm Schichtdicke, 2. Schnitt

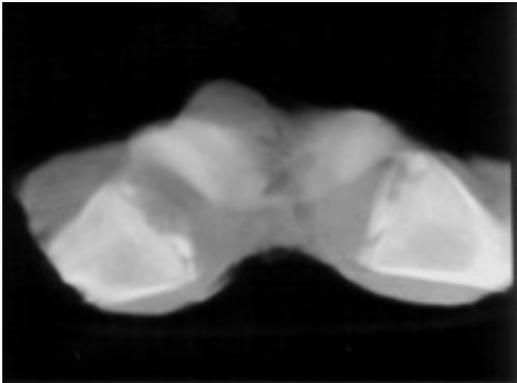


Abb. 34: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
7 mm Schichtdicke, 3. Schnitt

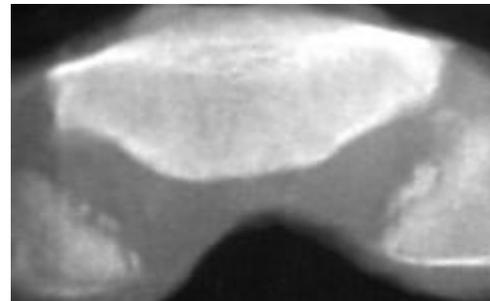


Abb. 35: Sektionspräparat Mann 20 Jahre
7 mm Schichtdicke caudaler, 4. Schnitt

Die nachfolgende Bildserie zeigt den Schnittverlauf durch dasselbe Sektionspräparat bei einer gewählten Schichtdicke von 3 mm, 3/3.

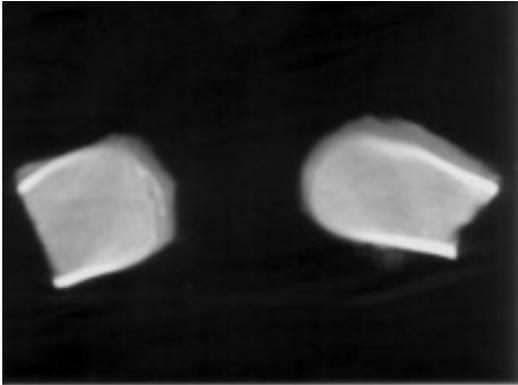


Abb. 36: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, cranialer 1. Schnitt.

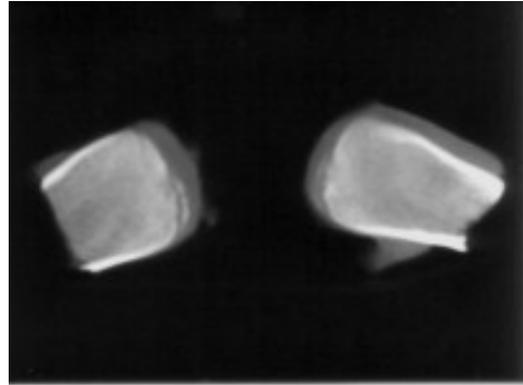


Abb. 37: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 2. Schnitt.

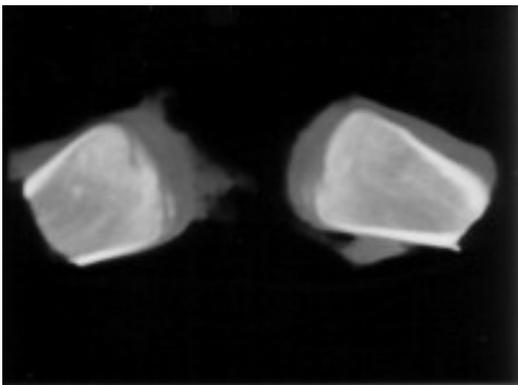


Abb. 38: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 3. Schnitt

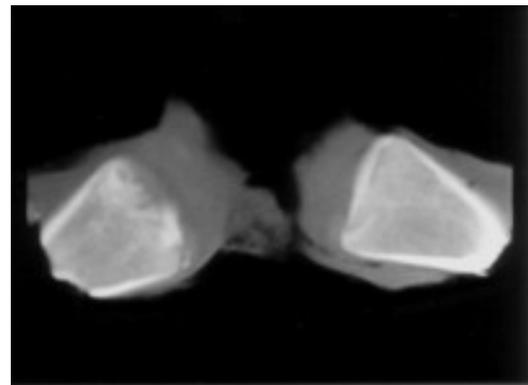


Abb. 39: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 4. Schnitt

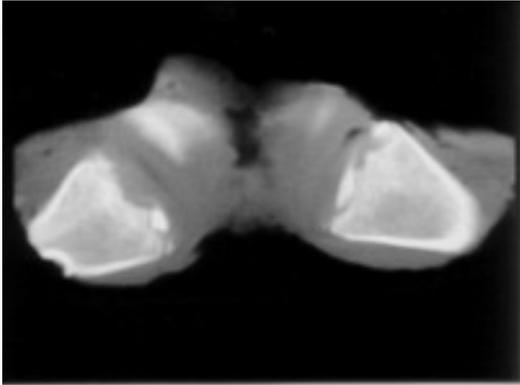


Abb. 40: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 5. Schnitt

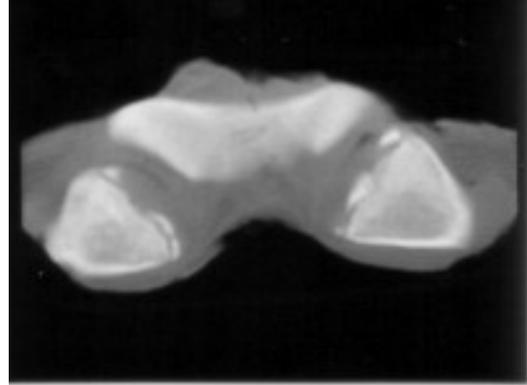


Abb. 41: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 6. Schnitt

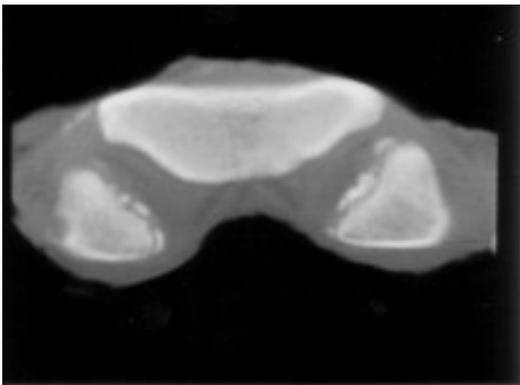


Abb. 42: Sektionspräparat, Mann 20 Jahre
3 mm Schichtdicke, 7. caudaler Schnitt

Voranstehend sind die Bilder eines 20-jährigen Mannes, der, wenn wir die Sektionspräparate mit in die retrospektive Untersuchung einbezogen hätten, nach unseren Kriterien dem Stadium 3 zuzuordnen wäre. Beiderseits sieht man in den cranialen Bildern, wie sich das Ossifikationszentrum kappenartig („Capping“) über die Clavicula legt und partiell fusioniert ist.

Des Weiteren zeigt sich die kolbenartige Auftreibung der gelenknahen Anteile der Clavicula. In den caudalen Abschnitten zeigen sich multiple, polymorphe Ossifikationszentren, die noch nicht partiell fusioniert sind. Da wir in der retrospektiven Untersuchung bei „Zwischenstadien“ das Bild dem nächsthöheren Stadium zugeordnet haben, ergibt sich somit für diesen Patienten das Stadium 3.

Die 3mm Schichtung zeigt gegenüber der 7mm Schichtung, eine deutlich bessere Darstellung des Sternoclaviculargelenks, da der Gelenkspalt häufiger angeschnitten wird und somit häufiger bildlich dargestellt wird. Eine Beurteilung und Stadienzuordnung fällt somit sicherer und eindeutiger aus. Das Capping des linken Ossifikationszentrums kommt in der 3mm Schicht besser zur Darstellung; ebenso die Form und Anzahl der noch nicht fusionierten Knochenkerne.

Artefakt: Gaseinschluss.

Ein weiteres Beispiel der Darstellung verschiedener Schichtdicken bei einem Sektionspräparat des Sternoclaviculargelenks eines 25-jährigen Mannes im Stadium 4. Schichtdicke 7mm, 3/3.

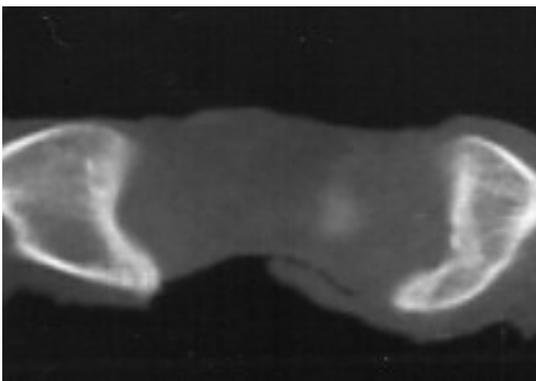


Abb. 43: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
7 mm Schichtdicke, cranialer Schnitt

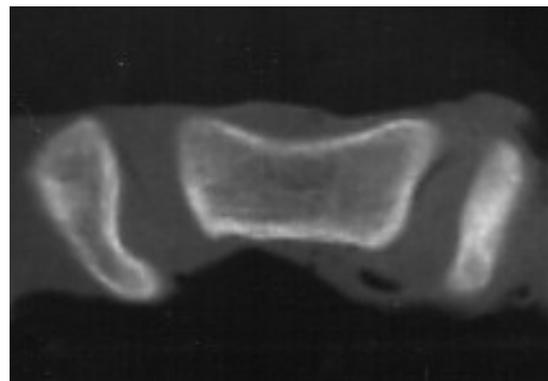


Abb. 44: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
7 mm Schichtdicke, 2. Schnitt

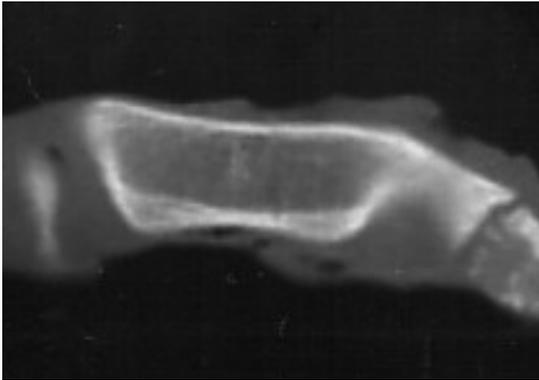


Abb. 45: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
7 mm Schichtdicke, caudaler Schnitt

Die nachfolgenden Bilder zeigen dasselbe Präparat mit einer 3mm Schichtdicke, 3/3.

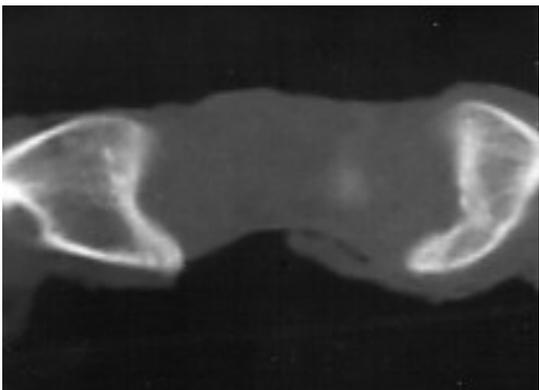


Abb. 46: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, cranialer Schnitt

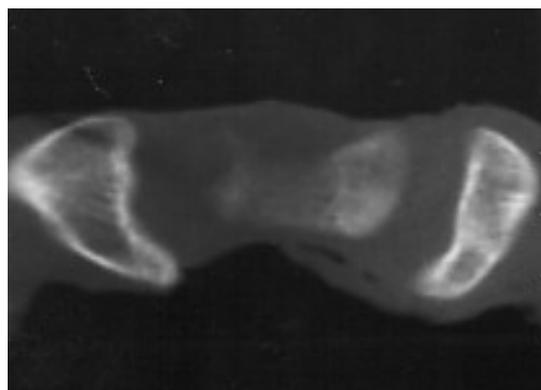


Abb. 47: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, 2. Schnitt

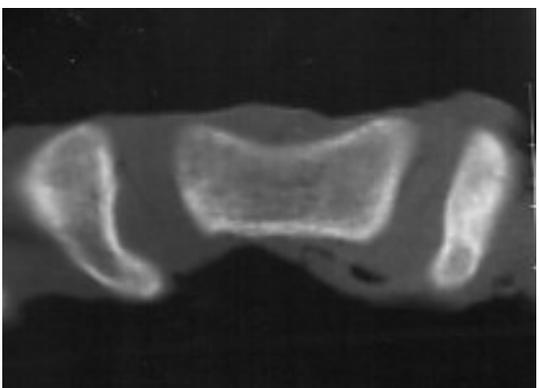


Abb. 48: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, 3. Schnitt

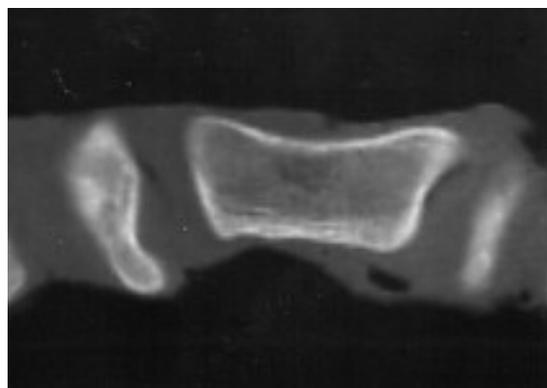


Abb. 49: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, 4. Schnitt

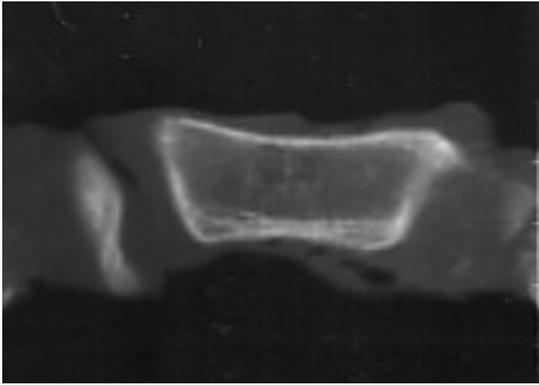


Abb. 50: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, 5. Schnitt

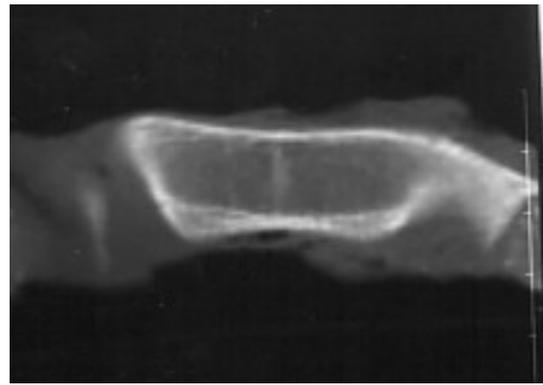


Abb. 51: Sektionspräparat, Mann 25 Jahre
3 mm Schichtdicke, caudaler Schnitt.

Auch bei einem Vergleich dieser beiden Serien mit 7 und 3mm Schichtdicke fällt auf, dass der Gelenkspalt wesentlich besser in der 3 mm Schichtung zur Darstellung kommt, weil ein zusätzliches Schichtbild erhalten wird und somit potentiell mehr Informationen zur Verfügung stehen. In diesem Fall wurde der Patient dem Stadium 4 zugeordnet, da keine partielle Fusion mehr zu erkennen ist. Die kortikalen Strukturen sind kräftig ausgebildet, relativ glatt umrandet und die gelenknahen Anteile der Clavicula kolbenartig aufgetrieben. Artefakt: Gaseinschluss.

Ergebnis:

Mit einer Schichtdicke von 7mm, die für eine Thoraxuntersuchung üblich ist, erfasst man das Sternoclaviculargelenk mit maximal 1-3 Bildern. Bei einer gewählten Schichtdicke von 3mm erhält man in der Regel bis zu 6 Bilder, die einen guten Einblick in das Sternoclaviculargelenk gewähren, unter der Voraussetzung, dass der Schichtbeginn und das Schichtende zuvor lokalisiert und festgelegt wurden.

Bildserien mit 1mm Schichtung haben sich aufgrund des hohen Datenflusses und der damit verbundenen hohen Anzahl an Bildern als unpraktikabel erwiesen.

Die hohe Detailgenauigkeit einer 1mm Schichtung wiegt den Nachteil der großen Unübersichtlichkeit nicht auf, daher sind 3 mm Schichten ausreichend.

Für ein gutes Ergebnis ist darüber hinaus ein kontinuierlicher oder überlappender Tischvorschub ($Pitch = 1$ oder < 1) wesentlich, um keine kleineren Ossifikationszentren zu übersehen, die durch einen diskontinuierlichen Tischvorschub entstehen könnten, wenn dieser größer ist als die gewählte Schichtdicke ($Pitch > 1$).

4 Diskussion

4.1 Auswahl des Studiendesign

Die vorliegende Dissertation beruht auf einer retrospektiv angelegten Auswertung von zuvor durchgeführten computertomographischen Untersuchungen des Thorax oder des Halses, welche die Sternoclavicularregion mit einschlossen. Diese Untersuchungen wurden aus medizinischen Gründen – im Krankheitsfall – angefertigt und für die vorliegende Studie im Nachhinein speziell aufgearbeitet.

Dies ist zunächst einmal notwendig, da eine prospektiv angelegte Untersuchung des Sternoclaviculargelenks mittels CT einen Eingriff in die körperliche Unversehrtheit der zu untersuchenden Personen bedeuten würde, da es hierbei zu einer Belastung des Körpers mit ionisierender Strahlung kommen würde. Eine solche Strahlenexposition ist nach § 24, Abs. 1 der Röntgenverordnung nur in Ausübung der Heilkunde bzw. Zahnheilkunde gestattet und steht damit reinen Forschungszwecken nicht zur Verfügung.

Eine Strahlenexposition mittels ionisierenden Strahlen aus forensischen Gründen, beispielsweise eine Röntgenuntersuchung der linken Hand zur Altersfeststellung im Strafprozessverfahren ist nur dann erlaubt, wenn eine richterliche Anordnung nach § 81a der Strafprozessordnung oder eine – durch eine zuständige Behörde – zeitlich befristete besondere Genehmigung nach § 21, Abs. 2 der Röntgenverordnung erteilt ist. Hiervon abweichende Ausnahmen sind – auch unter Zustimmung der zu untersuchenden Person – nicht mit der Anwendung von Röntgenstrahlen vor dem Gesetz vereinbar [Ritz & Kaatsch (1996), Jung (2000)].

Aus den oben genannten Gründen ist somit ersichtlich, dass eine Forschungsarbeit zu diesem Thema mit einem prospektiv angelegten Studiendesign nicht mit der gegenwärtigen Rechtssprechung vereinbar ist. Eine richterliche Ausnahmegenehmigung nach § 81a mit dem Ziel, entsprechende Untersuchungen zu veranlassen, um eine prospektive Studie durchzuführen, ist unter humanitären Aspekten auszuschließen.

Zur Klärung der Fragestellung, ob sich die computertomographisch ermittelte Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse als ein Verfahren zur Ermittlung des Lebensalters eignet, ist somit ein retrospektiv angelegtes Studiendesign zwingend.

Ein Nachteil des retrospektiven Studiendesigns ist, dass auf Untersuchungen zurückgegriffen werden musste, die zwar die Sternoclavicularregion beinhalten, diese jedoch u. U. selbst nicht das Ziel der ursprünglich durchgeführten Untersuchung war. Üblicherweise werden aufgrund des großen Volumen des Thorax Untersuchungen mit Schichtdicken um 5-10 mm gefahren. Da das Volumen des Sternoclaviculargelenks in der Höhe, der Breite und in der Tiefe je nach Alter des Patienten nur wenige Zentimeter beträgt, wäre eine andere Schichtdicke für die Untersuchung dieser Region von Vorteil gewesen.

Die bei der ursprünglichen Untersuchung gewählte Schichtdicke ist postprozedural nicht mehr veränderbar.

Das Patientenkollektiv litt überwiegend unter malignen Erkrankungen, die unter Umständen einen Verzögerungseffekt auf die Skelettreifung ausüben [Heinrich (1986), Stöver (1986)]. Dies wurde bei der Stadieneinteilung dahingehend berücksichtigt, dass bei schwer einzuordnenden Zwischenstadien aufgrund mangels weiterer „harter“ Zuordnungskriterien, das jeweils jüngere Stadium gewählt wurde. Bei aufgetretenen Asymmetrien in Ausreifung zwischen rechtem und linkem Sternoclaviculargelenk wurde hingegen auf das höhere Stadium aufgerundet.

Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns war es nicht möglich, Patienten mit Erkrankungen, die zu einem regelhaft retardierten oder akzelerierten Skelettwachstum führen, aus dieser Studie auszuschließen.

4.2 Die Auswahl der Untersuchungsmethode

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die bislang einzigartige Untersuchung der computertomographisch bestimmten Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse, die Kreitner in den Jahren 1997 und 1998 veröffentlichte, nachzuvollziehen und um eigene Ansätze zu erweitern. Dies setzt selbstverständlich die Wahl der gleichen Untersuchungsmethode als zwingend voraus. Die bisher gängige Praxis in Alterfeststellungsverfahren, auf ein konventionelles Röntgenbild der Hand oder ein konventionell angefertigtes Schichtbild der Zähne oder der Sternoclavicularregion zurückzugreifen, weist gegenüber einem computertomographischen Röntgenbild methodische Schwächen auf.

Die Vorteile der Computertomographie gegenüber einem konventionellem Röntgenbild wurde in vergangenen Untersuchungen mehrfach bewiesen; sie liegen in seiner überlagerungsfreien Darstellung der geröntgten Körperregion und in der Möglichkeit, in Abhängigkeit von der u.a. gewählten Schichtdicke, mehrere Bilder anstatt nur eines – wie im Fall des konventionellen Röntgenbildes – zu erhalten. Darüber hinaus bietet der Computertomograph den Vorteil, anatomische Strukturen in ihrem Verlauf besser zu erfassen und darzustellen, da es zu einer Abfolge von Schicht auf Schicht durch die untersuchte Körperregion kommt und diese sich entsprechend auf einem Bilderbogen darstellen lassen. Der Informationsgehalt ist gegenüber einem konventionellem Röntgenbild dementsprechend umfangreicher, detaillierter und somit genauer. Darüber hinaus ist die computertomographische Untersuchung für den Patienten komfortabler und weniger zeitaufwendig als eine konventionelle Tomographie [Destouet et al. (1981), Hatfield et al. (1984), Jurik et al. (1996), Lucet et al. (1996)].

4.3 Eigene Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund der Kreitner-Publikation.

Diese Studie umfasst die Beurteilung der Ausreifung der medialen Claviculaepiphyse von 263 Personen, davon waren 158 Personen des männlichen Geschlechts (60,1%) und 105 Personen des weiblichen Geschlechts (39,9%). Dies entspricht zufällig annähernd der untersuchten Fallzahlen der Publikation Kreitners aus dem Jahr 1997 mit einem Kollektiv, das aus 279 Personen bestand, davon 169 männlichen Geschlechts (60,6%) und 110 Personen weiblichen Geschlechts (39,4%). Die absoluten Fallzahlen und das Verhältnis von Männern und Frauen ist somit nahezu in beiden Studien identisch.

In unserer Studie kann das erstmalige Erscheinen eines Ossifikationszentrums – ebenso wie bei Kreitner – im Alter von 13 Jahren dokumentiert werden.

Im Gegensatz zur Publikation von Kreitner wurde in dieser Studie nicht nur die linke Claviculaepiphyse bewertet, sondern es wurden stets die Ausreifung beider Claviculagelenke zur Bewertung herangezogen. Bei der Auswertung konnte ein signifikanter Unterschied für die Altersmittelwerte im Stadium 2 und 3 zwischen den Geschlechtern – bei Vorhandensein einer Altersgleichverteilung innerhalb der untersuchten Personen – festgestellt werden. Frauen erreichten demnach in einem früheren Lebensalter ein bestimmtes Stadium als Männer.

Das Stadium 1, welches der nicht verknöcherten Epiphyse ohne Nachweis eines Ossifikationszentrums entspricht, erstreckte sich bei der Gesamtpopulation bis zum 22. Lebensjahr, in der geschlechtsspezifischen Auswertung bei den Frauen bis zum 17. Lebensjahr und bei den Männern bis zum 22. Lebensjahr. Kreitner hingegen beobachtete das Stadium in seiner Gesamtpopulation 1. bis zum 16. Lebensjahr.

Das Stadium 2, welches ein Ossifikationszentrum ohne partielle knöcherne Bindung an die mediale Claviculaepiphyse erkennen lässt, erstreckt sich bei Kreitner vom 13.-22. Lebensjahr und in der Gesamtpopulation dieser Arbeit vom 13.-20. Lebensjahr. Betrachtet man die Geschlechter getrennt, so erstreckt sich das Stadium 2 bei den Frauen vom 13.-17. Lebensjahr, ebenso bei den Männern.

Die Tatsache, dass sich das Stadium 1 bei den Männern zeitlich über das Stadium 2 in einem Fall erstreckt, liegt daran, dass es zwei Fälle von schwieriger Zuordnung gab.

Das Stadium 3, welches eine partielle Fusion des Ossifikationszentrums mit der medialen Claviculaepiphyse erkennen lässt, reicht bei Kreitners Untersuchung vom 16.-26. Lebensjahr, jedoch in dieser Untersuchung in der Gesamtbetrachtung vom 16.-25. Lebensjahr. Geschlechtergetrennt betrachtet, reicht es bei den Frauen vom 16.-25. Lebensjahr und bei den Männern vom 17.-29. Lebensjahr; wobei auch hier festzustellen ist, dass zwischen dem 25. Lebensjahr und dem 29. Lebensjahr keine weitere Person eingeschätzt wurde. Somit ist auch dieser 29-jährige Patient ein Fall, der schwer zuzuordnen war.

Das Stadium 4, in dem die zuvor partielle Fusion nun komplett abgeschlossen ist, hat Kreitner vom 22.-30. Lebensjahr beobachtet. In dieser Untersuchung wurde ein Zeitfenster in der Gesamtpopulation vom 22.-31. Lebensjahr betrachtet, ebenso in der geschlechtergetrennten Auswertung.

4.4 Asymmetrien

Im Verlauf der Beurteilungen zu dieser Studie konnte bei 25 Patienten (9,5%) ein Entwicklungsunterschied zwischen rechter und linker medialer Claviculaepiphyse festgestellt werden. Ein systematischer Unterschied in der Entwicklung zwischen rechter und linker Claviculaepiphyse lag nicht vor.

Kreitner beobachtete in seiner 1997 vorgelegten Studie diesen Sachverhalt an 4 Fällen (1,4 %) bei einer Gesamtzahl von 279 untersuchten Individuen und in der ein Jahr später veröffentlichten Untersuchung mit einer Gesamtzahl von 380 untersuchten Individuen an 6 Fällen (1,6 %). Eine statistische Signifikanz konnte er dabei nicht beobachten, und die einzige Schwierigkeit in der Beurteilung – so Kreitner – liegt in einer möglichen Persistenz der medialen Claviculaepiphyse.

Eine mögliche Erklärung zwischen den doch recht auffälligen Unterschieden bei den absoluten Zahlen und Prozentzahlen zwischen unserer und der Untersuchung Kreitners mag daran liegen, dass die Gruppe um Kreitner lediglich nur die linke Claviculaepiphyse beurteilt hat und somit die rechte Claviculaepiphyse keiner „echten“ Bewertung unterzogen wurde.

Dass erheblich unterschiedliche Entwicklungen in der Ausreifung der einzelnen Körperpartien und/oder Extremitäten möglich sind, zeigt Kövie et al. in einem im Jahr 2000 veröffentlichten Bericht über ein 8-jähriges Mädchen, welches an Diabetes erkrankt war und ein retardiertes Skelettwachstum aufwies. In einer vergleichenden Röntgenaufnahme zwischen linker und rechter Hand hatte das Mädchen ein Skeletalter der linken Hand von 6 Jahren, die rechte Hand wies ein Skeletalter von 3,5 Jahren auf. Diese Diskrepanz zeigt, wie stark der Einfluss selbst von benignen systemischen Erkrankungen auf die Skelettreifung sein kann, ohne dass notwendigerweise eine tumoröse Erkrankung Voraussetzung für eine retardierte Knochenentwicklung wäre.

In dieser retrospektiven Untersuchung wurden die Diagnosen der Patienten – so exakt wie im Untersuchungsgrund angegeben – mit erfasst. In 79% aller Untersuchungen war das Grundleiden ein malignes Geschehen, bei dem eine retardierte Skelettentwicklung nicht ausgeschlossen ist bzw. oder sogar als wahrscheinlich anzusehen ist. In Kenntnis dieser Tatsache ist ein beobachtetes Auftreten von Asymmetrien in 9,5% aller Fälle bei gleichzeitiger Beurteilung beider medialer Claviculaepiphysen als gering anzusehen.

4.5 Risikoabschätzung von Strahlenexposition bei radiologischen Untersuchungen

Für die Risikoabschätzung einer Röntgenuntersuchung müssen nicht nur die erhobenen Dosiswerte herangezogen werden; es gilt auch zu berücksichtigen, dass eine Belastung durch Strahlung – unterschiedlichster Art – ein Vorgang ist, dem wir permanent auf völlig natürliche Weise unterzogen sind. Die natürliche Strahlenbelastung setzt sich aus äußerer Exposition durch Höhen oder aus dem Erdreich stammender Strahlung zusammen, sowie der inkorporierten Strahlung durch natürliche, in der Außenluft – oder auch Raumluft – vorkommende radioaktive Isotope. Dabei ist zu berücksichtigen, dass – je nach Zusammensetzung des Erdreiches – an unterschiedlichen Regionen dieser Erde die Höhe dieser natürlichen Strahlenexposition sehr unterschiedlich ausfallen kann.

Neben der natürlichen Strahlenbelastung ist noch die zivilisatorische Strahlenexposition zu berücksichtigen, wobei ein Großteil auf medizinische Anwendung zurückzuführen ist, jedoch auch der Reiseverkehr mit dem Flugzeug oder ebenso Fernsehen, stellen eine oftmals gerne freiwillig unterzogene Strahlenbelastung dar. Für die Bundesrepublik Deutschland betrug die natürliche Strahlenbelastung 1998 2,4 mSV. Durch medizinische Anwendung kommt es zu einer Strahlenexposition von 1,5 mSV / Jahr. Im Verhältnis dazu beträgt die Strahlenbelastung bei einem Interkontinentalflug ca. 50 μ SV (Schmeling et al. 2000).

Berücksichtigt man, dass die Belastung durch eine Röntgenaufnahme der Hand – eine besonders häufig benutzte Methode in Altersfeststellungsverfahren – 0,1 μ Sv (Schmeling et al. 2000) bzw. 0,15 mSV (Jung, 2000) beträgt, stellt dies keine besonders große Strahlenbelastung dar.

Eine weitere häufig angewandte Methode in der odontologisch-forensischen Lebensaltersbestimmung ist das Röntgen des Gebisses durch

Panoramaschichtaufnahmen mit einem Orthopantomogramm. Die Strahlenbelastung einer derartigen Panoramaschichtaufnahmen beträgt lt. Schmeling et al. (2000) 26 μ Sv. Zwei dieser Aufnahmen erbringen demnach dieselbe Strahlenbelastung wie ein Interkontinentalflug.

Die Strahlenbelastung des Schlüsselbeins durch ein CT wird auf 600 μ Sv beziffert. Dies ist im Vergleich der herkömmlichen vorgenannten Untersuchungsmethoden eine deutliche höhere Strahlenbelastung.

Da es in der Beurteilung der Strafzumessung in Gerichtsverfahren um die Fragestellung der Anwendung von Erwachsenenstrafrecht vs. Anwendung von Jugendstrafrecht geht und es somit um die Einschätzung geht, ob der Delinquent das 21. Lebensjahr erreicht hat, empfehlen die Autoren um Schmeling et al. (2001) zusätzlich zur Röntgenaufnahme der linken Hand, eine computertomographische Untersuchung des Schlüsselbeines vornehmen zu lassen. Im direkten Vergleich zwischen konventionellen Tomographien und computertomographischen Schichtaufnahmen führen letztere zu einer geringeren kumulativen Dosis [(Destouet et al. (1981), Jurik et al. (1996), Lucet et al. (1996)].

Im Vergleich zwischen der Anwendung von Single-Slice-CT und modernen Multi-Slice-CT haben Wedegärtner et al. (2003) festgestellt, dass die Anwendung von MSCT eine Verdoppelung der Dosisbelastung bei Schädel und Beckenskelett, sowie eine Verachtfachung im Bereich des Mittelgesichtes ausmacht. Verantwortlich hierfür ist die üblicherweise praktizierte Übernahme der implementierten Scanparameter der Firmen-Scanprotokolle. Durch Veränderung der Scanparameter konnten sie bei der Untersuchung des Schädels eine 30% niedrigere Dosisbelastung gegenüber dem Single-Slice-CT erzielen, ohne einen Verlust an Bildqualität zu erleiden. Als einfaches Mittel zur Verringerung der Dosisbelastung empfahlen sie unter anderem die Absenkung des mAs- Produktes. Diese Vorgehensweise würde sich in der Praxis anbieten.

4.6 Vorstellung weiterer Methoden der Skelett- bzw. Lebensaltersbestimmung

In der Pädiatrie dient die Skeletaltersbestimmung der Beurteilung von Reifungsvorgängen der Skelettentwicklung, um beispielsweise prospektive Endgrößenbestimmungen bei konstitutionellem Hoch- oder Minderwuchs durchzuführen, wobei es sich hier um Normvarianten des Wachstums handelt.

Eine weitere Zielgruppe umfasst die der pathologischen Wachstumsstörungen, wobei man zwischen Erkrankungen unterscheidet, die zu einer beschleunigten Skelettreifung und einer verzögerten Skelettentwicklung führen [Bierich (1976), Stöver (1986), Heinrich (1986)].

Eine gängige Methode zur Feststellung der morphologischen Skelettreife ist das Atlas-Verfahren nach Greulich und Pyle, indem bei Kindern und Jugendlichen eine Röntgenaufnahme der linken Hand in a.p.-Aufnahmetechnik zur Beurteilung herangezogen wird [Fendel (1976), Stöver (1983)]. Anhand dieser Röntgenaufnahme werden die sekundären Ossifikationskerne im Handskelett einer „age of appearance“ Liste zugeordnet und so das bestzutreffende Lebensalter bestimmt. In Abhängigkeit vom Lebensalter werden jedoch auch andere Körperregionen zur Untersuchung herangezogen. So werden bei Neugeborenen und Säuglingen Röntgenaufnahmen des linken Unterschenkels mit Knie und Fuß in seitlicher Aufnahmetechnik durchgeführt (Kemperdick 1986).

Im Adoleszentenalter und bei jungen Erwachsenen gewinnt der Schluss der Epiphysenfugen an den proximalen Femora, am Trochanter major sowie das Auftreten und Verschmelzen der Apophysen an der Crista iliaca und am Os ischii an Bedeutung [Owings et Myers (1985), Willich (1986), Pfau et Sciulli (1994)].

Weitere Methoden sind die biochemische Bestimmung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure im Dentin von extrahierten Zähnen oder der Messung der Wurzelidentintransparenz [Ohtani et Yamamoto (1991), Olze et al. (2004B)], die mikroskopische und fotografisch dokumentierte Altersbestimmung anhand von Verschleißspuren und Peridontosis an extrahierten und entsprechend aufgearbeiteten 3. Molaren [Xiaohu et al. (1991), Daito et al. (1992)], oder die mikroskopische Beurteilung von Wachstumslinien des Zahnzementes (Bojarun et al. 2004). An radiologischen Methoden wird in der Zahn- und Kieferchirurgischen Heilkunde zur Altersbestimmung auch das Orthopantomogramm für Panoramaschichtaufnahmen des Gebisses eingesetzt [Fuhrmann et al. (2002), Friedrich et al. (2003)]. Verschiedene Studien befassen sich auf diese Weise mit der radiologisch dokumentierten Zahnentwicklung des 3. Molaren, bzw. der Weisheitszahnmineralisation [Loitz (1992), Mincer et al. (1993), Köhler et al. (1994), Olze et al. (2003), Drosos (2005)], aber auch der parodontale Knochenabbau, sowie die Beziehung zwischen dem chronologischen Alter und der Anzahl fehlender Zähne sind Gegenstand odontologisch-forensischer Fragestellungen [Friedrich et al. (2003), Olze et al. (2004A)].

Eine weitere Untersuchung befasst sich mit der Fragestellung, ob die Ermittlung des Pneumatisationsgrades mittels Panoramaschichtaufnahmen des Jochbogens als Hilfsmittel zur odontologisch-forensischen Altersschätzung geeignet ist (Friedrich et al. 2003).

4.7 Ausblick auf zukünftige Verfahren der Lebensaltersbestimmung

Im Unterschied zu anthropologischen Methoden der Altersbestimmung liegen die Herausforderungen an zukünftige Methoden der Altersfeststellungsverfahren bei Lebenden in der Entwicklung von Methoden, die eine körperliche Unversehrtheit garantieren. Bei forensischen Fragestellungen kommen derzeit nur odontologische oder radiologische Methoden zum Einsatz, die dieses nicht gewährleisten.

Bildgebende Verfahren, die die oben genannten Kriterien erfüllen, sind Ultraschall- oder kernspintomographische Untersuchungen. Eine vergleichende Studie, die sich mit der Korrelation von kernspintomographischen Bildern und anatomischen Sektionspräparaten befasst, haben Brossman et al. hierzu 1996 veröffentlicht.

Hinsichtlich forensischer Fragestellungen – speziell der Lebensaltersbestimmung im späten Adoleszenten-/jungen Erwachsenenalter – gibt es aber für beide Untersuchungsverfahren bisher keine Studien. Mentzel et al. haben in ihrer 2005 veröffentlichten Studie 160 Kinder in einem Alter bis zu 17,6 Jahren einer neuartigen Ultraschalluntersuchung des linken Handgelenkes zugeführt, nachdem zuvor ein Handradiogramm konventionell angefertigt wurde. Im Ergebnis empfehlen sie diese Methode nur als Ergänzung, nicht als Ersatz zum konventionellen Handradiogramm zu werten, weil ein dissoziiertes Knochenalter, Fehlbildungen und Mineralisationsstörungen von dem Ultraschallsystem nicht beurteilt werden können.

5 Zusammenfassung

In der retrospektiv angelegten Studie wurde bei 263 Thorax- und Hals-Computertomographien von Patienten im Alter zwischen 4 und 31 Jahren eine Untersuchung der knöchernen Ausreifung im Sternoclaviculargelenk vorgenommen.

Neben der Erfassung der technischen Rohdaten (KV, mA, Schichtdicke und Schichtart) wurde zur besseren visuellen Bildbeurteilung die entsprechende Region des Sternoclaviculargelenks in einem Knochenfenster abgebildet und extra auf einem neuen Bildbogen dokumentiert. Bei der Einschätzung des knöchernen Entwicklungsstandes wurden stets das rechte und das linke SC-Gelenk bewertet. Die Ausreifung wurde in vier Stadien gegliedert, wobei das Stadium 1 einer noch nicht verknöcherten Epiphyse entspricht. Im Stadium 2 ist bereits ein Ossifikationszentrum nachweisbar, welches im Stadium 3 partiell mit der Claviculametaphyse verschmolzen ist. Im Stadium 4 ist die Fusion vollständig abgeschlossen.

Als wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung kann festgestellt werden, dass ein Ossifikationskern erstmalig im Alter von 13 Jahren in dieser Untersuchung dokumentiert werden konnte und das Durchschnittsalter für das Erscheinen eines Ossifikationszentrums 15,7 Jahre betrug.

In 25 Fällen (9,5%) fand sich eine Asymmetrie in der Entwicklung zwischen rechtem und linkem SC-Gelenk, die jedoch nie mehr als um ein Stadium voneinander abwich. Ein systematischer Unterschied wurde dabei nicht beobachtet.

Da in Bezug auf das Patientenkollektiv eine Altersgleichverteilung zwischen den Geschlechtern vorlag, konnten für die Altersmittelwerte signifikante Unterschiede für das Stadium 2 und das Stadium 3 festgestellt werden. Dabei lag der Altersmittelwert für Frauen im Stadium 2 um 1,63 Jahren und im Stadium 3 um 1,73 Jahren unter dem entsprechenden Wert für Männer.

Frauen befanden sich im Alter von 21 Jahren zu 97,6% im Stadium 3 und nur zu 0,1% im Stadium 2 und zu 1,9% im Stadium 4.

Männer im Alter von 21 Jahren befanden sich zu 79,8% im Stadium 3, zu 6,6% im Stadium 2 und zu 7,4% im Stadium 4.

Im Stadium 1 befanden sich Frauen bis zum 17. Lebensjahr, Männer bis zum 22. Lebensjahr.

Die Altersspanne reichte für die Frauen im Stadium 2 vom 13 bis zum 17 Lebensjahr, für Männer vom 13 bis zum 20 Lebensjahr. Das Stadium 4 wurde bei beiden Geschlechtern ab dem 22. Lebensjahr beobachtet.

In einem separat durchgeführten prospektiven Ansatz wurde die Auswirkung von verschiedenen Schichtdicken auf den Informationsgehalt bei der Bildauswertung untersucht. Zu diesem Zweck wurden 15 tiefgefrorene Sektionspräparate der Sternoclavicuarregion mit 8mm, 7 mm, 5 mm, 3 mm und mit 1 mm Schichtdicke gescannt.

Als ein wichtiges Ergebnis dieses Ansatzes lässt sich folgendes feststellen: Im Unterschied zu Schichtdicken von 5 und 7 mm bieten Schichtdicken von 3 mm den Vorteil, auch kleinere Ossifikationszentren sowie den Prozess der Fusion genauer zu erfassen. Dies dokumentiert sich zusätzlich in einer höheren Anzahl von Bilddarstellungen. Zugleich ist eine mögliche Strahlenbelastung geringer als bei der Anwendung von Schichtdicken von 1mm.

Als wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung lässt sich festhalten, dass die computertomographische Untersuchung der medialen Claviculaepiphyse ein gut geeignetes Verfahren ist, um in Fragen von Altersfeststellungsverfahren an Lebenden im Adoleszenten-/Erwachsenenalter zur Anwendung zu kommen.

6 LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Holger Butting, ledig, 1 Tochter

Uwestraße 9, 22525 Hamburg,

Tel. 040-414 52 567

Geb. 11. 10. 1963 in Göttingen

Schulbildung

1970 – 1984

Grundschule u. Gymnasium in Göttingen

Abschluss: Fachabitur

1992 – 1994

Abendgymnasium in Hamburg

Abschluss: allgemeine Hochschulreife

Aus- und Weiterbildung

02.1985 – 02.1986

praktischer Teil des Fachabiturs bei der

Biologischen Schutzgemeinschaft e.V., Göttingen

03. 1986 – 06.1987

Zivildienst an der Universitätsklinik Göttingen

08.1988 – 10.1990

Ausbildung zum medizinisch-technischen

Radiologie-Assistenten an der Lehranstalt für

medizin.-technische Assistenten am

Allg. Krankenhaus St. Georg, Hamburg

10.1994 – 10.1997

Studium der Medizin an der Freien Universität

Berlin

10.1997 – 06.1998

Studium der Medizin an der Universität Hamburg

06.1998

Physikum an der Universität Hamburg

06.1999

I. Staatsexamen an der Universität Hamburg

03.2002

II. Staatsexamen an der Universität Hamburg

06.2003

III. Staatsexamen an der Universität Hamburg

	Studienbegleitende Erwerbstätigkeit
04.1995 – 07.1997	Medizinisch-Technischer-Radiologie-Assistent Paulinenkrankenhaus, Berlin
08.2000 – 07.2003	Spätdiensttätigkeit als MTRA am Kernspintomograph der Radiologisch- Diagnostischen Abteilung des Allgemeinen Krankenhaus Altona, Hamburg
	Erwerbstätigkeit
10.1990 – 05.1992	Medizinisch-Technischer-Radiologie-Assistent Allgemeines Krankenhaus Altona, Hamburg
06.1992 – 09.1994	Medizinisch-Technischer-Radiologie-Assistent Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin, Hamburg
07.2003 – 02.2004	Arzt im Praktikum in der Thorax- und Gefäßchirurgie, AK - Altona
03.2004 – 09.2004	AIP Innere Medizin St. Adolph Stift, Krk. Reinbek
10.2004 – 03.2005	Assistenzarzt Innere Medizin WKPPN, Gütersloh
05.2005 – 06.2006	WB-Assistent Allg.-med. Praxis Dr. C. Keller, HH
07.2006 – 07.2007	WB-Assistent Allg.-med Praxis Diederichs- Holthusen, HH
09.2007 – dato	IFA Gesundheit, Südstrandklinik Fehmarn. OT Burg/Fehmarn

Hamburg, den 31.11.2007

Holger Butting

7 Danksagung

Hiermit möchte ich mich zuallererst ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. Lockemann für die Überlassung des Themas und die schier unermüdliche Geduld bei der Fertigstellung dieser Dissertation bedanken.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Maass danke ich für die Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten und die Nutzung von Raum und Materialien der radiologischen Abteilung des UKE.

Herrn Prof. Dr. Bücheler (emeritiert) danke ich für die Ermöglichung einer Inanspruchnahme von Personal und Material für die radiologischen Untersuchungen des experimentellen Teils der Arbeit.

Herr Prof. Beck-Bornholdt, der mich in der Endphase erfolgreich durch Rat und Zielvereinbarungen gecoacht hat, gilt mein besonderer Dank.

Mein Dank gilt weiterhin den Mitarbeitern des Instituts für Rechtsmedizin und der radiologischen Abteilung des UKE, die durch ihren Einsatz diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Ein weiterer Dank gehört meinem Bruder Torsten Butting sowie Sabine Morgowski, Anka Groos und Mario Neumann für die Unterstützung.

8 Literaturverzeichnis

Baur EM, Greschner M, Schaaf L (1996)

Praktische Tips für die medizinische Doktorarbeit.

Springer Verlag Berlin Heidelberg

Benninghoff A (2002)

Anatomie. Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. Band 1.

Verlag Urban und Schwarzenberg 16. Auflage

Bierich JR (1976)

Die Bedeutung der radiologischen Skeletaltersbestimmung für die Klinik.

Radiologe 16:381-390

Bojarun R, Jankauskas R, Garmus A (2004)

Altersbestimmung mithilfe von Wachstumslinien des Zahnzements.

Rechtsmedizin 14:405-408

Brossman J, Stähler A, Preidler KW, Trudell D, Resnick D (1996)

Sternoclavicular joint: MR imaging-anatomic correlation.

Radiology 198:193-198

Daito M, Tanaka M, Hieda T (1992)

Clinical Observations on the Development of Third Molars.

J Osaka Dent Univ 26:91-104

Destouet JM, Gilula LA, Murphy WA, Sagel SS (1981) Computed tomography of the sternoclavicular joint and sternum.

Radiology 25:237-241

Drosos V (2005)

Vergleichende röntgenologische und morphologische Befunderhebung an Weisheitszähnen als Kriterium für die Forensische Altersbestimmung bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen.

Med Diss, Hamburg

Fendel H (1976)

Die Methodik der radiologischen Skeletaltersbestimmung.

Radiologe 16:370-380

Fishmen EK, Brooke RJ (1998)

Spiral-CT. Prinzipien, Techniken und klinische Anwendungen.

Thieme Verlag. Second Edition

Friedrich RE, Ullbricht C, vMaydell LA (2003A)

Panoramaschichtaufnahmen von Jugendlichen und jungen Erwachsenen als Hilfsmittel der forensisch-odontologischen Lebensalterschätzungen.

Rechtsmedizin 13:137-146

Friedrich RE, Scheuer HA, Scheuer J (2003B)

Pneumatisation des Jochbogens („zygomatic air cell defect“) auf

Panoramaschichtaufnahmen von Kindern und Jugendlichen.

Rechtsmedizin 13:69-76

Friedrich RE, Ullbricht C, vMaydell LA (2003C)

Altersbestimmung in Abhängigkeit von der Anzahl kariöser oder konservierend versorgter Zähne. Eine Auswertung von Panoramaschichtaufnahmen jugendlicher und junger Erwachsener.

Quintessenz 54:863-874

Fuhrmann A, Rother U, Lockemann U, Püschel K (2002A)
Der Gutachter vor Gericht – Wertigkeit und Akzeptanz der Altersgutachten bei
Rechtsanwälten und Richtern.
AKFOS 9 (3):96-99

Fuhrmann A, Rother UJ, Lockemann U, Püschel K (2002B)
Age Estimation from Panoramic Radiographs : Third Molar Development and Alveolar
Bone Loss and its Use as an Improved Assessment of Chronological Age.
J Forens Med, Abstr. Book 16th Meeting, Montpellier

Fuhrmann A, Schreiner U, Lockemann U, Püschel K, Rother U (2001)
Identifikation unbekannter Toter durch odontologische Untersuchungen.
Rechtsmedizin 11:37-40

Geserick G, Schmeling A (2001)
Übersicht zum gegenwärtigen Stand der Altersschätzung Lebender im
deutschsprachigen Raum.
In: Oehmichen M, Geserick G (Hrsg): Osteologische Identifikation.
Schmidt-Römhild, Lübeck

Hatfield MK, Gross BH, Glazer GM, Martel W (1984)
Computed tomography of the sternum and its articulations.
Skeletal Radiol 11:197-203

Heinrich, UE (1986)
Die Bedeutung der radiologischen Skeletaltersbestimmung für die Klinik.
Radiologe 26:212-215

Jit I, Kulkarny M (1976)
Times of appearance and fusion of epiphysis at the medial end of the clavicle.
Indian J Med Res 64:773-782

Jung H (2000)

Strahlenrisiken durch Röntgenuntersuchungen zur Altersschätzung im Strafverfahren.

Fortschr Röntgenstr 172:553-556

Jurik AG, Jensen LC, Hansen J (1996)

Radiation dose by spiral CT and conventional

tomography of the sternoclavicular joints and the manubrium sterni.

Skeletal Radiol 25:467-470

Kaatsch HJ (2001)

Juristische Aspekte der Altersschätzung.

In: Oehmichen M, Geserick G Hrsg: Osteologischen Identifikation und Altersschätzung, Research, in Legal Medicine 26:243-254

Kemperdick H (1986)

Die Skelettaltersbestimmung beim Kind.

Radiologe 26:216-221.

Köhler S, Schmelzle R, Loitz C, Püschel, K (1994)

Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensaltersbestimmung.

Ann Anat 176:339-345

Kreitner KF, Schweden F, Schild HH, Riepert T, Nafe B (1997)

Die computertomographisch bestimmte Ausreifung der medialen Klavikulaepiphyse - eine additive Methode zur Altersbestimmung im Adoleszentenalter und in der dritten Lebensdekade?

Fortschr Röntgenstr 166,6: 481-486.

Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M (1998)

Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle.

Eur Radiol 8:1116-1122.

Lockemann U, Fuhrmann A, Püschel K, Schmeling A, Geserick G (2004)
Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft
für Rechtsmedizin. Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Jugendlichen und
jungen Erwachsenen außerhalb des Strafverfahrens.
Rechtsmedizin 14:123-125.

Loitz C (1992)
Läßt sich das Wurzelwachstum der Weisheitszähne zur Altersbestimmung nutzen?
Med Diss, Hamburg

Lucet L, LeLoet X, Menard JF, Mejjad O, Louvel JP, Janvresse A, Dragon A (1996)
Computed tomography of the normal sternoclavicular joint.
Skeletal Radiol 25:237-241

Maatsch K, Knapheide C (1977)
Siemens Somatom Plus 4. Scanprotokolle.

Mentzel HJ, Vogt S, Vilser C, Schwartz T, Eulenstein M, Böttcher J, Tsoref L,
Kauf E, Kaiser WA (2005)
Abschätzung des Knochenalters mit einer neuen Ultraschallmethode.
Fortschr Röntgenstr 177:1699-1705

Mincer, HH, Harris, EF, Berryman HE.(1993)
The A.B.F.O. Study of Third Molar Development and its use As an Estimator of
Chronological Age.
Journal of Forensic Sciences, JFSCA, Vol. 38, No. 2, 379-390

Moll KJ und Moll M (1995)
Anatomie.
Verlag Jungjohann 14. Auflage

Ogden JA, Conlogue GJ, Bronson ML (1979)

Radiology of postnatal development. III. The clavicle.

Skeletal Radiol 4:196-203

Ohtani S, Yamamoto K (1991)

Age Estimation Using the Racemization of Amin Acid in Human Dentin.

JFSCA, Vol. 36, 792-800

Olze A, Mahlow A, Schmidt S, Geserick G, Schmeling A (2004A)

Parodontaler Knochenabbau als Kriterium der forensischen Altersdiagnostik bei jungen Erwachsenen.

Rechtsmedizin 14:448-453

Olze A, Marré B, Heinze D, Geserick G, Schmeling A (2004B)

Der Transilluminator. Ein Gerät zur Messung der Wurzelintransparenz.

Rechtsmedizin 14:402-404

Olze A, Schmeling A, Rieger K, Kalb G, Geserick G (2003)

Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Weisheitszahnmineralisation bei einer deutschen Population.

Rechtsmedizin 13:5-10

Owings Webb PA, Myers Suchey J (1985)

Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern mutiracial sample of American males and females.

Am J Phys Anthropol 68:457-466

Pfau RO, Sciulli PW (1994)

A method for establishing the age of Subadults.

J Forensic Sci 39:165-176

Phillips JL Jr. (1997)

Statistisch gesehen. Grundlegende Ideen der Statistik leicht gemacht.

Birkhäuser Verlag Basel (1997)

Rauche G (2000)

Altersschätzung lebender Personen unter strafrechtlichen Aspekten, insbesondere des JGG. Seminararbeit im Juristisch-rechtsmedizinischen Seminar für Studierende der Rechtswissenschaft. WS 1999/2000 Berlin

Reisinger W, Schmelting A, Olze A, Schulz R, Mühler MR, Hermann KG (2003)

Röntgendiagnostik und Rechtsmedizin bei der Schätzung des Lebensalters. Die Entwicklung der forensischen Altersdiagnostik an der Berliner Charité aus radiologischer Sicht.

Beitr d wiss Symp Rechtsmed. Verlag D. Helm, Heppenheim 2003:161-177

Ritz S, Kaatsch HJ (1996)

Methoden der Altersbestimmung an lebenden Personen:

Möglichkeiten, Grenzen, Zulässigkeit und ethische Vertretbarkeit.

Rechtsmedizin 6:171-176

Ritz-Timme S, Kaatsch HJ, Marré B, Reisinger W, Riepert T, Rösing FW, Röttscher K, Schmelting A, Geserick G (2002)

Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Rentenverfahren.

Rechtsmedizin 12:193-194

Rösing FW (2001)

Forensische Altersdiagnose: Statistik, Arbeitsregeln und Darstellung.

In: Oehmichen M, Geserick G (Hrsg) Osteologische Identifikation. Schmidt-Römhild, Lübeck

Rösing FW, Graw M, Marré B, Ritz-Timme S, Rothschild MA, Röttscher K, Schmeling A, Schröder I, Geserick G (2005)

Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersbestimmung.

Rechtsmedizin 15:32-38

Schmeling A, Lockemann U, Olze A, Reisinger W, Fuhrmann A, Püschel K, Geserick G (2004)

Forensische Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen.

Dtsch Ärztebl 101:1261-1265

Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2000A)

Medizinische Grundlagen der Altersschätzung bei Lebenden im Strafverfahren.

NJW 37:2720-2722

Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G (2000B)

Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations.

Int J Legal Med 113:253-258

Schmeling A, Reisinger Wormanns D, Geserick G (2000C)

Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen zur forensischen Altersschätzung Lebender.

Rechtsmedizin 10:135-137

Schmeling A, Kaatsch HJ, Marré B, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Röttscher K, Geserick G (2001A)

Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren.

Rechtsmedizin 11:1-3

Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2001B)
Age estimation of living people undergoing criminal proceedings.
The Lancet Vol. 358:89-90

Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G (2004)
Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal
cartilage in conventional radiography.
Int J Legal Med 118:5-8

Schoenfeldt M (2001)
Altersgutachten bei Jugendlichen und Heranwachsenden im Rahmen von
Strafverfahren.
Med Diss, Hamburg

Stöver B (1983)
Röntgenologische Aussagekraft des Handradiogrammes.
Röntgenpraxis 36:119-129

Stöver, B (1986)
Prospektive Endgrößenbestimmung: Methodische Möglichkeiten und ihre Grenzen.
Radiologe 26:222-226

Szilvassy J (1997)
Altersschätzung an den sternalen Gelenkflächen der Schlüsselbeine.
Beitr Gerichtl Med 35:343-345

UNICEF-Bericht zur Situation der Kinder in der Welt 2001/2002
Die Kinder dieser Welt - Ein Profil -

Wedegärtner U, Thurmann H, Schmidt R, Adam G. (2003)
Strahlenexposition bei der Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) von Kopf, Mittelgesicht
und Beckenskelett: Vergleich mit dem Einzeilen-Spiral-CT (SSCT).
Fortschr Röntgenstr 175:234-238

Wegener OH (1992)
Ganzkörper-Computer-Tomographie.
Blackwell-Wissenschafts-Verlag. Second Edition

Willich E (1986)
Die Skeletaltersbestimmung im Adoleszentenalter und in der 3. Lebensdekade.
Radiologe 26:227-229

Xiaohu X, Philipsen HP, Jablonski NG, Weatherhead B, Pang KM, Jiazhen Z (1991)
Preliminary Report On A New Method Of Human Age Estimation From Single Adult
Teeth.
Forensic Science International, 51:281-288

Zink P, Zink I, Reinhardt G (1986)
Das Röntgenbild der Hand als eine Grundlage der Altersschätzung bei Jugendlichen.
Arch Kriminol 178:15-24

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Holger Butting

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Holger Butting