

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(Direktor: Prof. Dr. med. habil. R. P. Spielmann)

Stellenwert der Spiral-CT und der Sonographie vor und nach Larynx- Operation bei transsexuellen Patientinnen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

<Doktor der Medizin (Dr. med.)>

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Silvio Brandt

geboren am 9.2.1969

in Lutherstadt Eisleben

Betreuerin: PD Dr. med. S. Kösling

Gutachter:

1. PD Dr. med. M. Bloching

2. Prof. Dr. med. W. Hirsch

3. Prof. Dr. med. R.P. Spielmann

1.7.2003 Datum der Verteidigung: 21.01.2004

urn:nbn:de:gbv:3-000006283

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3A3Agbv%3A3-000006283>]

Referat

Zielsetzung:

Im Rahmen einer retrospektiven Studie sollte die diagnostische Wertigkeit von Computertomographie und Sonographie zur Qualitätskontrolle bzw. -sicherung von Operationsergebnissen am Larynx überprüft werden.

Methode:

45 transsexuelle Patientinnen (Mann-zu-Frau-Transsexualismus), die sich einer Kehlkopfoperation zur Stimmerhöhung unterzogen, wurden prä- und postoperativ mittels Computertomographie (Spiral-CT) und Sonographie untersucht. Bestimmt wurde hier jeweils der cricothyroidale Abstand und die Stimmbandlänge.

Ein Vergleich beider diagnostischer Verfahren zur Bestimmung der diagnostischen Wertigkeit, Genauigkeit und zur postoperativen Kontrolle sollte erfolgen.

Ergebnisse:

Die präoperative Übereinstimmung beider Untersuchungen war gut, postoperativ fanden sich jedoch größere Abweichungen. Eine Korrelation der Stimmerhöhung mit dem cricothyroidalen Abstand fand sich nicht. Lediglich die Differenz der Stimmbandlänge prä- und postoperativ korrelierte mit der Stimmerhöhung in Halbtönen postoperativ. Die Strahlenexposition der Patientinnen im CT wurde mit einer effektiven Dosis von 0,42 mSv berechnet.

Schlussfolgerungen:

Entscheidend für die Abschätzung der präoperativen Stimmerhöhung und die postoperative Qualitätskontrolle ist allein die Stimmbandlänge vor und nach der Operation. Die CT-Untersuchung prä- und postoperativ sollte nur einzelnen Problemfällen vorbehalten bleiben, nicht zuletzt auf Grund der Strahlenexposition für die Patientinnen.

Die CT-Untersuchung könnte zukünftig durch eine MRT-Untersuchung prä- und postoperativ ersetzt werden zur Bestimmung der Stimmbandlänge.

Zitierweise

Brandt, Silvio: Diagnostische Möglichkeiten mittels Spiral-CT und Sonographie vor und nach Larynx-Operation bei transsexuellen Patientinnen. Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 59 S., 2003

Inhaltsverzeichnis:

		Seite
1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Einführung in die Thematik	4
2.1	Bemerkungen zur Begriffsentwicklung und zum Begriff „Transsexualismus“	4
2.2	Definition der Transsexualität	5
2.3	Therapieformen bei transsexuellen Patienten	6
2.4	Die Stimme	7
2.4.1	Therapie der Stimme	8
2.4.2	Operation nach BERGHAUS & NEUMANN	9
2.4.3	Mittlere Sprechstimmlage	12
2.5	Bildgebende Verfahren	13
2.5.1	Konventionelles Röntgen	13
2.5.2	Computertomographie	13
2.5.3	Sonographie	14
2.5.4	Magnetresonanztomographie (MRT)	14
2.6	Strahlenexposition	16
2.6.1	Monte-Carlo-Methode	17
3	Material und Methoden	19
3.1	Patienten	19
3.2	CT-Untersuchung	20
3.3	Auswertung der CT-Untersuchung	23
3.3.1	Messung des cricothyroidalen Abstandes im CT	23
3.3.2	Messung der Stimmbandlänge im CT	27
3.4	Ultraschall-Untersuchung	27
3.5	Operationstechnik der Cricothyroidopexie	28
3.6	Stimmerhöhung in Halbtönen	28
3.7	Strahlenexposition	30
3.8	Statistische Verfahren	32

4	Ergebnisse	33
4.1	Untersuchungstechnische Aspekte	33
4.2	Cricothyroidaler Abstand	34
4.2.1	Cricothyroidaler Abstand im CT gemessen	34
4.2.2	Cricothyroidaler Abstand im Ultraschall gemessen	35
4.3	Stimm lippenlänge	36
4.4	Vergleich bzw. Korrelation der Messwerte untereinander	37
4.4.1	Präoperative Messwerte	37
4.4.2	Postoperative Messwerte	37
4.4.3	Differenz der prä- und postoperativen Messwerte	38
4.4.4	Vergleich der Halbtonerhöhung mit der Stimmlippenverlängerung	39
4.4.5	Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes und Stimmerhöhung	40
4.5	Strahlenexposition der Patientinnen im Spiral-CT	41
5	Diskussion	42
5.1	Einführung	42
5.2	Bildgebende Diagnostik	43
5.2.1	Leistungsfähigkeit und Bildqualität im Spiral-CT	43
5.2.2	Leistungsfähigkeit und Bildqualität im Ultraschall	47
5.2.3	Anforderungen an die bildgebende Diagnostik von Seiten der HNO-Ärzte	48
5.3	Strahlenexposition der Patientinnen	49
5.4	Alternative Untersuchungsmethoden	50
5.5	Vorschlag für ein zukünftiges diagnostisches Konzept	52
6	Zusammenfassung	53
7	Literaturverzeichnis	55

Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomographie
HE	Hounsfield Einheit
HNO	Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
MCM	Monte-Carlo-Methode
MRT	Magnetresonanztomographie
NRPB	The National Radiological Protection Board

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Stimme und das Sprechen als wichtiges Kommunikationsmittel bzw. die Grundlage der verbalen Kommunikation bestimmen wesentlich die Sympathie und Akzeptanz gegenüber anderen Menschen.

Die Stimme wird hervorgerufen durch die in Schwingungen versetzten Stimmbänder.

Der im Larynx produzierte Grundton wird durch den Vokaltrakt (Ansatzrohr) moduliert und verstärkt. Unter dem Vokaltrakt versteht man in diesem Zusammenhang alle lufthaltigen Räume oberhalb der Glottisebene. Die Stimme wird entsprechend des produzierten Grundtons als männlich oder weiblich wahrgenommen.

Transsexualität bedeutet das Vorliegen eines Widerspruchs zwischen ausgeprägtem somatischen Geschlecht und empfundener Geschlechtsidentität, wobei sich der Betroffene bei geno- und phenotypisch eindeutiger Geschlechtsdetermination psychisch dem jeweils anderen Geschlecht zugehörig fühlt. Nach EICHER (1992) stellt Transsexualität „eine komplexe und dauerhafte totale Transposition der Geschlechtsidentität dar, deren Ursache noch weitestgehend ungeklärt ist“.

In der Sexualwissenschaft wird Transsexualismus als Krankheit genannt. BOSINSKI (1995) definiert Transsexualismus als eine krankhafte Abweichung der Geschlechtsidentität vom biologischen Zuweisungsgeschlecht, die einer Behandlung bedarf.

Die Abweichung der Geschlechtsidentität vom biologischen Geschlecht und damit der Wunsch, dem anderen Geschlecht anzugehören, ist sowohl bei Frauen als auch bei Männern zu beobachten.

Demzufolge gibt es Mann-zu-Frau- und auch Frau-zu-Mann-Transsexualität. Nach SPEHR (1997) finden sich Patienten in allen Schichten der Bevölkerung.

In den letzten Jahren wurde eine Zunahme der Patienten festgestellt, die eine Geschlechtsangleichung wünschten. Verantwortlich dafür ist u.a. vor allem die Tatsache, dass sich der kulturelle und soziale Status der Transsexuellen sowie ihre rechtliche Situation verändert haben. Auch die Akzeptanz in der Gesellschaft und die zunehmende Aufklärung der Bevölkerung über die Erkrankung nahm in den letzten Jahren deutlich zu.

Da die Stimme und das Sprechen die Grundlage der Kommunikation ist und wesentlich die Akzeptanz gegenüber anderen Menschen bestimmt, ist der Wunsch transsexueller Patienten

nach einer geschlechtsspezifischen Stimmveränderung verständlich. Aus diesem Grund suchen die Patientinnen den HNO-Arzt oder einen Sprachtherapeuten auf.

Der prominente Kehlkopf beim erwachsenen Mann - ein sekundäres Geschlechtsmerkmal - lässt bei Patientinnen mit Mann-zu-Frau-Transsexualismus meist nur operative Methoden zur Stimmerhöhung zur Anwendung kommen.

Zur Stimmerhöhung werden verschiedene Operationsmethoden am Kehlkopf angewandt. Die an der Martin-Luther-Universität (Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie) angewandte Methode zur Stimmerhöhung ist die Cricothyroidopexie, das operative Heranziehen des Ringknorpels an den Schildknorpel und die Fixation mittels Suturen über Miniplatten.

Da subjektive und psychologische Faktoren der Patientinnen einer auditiven Diagnostik gegenüberstehen - Bestimmung der Grundfrequenz, Klanganalysen und Messung des Stimmfeldes durch den HNO-Arzt / Phoniater - sind weitere, möglichst objektive Methoden, zur Beurteilung des Operationsergebnisses, notwendig.

Schon vor diesem Hintergrund kann mittels radiologischer Diagnostik versucht werden, Operationsergebnisse und Verläufe zu dokumentieren. Vielleicht kann sogar der Operationserfolg, also der Umfang der Stimmerhöhung, vorher abgeschätzt werden.

Leider gibt es bei allen Untersuchungen auch limitierende Faktoren. Mit konventioneller Röntgentechnik lassen sich nur die Suturen auf Intaktheit prüfen. Die Beurteilung einer Möglichkeit zur besseren Dokumentation von Operationsergebnissen, des Operationserfolges und die Darstellung der limitierender Faktoren gaben Anlass für die vorliegende Untersuchung. Zwischen 1993 und 2001 wurden 67 Patientinnen nach der von BERGHAUS & NEUMANN weiterentwickelten Operationsmethode an der HNO-Klinik der Martin-Luther-Universität operiert.

45 Patientinnen davon wurden in der Klinik für Diagnostische Radiologie untersucht.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit nachfolgenden Fragen:

Was kann die bildgebende Diagnostik prä- und postoperativ leisten?

Welche Risiken bergen die Untersuchungen für die Patientinnen?

Wie ist die Strahlenexposition für die Patientinnen?

Was gibt es für alternative Untersuchungen?

Wo sind die Grenzen der Untersuchungen?

Welches diagnostische Konzept lässt zukünftig die Therapie effektiver werden?

2 Einführung in die Thematik

2.1 Bemerkungen zur Begriffsentwicklung und zum Begriff „Transsexualismus“

Die Begriffsbildung des Transsexualismus erfolgte während der letzten 150 Jahre und wurde erst allmählich im 20. Jahrhundert geprägt. Heute ist es sehr schwierig, den historisch geprägten Begriff in der Literatur zu finden, da sicher schon früher solche Verhaltensweisen bei Menschen auffällig waren.

Erste Hinweise auf Transsexualismus in der Medizin stammen von ESQUIROL 1838, der Patienten und deren Verhaltensweisen beschrieb, die diesem Phänomen zugeordnet werden können.

1877 beschrieb KRAFFT-EBING Krankheitsfälle mit einem Geschlechtsempfinden, dass nicht mit dem biologischen Geschlecht übereinstimmte. Er unterschied Patienten, bei denen diese konträre Sexualempfindung nur zeitweilig bestand, von Patienten, bei denen dieses Phänomen eine angeborene Erscheinung war. Hier kam es damit erstmals zur Unterscheidung einer dauerhaften Transposition der Geschlechtsidentität (Transsexualität) von einer partiellen Transposition der Geschlechtsidentität (Transvestitismus).

1910 prägte der Sexualforscher HIRSCHFELD den Ausdruck Transvestitismus. Er unterschied, genau wie andere Autoren seiner Zeit, noch nicht zwischen Transvestiten, Transsexuellen und Homosexuellen.

Einige Jahre später sprach HIRSCHFELD (1923) vom seelischen Transsexualismus und verwendete den Terminus Transsexualismus wahrscheinlich zum ersten Mal. Zu diesem Zeitpunkt und auch noch in späteren Jahren wurde seine Publikation nur wenig von der Fachwelt beachtet, denn die Bezeichnung Transsexualismus wird dem Amerikaner CAULDWELL (1949) zugeschrieben (BENJAMIN 1953, PAULY 1965).

BENJAMIN (1953) definiert Transsexuelle als Patienten, die sich einer geschlechtskorrigierenden Operation unterziehen wollen. Er machte in der Literatur und in der Öffentlichkeit erstmalig auf dieses Krankheitsbild aufmerksam (BENJAMIN 1964).

Er unterschied den Transsexualismus vom Transvestitismus vor allem durch den Wunsch nach einer geschlechtsangleichenden Operation, die den Transsexuellen vom Transvestiten trennt (DESIRAT 1985).

Transsexualismus kann sich sowohl seit frühester Kindheit als auch im späteren Alter entwickeln und bleibt dann dauerhaft bestehen. Nur selten lässt sich diese Entwicklung umkehren. Oft drückt sich eine solche Entwicklung in der Kindheit im typischen Spielverhalten des jeweils anderen Geschlechtes aus (CLEMENT 1996).

Die Pubertät erweist sich oft als eines der größten Probleme, da sich hier die sekundären Geschlechtsmerkmale ausbilden und dadurch das konträre Sexualverhalten noch deutlicher zum Ausdruck kommt. Der Leidensdruck wird dadurch verstärkt. Konflikte in der Familie und der sozialen Umwelt verstärken den psychischen Druck zusätzlich. Die Belastung nimmt mit zunehmenden Alter in der Regel zu.

Als einziger Ausweg für die Patienten bleibt in vielen Fällen nur die geschlechtsangleichende Operation. Charakteristisch ist, dass Schmerzen, Schwierigkeiten und Risiken weitere Unannehmlichkeiten und finanzielle Ausgaben nur noch eine untergeordnete Rolle spielen, da der Wunsch nach einer Operation und der Leidensdruck enorm groß sind. Der Wunsch besteht einzig und allein darin, das Geschlecht auch äußerlich zu wechseln und im sozialen Umfeld akzeptiert und integriert zu werden.

Eine sorgfältige und umfassende Abklärung der Diagnose Transsexualität ist vor jeder Therapie/ Operation unerlässlich, weil die Behandlung mit tiefgreifenden, irreversiblen Veränderungen verbunden ist. Voraussetzung für therapeutische Maßnahmen stellen zwei unabhängige psychologische Gutachten dar, in denen das Vorliegen der Transsexualität bestätigt wird.

Differentialdiagnostisch müssen Homosexualität, Transvestitismus und Psychosen ausgeschlossen werden, bei denen es ebenfalls zur Geschlechtsidentitäts-Störung kommen kann.

2.2 Definition der Transsexualität

Der Begriff des Transsexualismus wird nach EICHER (1992) wie folgt definiert:

„Transsexualität ist ein Teil der Intersexualität und bedeutet eine fehlerhafte

Geschlechtsentwicklung, die sowohl morphologische als auch psychische Ursachen (Intersexualität) beinhaltet. Hierzu gehören morphologische Störungen der Sexualdifferenzierung, die chromosomal oder gonadal bedingt sind.“

Während zur psychischen Intersexualität nach EICHER Homosexualität, Transvestitismus und Transsexualismus gezählt wird, sind Transsexuelle, Menschen, die sich im falschen Körper wähnen. Das heißt, ihr Erscheinungsbild ist männlich, aber sie empfinden sich als Frau oder umgekehrt.

Transsexuelle entsprechen biologisch, also chromosomal, anatomisch und hormonal ihren phenotypischen Geschlechtsmerkmalen. In ihrer Empfindung fühlen sie sich aber eindeutig dem anderen Geschlecht als zugehörig. Sie haben deshalb den Wunsch, sich therapeutisch (hormonell und operativ) dem jeweils anderen Geschlecht anzupassen.

Transvestiten hingegen sind Menschen, die nur gelegentlich gegengeschlechtliche Kleidung tragen. Das Bewusstsein, selbst dem anderen Geschlecht anzugehören, ist bei Transvestiten nicht vorhanden.

Effemierte Homosexuelle wollen als Männer angesehen werden und fühlen sich nicht als Frau. Die zeitweise weibliche Verkleidung spielt nur eine untergeordnete Rolle.

2.3 Therapieformen bei transsexuellen Patienten

Die Therapie des Transsexualismus besteht in der psychologischen Betreuung der Patienten sowie in der körperlichen Angleichung an das erstrebte Geschlecht durch endokrinologische und chirurgische Maßnahmen.

Die Behandlung des Transsexualismus erfolgt über einen längeren Zeitraum in verschiedenen Stufen in Zusammenarbeit mit Urologen, Gynäkologen, Psychologen, Endokrinologen und HNO-Ärzten / Phoniatern.

Die Psychotherapie ist dabei als wichtige unterstützende Maßnahme zu sehen. Sie soll helfen, dass die Patienten die Probleme im Alltag und vor allem im sozialen Umfeld bewältigen.

Die gegengeschlechtliche Hormonbehandlung steht grundsätzlich im Therapiekonzept des Transsexualismus an erster Stelle. Dabei werden Mann-zu-Frau Transsexuelle durch Östrogene oder Gestagene und Antiandrogene behandelt und Frau-zu-Mann Transsexuelle erhalten

Testosteronpräparate. Eine Veränderung der Stimme bei erwachsenen Mann-zu-Frau Transsexuellen wird durch die Hormongabe nicht erreicht.

Erst nach der Hormontherapie folgen die geschlechtsangleichenden Operationen, die heute weitestgehend standardisiert sind. Dennoch bleiben vor allem Mann-zu-Frau Transsexuelle auch oft noch nach der Operation auffällig. Hier besonders durch den Körperbau, Gesicht oder Form der Hände und nicht zuletzt durch die noch tiefe männliche Stimme kombiniert mit dem oft deutlich prominenten Adamsapfel.

2.4 Die Stimme

Die Stimme ist der Hauptbestandteil der menschlichen Kommunikation. Dadurch wird sie bei Mann-zu-Frau Transsexuellen zum größten Hindernis bei der sozialen Integration und beim Identitätswechsel nach abgeschlossener Therapie (BERGER 1988).

Da, wie schon erwähnt, eine hormonelle Behandlung bei Mann-zu-Frau Transsexuellen nicht zur Stimmerhöhung führen kann, ist eine operative Stimmerhöhung und eine logopädische Stimmtherapie unerlässlich.

Für jedes Geschlecht hat die Stimme einen typischen Klang. Dieser ist hauptsächlich von der Stimmgrundfrequenz und der mittleren Sprechstimmlage abhängig. Die mittlere männliche Sprechstimmlage liegt bei G (98 Hz) bis c (131 Hz). Die mittlere weibliche Sprechstimmlage wird etwa eine Oktave höher angegeben. Dazwischen liegt der Indifferenzbereich d-e (147-165 Hz), wo keine Geschlechtszuordnung möglich ist (WENDLER et al. 1996).

Die Stimmgrundfrequenz ist abhängig von der Glottis die bei der Frau und bei dem Mann unterschiedlich groß ist und damit eine unterschiedliche Resonanz besitzt (BÖHME 1997).

"Die große Variationsbreite der Stimme erklärt sich daraus, dass sowohl die Stärke des Luftstromes (Lautstärke der Stimme), die Spannung der Stimmlippen sowie die Weite und Form der Stimmritze (Grundton der Stimme) als auch die Größe und die Form des Luftraumes durch eine Vielzahl von Muskeln stark variierbar sind" (SILBERNAGL & DESPOPOULOS 1988). Hierbei von Bedeutung sind insbesondere der M. cricothyroideus, der den Ringknorpel dem Schildknorpel nähert und so die Grobspannung an den Stimmlippen regulieren kann. Der M. cricoarytaenoideus posterior öffnet als einziger Muskel die Stimmritze. Die Mm.

cricoarytaenoideus lateralis, arytaenoideus transversus und obliquus verschließen die Stimmritze. Der M. vocalis ermöglicht die Feineinstellung der Stimmbänder.

Wichtige knorpelige Bestandteile des Kehlkopfes zur Stimmbildung sind der Ringknorpel und die Stellknorpel. Der Ringknorpel ist durch die Cricothyroidgelenke seitlich mit dem Schildknorpel verbunden. Durch die oben schon erwähnte Kontraktion des M. cricothyroideus, der den Ring- und Schildknorpel lateral verbindet, erfolgt eine Annäherung des Ringknorpels an den Schildknorpel und dadurch auch eine zwangsläufige Rückverlagerung der Arytaenoidknorpel, die an den Stimmlippen ansetzen. Hierdurch kann die Spannung der Stimmlippen und damit die Höhe des Klanges verändert werden (WENDLER et al. 1996).

Ventral sind Ring- und Schildknorpel durch das Ligamentum cricothyroideum miteinander verbunden. Die durchschnittliche Ausdehnung des Ligamentum cricothyroideum beträgt sowohl bei der Frau als auch beim Mann ca. 8 mm (6-13 mm) (LANG 1995).

Das während der Pubertät auftretende Kehlkopfwachstum beim Mann hat im Vergleich zur Frau eine unterschiedliche Längen- und Breitenzunahme der Stimmlippen zur Folge.

So beträgt das Längenwachstum bei Knaben ca. 1 cm und bei Mädchen nur 3-4 mm. Demzufolge sinkt die mittlere Sprechstimmlage bei Knaben um etwa eine Oktave (LANG 1995).

Die operative Therapie basiert auf der Veränderung der Stimmgrundfrequenz. Sie wird erreicht entweder über eine Erhöhung der Stimmlippenspannung oder der schwingenden Stimmlippenmasse.

2.4.1 Therapie der Stimme

Bei Mann-zu-Frau-Transsexuellen kommen phonochirurgische Eingriffe zum Einsatz, wenn die Stimme durch eine Stimmübungsbehandlung allein nicht zur weiblichen Stimmlage hin verändert werden kann.

Da man chirurgisch keine Änderung des Vokaltraktes erreichen kann, bleibt nur die Möglichkeit zur Operation an den Stimmlippen um eine Erhöhung des Grundtons zu erreichen. Eine operative Möglichkeit dafür bietet die Larynxgerüstchirurgie, die am Kehlkopfskelett ansetzt und die Approximation des Schildknorpels an den Ringknorpel beinhaltet (Thyroplastik

Typ IV nach ISSHIKI). Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Stimmgrundfrequenz stellt ein endolaryngealer Eingriff direkt an den Stimmlippen dar (GROSS 1999, WENDLER et al. 1996).

Die Systematik der Larynxgerüstchirurgie geht auf ISSHIKI (1974) zurück, der chirurgische Techniken zur Änderung der Länge, der Spannung und der Masse der Stimmlippen beschreibt und sie in Thyreoplastiken Typ I-IV einteilt.

In der Larynxgerüstchirurgie zur Stimmerhöhung von Transsexuellen hat sich die Anwendung der Thyreoplastik TYP IV nach ISSHIKI durchgesetzt. Hinweise auf die Behandlung der Stimme bei Mann-zu-Frau-Transsexuellen finden sich bei ISSHIKI 1989. Er berichtet hier über schlechte Ergebnisse zur Stimmanhebung mittels cricothyroidaler Approximation bei transsexuellen Patienten.

Für die Erhöhung der Sprechstimme beschreibt ISSHIKI das operative Prinzip einer cricothyroidalen Approximation durch Fixierung des Ringknorpels an den Schildknorpel mit Hilfe von vier nicht resorbierbaren Nähten. Das Risiko dieser Technik besteht in einem Ausreißen der Nähte und damit in der nicht dauerhaften Stimmerhöhung.

SATALOFF (1997) veränderte die chirurgische Technik insofern, dass er den Ringknorpel approximiert und zusätzlich nach hinten unter den Schildknorpel subluxierte. In dieser Stellung fixierte er den Ringknorpel mit nicht resorbierbaren Fäden. Er erzielte damit Stimmerhöhungen bis zu einer Oktave. Stimmlich werden hierbei akzeptable Ergebnisse erzielt. Eine kosmetisch ergänzende Maßnahme bei Mann-zu-Frau-Transsexuellen ist die Chondrolaryngoplastik nach WOLFORT (1990). Sie basiert auf der Reduktion des Adamsapfels, auch ohne anderen phonochirurgischen Eingriff.

2.4.2 Operation nach BERGHAUS & NEUMANN

Betrachtet man die standardisierten Verfahren für die chirurgische Umwandlung der primären Geschlechtsorgane bei Mann-zu-Frau-Transsexuellen wird ersichtlich, dass es in Bezug auf die stimmliche Adaptation bei diesen Patienten keine phonochirurgischen standardisierten Maßnahmen gibt.

Da eine logopädische Therapie ohne operative Maßnahmen bei den meisten Mann-zu-Frau-

Transsexuellen nicht den gewünschten Erfolg bringt (ROSANOWSKI & EYSHOLDT 1999), war die Entwicklung einer phonochirurgischen Technik zur permanenten Stimmanhebung ein zwingendes Erfordernis.

Grundlage der dafür von BERGHAUS & NEUMANN (1996) entwickelten Cricothyroidopexie mit Miniplatten stellt die Thyroplastik Typ IV nach ISSHIKI dar. Eine schematische Darstellung des Operationsprinzips zeigt Abbildung 1.

Diese Technik basiert auf einer maximalen Approximation (Kontakt der beiden Knorpelkanten) und teilweise sogar auf einer geringfügigen Subluxation des Ringknorpels unter den Schildknorpel. Die Fixierung erfolgt anschließend durch Drahtnähte über Miniplatten aus Titan oder LactoSorb[®]. Der Vorteil der Methode besteht in der Vermeidung von Eingriffen am Larynxinneren und einer Stabilisierung des Schildknorpels mit Titan-Miniplatten oder resorbierbaren Miniplatten (*LactoSorb*[®]), sodass ein häufiges Ausreißen der Nähte, wie es ISSHIKI beschrieb und damit verbundene Lockerungen nicht mehr möglich sind. Man erreichte dadurch also eine dauerhafte Erhöhung der Stimme (NEUMANN et al. 2002, WELZEL et al. 2002).

Seit 1997 wurden anstelle der Titan-Miniplatten resorbierbare Miniplatten eingesetzt. Dieses Material zeigt ebenfalls eine ausreichende Festigkeit zur Stabilisierung des Knorpels zum Zeitpunkt der Operation und wird nach ca. einem Jahr vollständig resorbiert. Der Vorteil besteht in der Verminderung der im Körper verbleibenden Fremdmaterialien.

Die Operation kann sowohl in Intubationsnarkose als auch in Lokalanästhesie erfolgen.

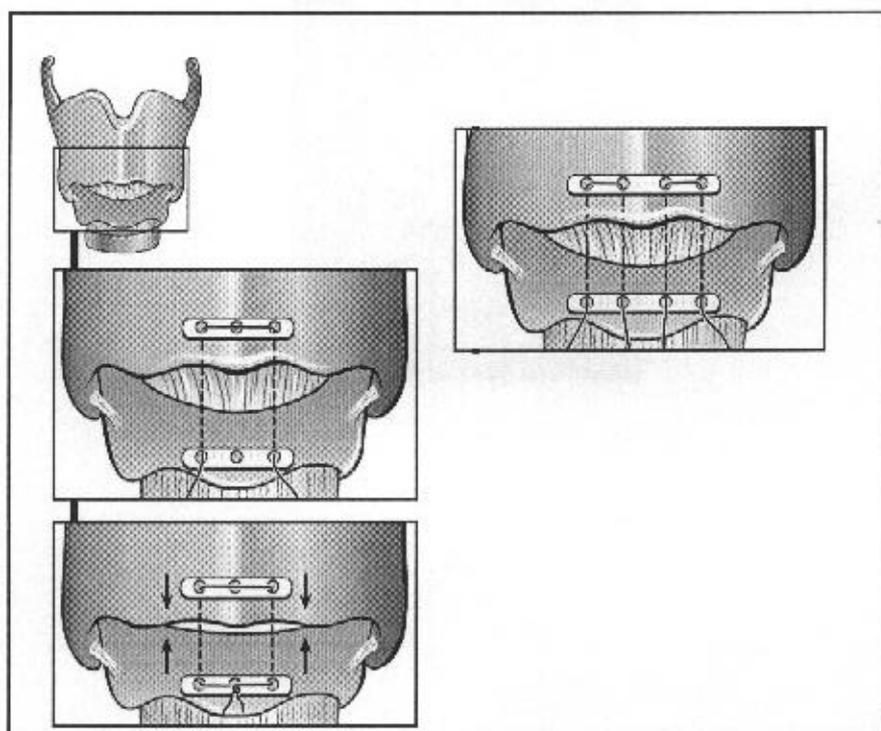


Abb.1: Schematische Darstellung des Operationsprinzips nach BERGHAUS & NEUMANN – Cricothyroidopexie mit Miniplatten

2.4.3 Mittlere Sprechstimmlage

Zur Kontrolle des Operationsergebnisses erfolgten auditive Untersuchungen und hier vorrangig die Bestimmung der mittleren Sprechstimmlage. Hierunter versteht man die Tonhöhe um die sich die Stimme beim Sprechen bewegt und von der sie nur kurzzeitig nach oben oder nach unten abweicht. Sie ist eine quantitative Stimmanalyse und wurde prä- und postoperativ bei allen Patientinnen bestimmt.

Sie beträgt bei Männern G bis c (98-131 Hz) und bei Frauen f bis c´ (175-262 Hz).

Zusätzlich wurde auch das Stimmfeld computergestützt gemessen. Die Messung beruht auf einer simultanen Erfassung von Tonhöhen- und Intensitätsumfang der Stimme und wird in Halbtonschritten angegeben.

2.5 Bildgebende Verfahren

Im Zeitalter der modernen Bildgebung ist der Wunsch nach präoperativen Informationen zum Abschätzen des Operationsrisikos und von, wenn auch seltenen Komplikationen, verständlich. Auch postoperativ wird jeder Arzt schon allein zur Qualitätsprüfung stets bemüht sein, das Ergebnis zu kontrollieren, korrelieren und zu dokumentieren.

Nachfolgend soll dargelegt werden, welche Aussagen von den verschiedenen bildgebenden Verfahren zu erwarten sind.

2.5.1 Konventionelles Röntgen

Das konventionelle Röntgen erzeugt ein Summationsbild sämtlicher Strukturen, die im Strahlengang liegen. Knöchernen Strukturen werden mit hoher Ortsauflösung abgebildet und sind wie lufthaltige Strukturen gut erkennbar. Weichteile hingegen können nur schlecht differenziert werden.

Sowohl die Stimmlippenlänge als auch der cricothyroideale Abstand lassen sich mit einem konventionellen Röntgenbild nicht bestimmen. Somit bleibt die Untersuchung lediglich der Fragestellung eines Materialdefektes bzw. einer Nahtinsuffizienz der Drahtnähte vorbehalten.

2.5.2 Computertomographie

Mit der 1971 entwickelten CT werden keine Summationsbilder sondern in der Regel axiale Schnittbilder erzeugt.

Von Vorteil gegenüber der konventionellen Röntgenaufnahme ist dabei die überlagerungsfreie Darstellung und klare Abgrenzung von Organen und Organstrukturen, der deutlich bessere Weichteilkontrast, die quantitative Messung von dargestellten anatomischen und pathologischen Strukturen, die Nachbearbeitung bereits vorhandener Datensätze (Bilder) nach der jeweiligen Fragestellung und die elektronische Speicher- und Archivierungsmöglichkeit. Nachteilig ist eine gegenüber dem konventionellen Übersichtsbild deutlich erhöhte

Strahlenexposition.

Eine Weiterentwicklung der herkömmlichen CT, ist die Spiral-CT, die seit Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts zunehmend in der klinischen Routine eingesetzt wurde.

Sie ermöglicht eine Abtastung eines größeren Untersuchungsvolumens in kürzerer Zeit mit nachfolgender Bildrekonstruktion. Hierdurch sind Untersuchungen in einer Atem- und gleichmäßiger Kontrastierungsphase bei intravenöser Gabe von Kontrastmittel möglich.

Vorteilhaft für Halsuntersuchungen wirkt sich die Reduzierung der Aufnahmezeit aus, was zu einer deutlichen Einschränkung von Bewegungsartefakten führt.

Das Spiral-CT eignet sich damit sehr gut zur Darstellung und zur Ausmessung der Stimmlippen und des Kehlkopfes (BRÜNING, 2001).

2.5.3 Sonographie

Neben der Computertomographie ist die etwa 1974 entwickelte Sonographie ein weiteres bildgebendes Verfahren, welches sich sehr gut zur Darstellung des Kehlkopfes eignet. Sie nutzt das unterschiedliche Verhalten von Schallwellen in differentem Gewebe zur Bildgebung aus.

Die Darstellung und das Vermessen der Lamina cricothyroidea zwischen Schild- und Ringknorpel ist hier problemlos möglich. Bei der Darstellung der Stimmlippen und bei der Kontrolle des Operationsergebnisses treten allerdings Schwierigkeiten auf Grund von Luftüberlagerung und Artefakte durch das OP-Material auf.

Der Vorteil liegt aber ganz offensichtlich in der schnellen problemlosen Verfügbarkeit (z.B. auch am Krankenbett), der einfachen Handhabung, des geringeren Kostenfaktors und der fehlenden Strahlenexposition für die Patientinnen.

2.5.4 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die MRT, ein Verfahren, das 1973 entwickelt wurde (LAUTERBUR 1973), ist wie die CT ein Schnittbildverfahren, welches das Verhalten von Wasserstoffatomen im Magnetfeld nach Ein- und Ausschalten von Hochfrequenzimpulsen zur Bildgebung heranzieht.

Gegenüber der CT besitzt die MRT einen besseren Weichteilkontrast, kann aber nicht zwischen Luft und kompaktem Knochen differenzieren.

Sie bietet ähnlich der CT-Untersuchung gute Möglichkeiten zur Bestimmung der Stimmlippenlänge und des cricothyroidalen Abstandes. Negativ auf die Bildqualität können sich hier aber eine lange Untersuchungszeit und damit verbundene Schluckbewegungen des Kehlkopfes und Metallartefakte des OP-Materials auswirken.

Der Vorteil liegt aber insbesondere in der fehlenden Strahlenexposition der Patientinnen, nicht zuletzt auch in Anbetracht ihres relativ niedrigen Durchschnittsalters.

2.6 Strahlenexposition

Bei allen Verfahren, die mit Röntgenstrahlen arbeiten, sind strahlenschutztechnische Aspekte zu beachten. Es ist in jedem Fall eine Risiko-Nutzen–Abschätzung vorzunehmen. Der indikationsgerechte Einsatz solcher Verfahren obliegt fachkundigem ärztlichen Personal. Dies schreibt die Deutsche Röntgenverordnung mit letzter Änderung vom 1.7.2002 vor, ebenso die Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung. Im § 2c Abs. 2 heißt es hier: „Wer eine Tätigkeit nach dieser Verordnung plant, ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet jede Strahlenexposition von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes der Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.“ (SONNEK 2002)

Durch die umfangreiche Anwendung der ionisierenden Strahlung in der Medizin konnte weltweit eine erhebliche Zunahme der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung in den letzten Jahrzehnten verzeichnet werden (JACOBI 1998). Demzufolge ist es unbedingt notwendig im Rahmen von Studien, Untersuchungen und neuen Behandlungsformen, sich die Strahlenexposition am Patienten zu verdeutlichen und mögliche für den Patienten entstehende Risiken zu diskutieren und nach alternativen Untersuchungsmethoden zu suchen (JUNG 1995). Deshalb stellt auch die Berechnung der Strahlenexposition in dieser Arbeit einen wichtigen Aspekt dar.

Die effektive Dosis H_E (mSv) dient der Abschätzung des Strahlenrisikos der Patienten und erlaubt den direkten Vergleich verschiedener Untersuchungen. Sie wird aus der Summe der bei Strahlenexposition auftretenden Organdosen multipliziert und mit dem jeweiligen Wichtungsfaktor dieser Organe berechnet (JUNG 2000, PROKOP 2002).

Ein in der Strahlentherapie und der Diagnostischen Radiologie zur Strahlendosisberechnung häufig verwendetes physikalisches Modell, welches zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist die Monte-Carlo-Methode.

2.6.1 Monte-Carlo-Methode

Für ein Verfahren, welches letztlich auf Zufall beruht, haben Wissenschaftler den Namen der bekannten Stadt Monte Carlo gewählt. Die Idee zur medizinischen Anwendung liegt schon etwa 10 Jahre zurück, war aber damals noch nicht realisierbar.

Die Methode beruht auf grundlegenden physikalischen Gesetzen der Wechselwirkung von Strahlung und Materie. Sie ist ein stochastisches Verfahren, das auf der Anwendung von Zufallszahlen beruht, die statistisch ausgewertet werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich komplexe Systeme aus allen Bereichen von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft simulieren. Eine Anwendung des Verfahrens beruht auf dem Prinzip „treffen oder verwerfen“. So ist es möglich die Zahl „ π “ zu berechnen, Börsenkurse oder Wetterlagen vorherzusagen. Medizinische Anwendungen liegen z.B. in der Berechnung der Strahlendosis oder von Dosisverteilungen im Gewebe in der Strahlentherapie. Die Möglichkeit zur Berechnung von Organdosen bei CT-Untersuchungen zeigten JONES & SHRIMPTON (1991).

Ziel ist es, nach dem Wahrscheinlichkeitsprinzip zu ermitteln, wie sich die eingesetzte Strahlung im Gewebe verhält und ausbreitet. Beeinflusst wird das Verhalten von der Strahlenart, der Strahlenenergie und von der Dichte und chemischen Zusammensetzung des bestrahlten Gewebes.

Auf diese Weise können die Wechselwirkungswahrscheinlichkeiten für verschiedene Gewebetypen und Strahlenarten bestimmt werden. Da Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie (hier: Gewebe) statistische Prozesse sind, ist die MCM ein ideales Verfahren, um die wahrscheinlichen Richtungs- und Energieverteilungen der einzelnen Teilchen eines Strahles zu simulieren. Um eine ausreichend große Genauigkeit zu erhalten, müssen mehrere 10^6 Teilchen simuliert, d.h. mittels Zufallsgenerator ermittelt werden. Daraus kann die Dosisverteilung oder auch die Strahlendosis berechnet werden. Die Methode ist enorm genau. Präzisere Berechnungen gibt es heutzutage nicht (SOBOL 1991).

Die Genauigkeit der Dosisberechnung in der Medizin hängt also nur von der Bestimmung der Strahlungsqualität und dem jeweiligen Wechselwirkungskoeffizienten ab. Die Strahlendosis im menschlichen Gewebe kann mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ vorhergesagt werden (FIPPEL & NÜSSLIN 2001).

Der wesentliche Nachteil lag in der Vergangenheit darin, dass MCM-Algorithmen einer sehr

umfangreichen Rechnung bedürfen und die Kapazität der Computer begrenzt war. Mit der Einführung schnellerer Computer und neuer Varianzreduktionstechniken konnten diese Probleme deutlich reduziert werden. Die Rechenzeiten betragen heutzutage nur wenige Minuten.

3 Methoden und Material

3.1 Patienten

Im Zeitraum von 1993-2001 wurden in der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde der Martin-Luther-Universität in Halle bei 67 Patientinnen zur Stimmerhöhung eine Cricothyroidopexie durchgeführt.

45 dieser Patientinnen in einem Alter von 24 bis 67 Jahren (Durchschnittsalter 40 Jahre) erhielten in der Klinik für Diagnostische Radiologie der Martin-Luther-Universität ein Larynx-Spiral-CT. In der Klinik für HNO der Martin-Luther-Universität wurden die Patientinnen mittels Ultraschall untersucht. Die Analyse der Daten erfolgte retrospektiv.

Aufgrund der retrospektiven Analyse und aus technischen Gründen konnten die Daten zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes nur wie nachfolgend aufgeführt erhoben werden:

Spiral-CT / Sonographie

- bei 30 / 20 Patientinnen waren die Daten der Untersuchung prä- und postoperativ erhältlich und ein Vergleich des cricothyroidalen Abstandes möglich
- von 9 / 17 Patientinnen konnten nur präoperative Daten erhoben werden
- 3 / 3 Patientinnen wurden nur postoperativ untersucht
- bei 3 / 0 Patientinnen war eine präoperative Darstellung nicht möglich

Die Ursache hierfür waren kurzfristige Operationstermine oder keine erfolgte Operation. Bei 3 Patientinnen konnte der cricothyroidale Abstand präoperativ im CT nicht bestimmt werden, auf Grund einer mangelnden Darstellung bzw. Abgrenzbarkeit bzw. einer mangelnden Verkalkung des Kehlkopfknorpels. Auf eine postoperative Untersuchung wurde hier verzichtet.

Postoperativ wurden die Patientinnen 3-7 Tage nach Operation untersucht.

Bei 2 Patientinnen, die 14 bzw. 19 Monate postoperativ nach einem Trauma eine erneut tiefere Stimme empfanden, wurde ein zusätzliches Kontroll-CT zum Ausschluss einer Nahtinsuffizienz durchgeführt.

Die Bestimmung der Stimmbandlänge erfolgte bis auf 3 Patientinnen ausschließlich retrospektiv. So konnten nur nachfolgend aufgeführte Daten erhoben werden.

- bei 14 Patientinnen waren die Daten der Untersuchung prä- und postoperativ erhältlich
- von 14 Patientinnen konnten nur präoperative Daten erhoben werden
- von 2 Patientinnen waren nur postoperative Messwerte zu erheben

Die Ursache hierfür war die Nichterfassung der Stimmlippen in der jeweiligen Untersuchung.

3.2 CT-Untersuchung

Alle CT-Untersuchungen wurden als Spiral-CT-Untersuchung am Somatom PLUS-S (Firma SIEMENS) mit einem Zoom-Faktor um 4,0 (512 x 512 Bildmatrix) bei einer Gantrykipfung von 15 Grad und Lagerung in einer Kopfschale durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgten in Rückenlage bei flacher, gleichmäßiger Atmung. Die Patientinnen wurden angewiesen sich nicht zu bewegen und insbesondere nicht zu schlucken, um Bewegungen des Kehlkopfes während der Untersuchung und damit eine Bildunschärfe zu vermeiden. Die gesamte Untersuchung dauerte ca. 10 min. Die Untersuchungen erfolgten nativ, d.h. ohne Kontrastmittel.

Bei den Spiral-CT-Untersuchungen wurden folgende Parameter gewählt:

Röhrenspannung:	120 kv
Stromstärke:	210 mAs
Expositionsdauer:	12-18 x 1 s
Aufnahme-Algorithmus:	high mode
Schichtdicke:	2 mm
Tischvorschub:	4 mm / s
Zoom-Faktor:	3,8-4,2
Gantryneigung:	15 °

Die Spiral-CT-Daten wurden auf 1 mm - Schichten in axialer Richtung rekonstruiert. Die durchschnittliche Anzahl der Schichten betrug ca. 60 Schichten (Abb.2).

Bei 31 Patientinnen wurden zusätzlich sagittale Rekonstruktionen aus den Datensätzen angefertigt.

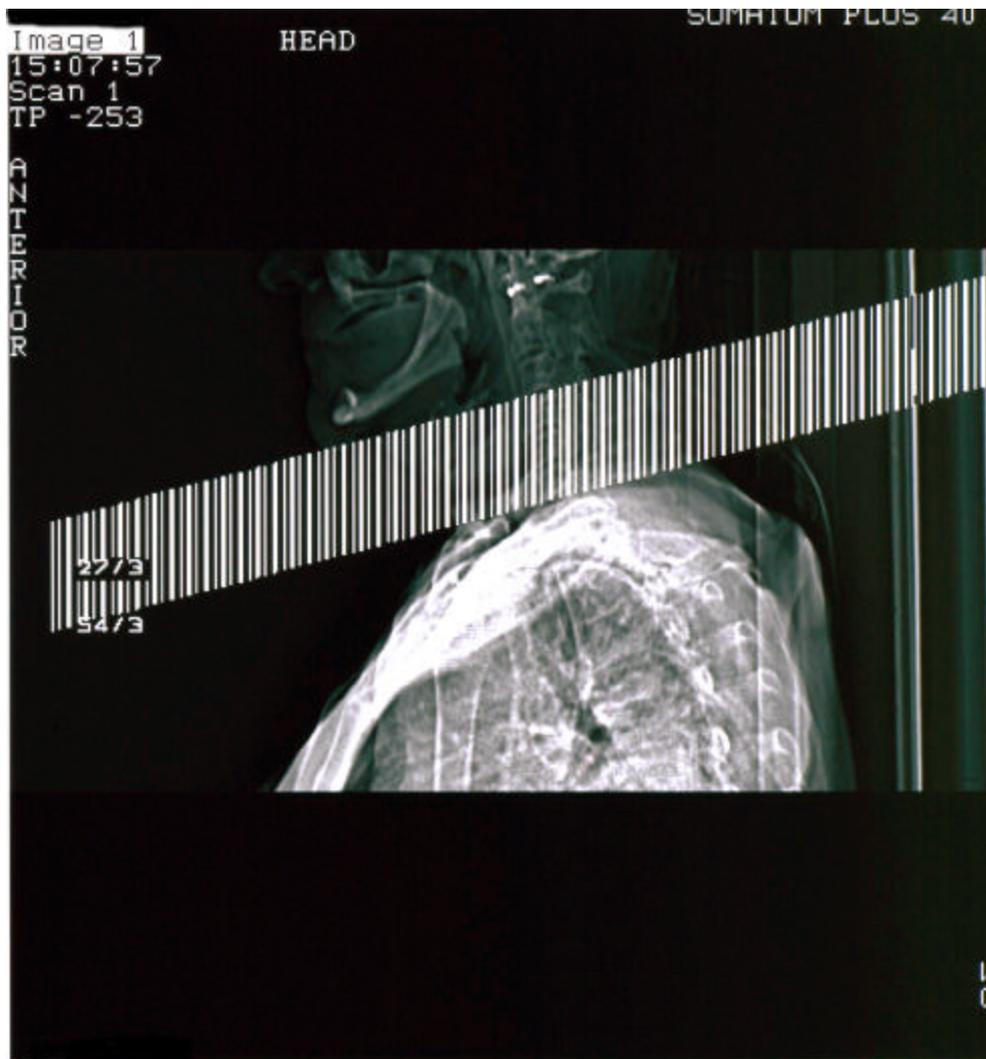


Abb.2: Untersuchungsregion des Larynx im Spiral-CT-Topogramm mit Gantryklippung von 15 Grad. Die Anzahl der rekonstruierten CT-Schichten beträgt bei dieser Patientin 54.

Die Dokumentation der Untersuchungen in 1 mm – Schichten und eines Übersichtsbildes (Abb.2) erfolgte auf je 1 - 2 Hardcopies mit einer Laserkamera (Firma AGFA). Hierzu wurden jeweils nur die Bilder ausgewählt, die die Stimmlippen, den Schild- und Ringknorpel enthielten.

Folgende Fenstereinstellungen wurden gewählt:

Fensterbreite: 1800 HE / 450 HE

Fenstermittellage: 500 HE / 155 HE

Zusätzlich erfolgte eine digitale Speicherung der Untersuchungen.

3.3 Auswertung der CT-Untersuchung

3.3.1 Messung des cricothyroidalen Abstandes im CT

Der cricothyroidale Abstand wurde als Maß für den Operationserfolg angenommen und mittels Messung in den Rekonstruktionen und bei allen Patientinnen durch das Auszählen der Einzelschichten zwischen Schildknorpelunterkante und Ringknorpeloberkante bestimmt (Abb.3 und Abb.4).

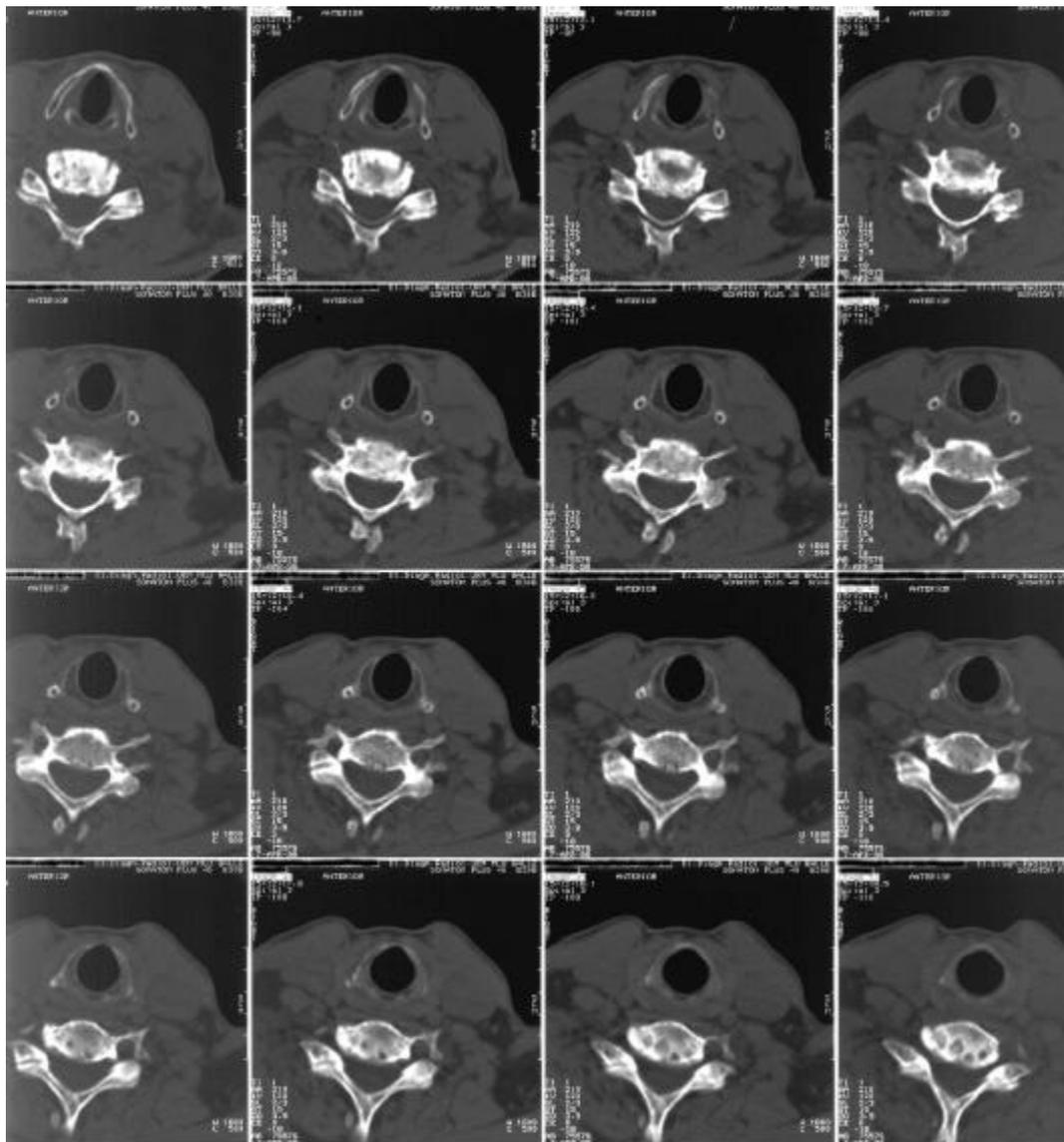


Abb.3: Präoperative Darstellung der Unterkante des Schildknorpels (zweites Bild) und der Oberkante des Ringknorpels (untere Reihe erstes Bild) in 1 mm Schichten zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes (hier 11 Schichten - entsprechen einem cricothyroidalen Abstand von 11 mm).

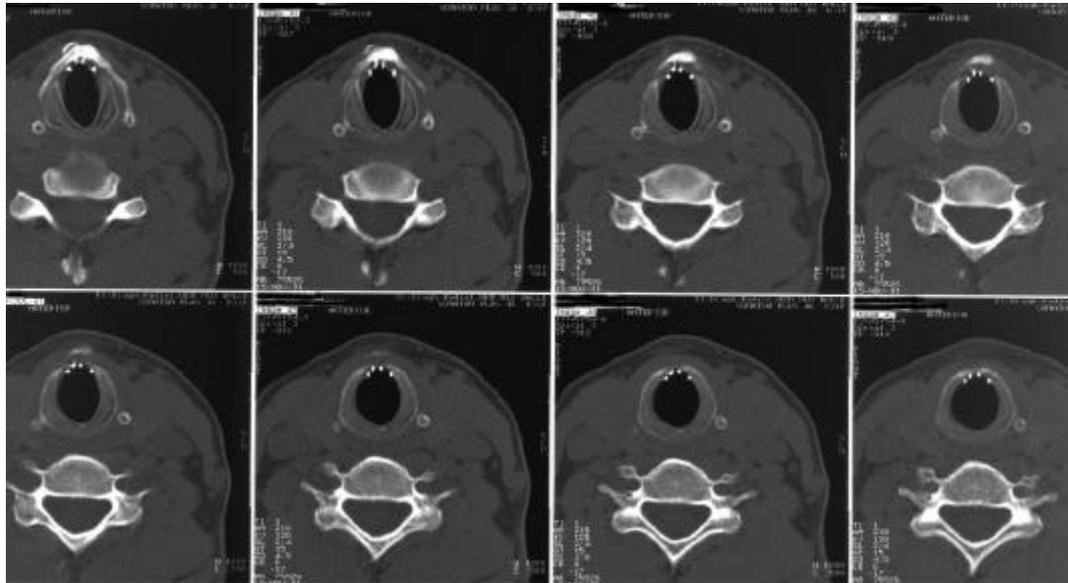


Abb.4: Postoperative Darstellung der Unterkante des Schildknorpels (sechstes Bild) und der Oberkante des Ringknorpels (letztes Bild) in 1 mm Schichten zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes (hier 2 Schichten - entsprechen einem cricothyroidalen Abstand von 2 mm).

Zusätzlich erfolgte die Messung des Abstandes zwischen Unterkante des Schildknorpels und der Oberkante des Ringknorpels bei 31 Patientinnen mittels CT an sagittalen Rekonstruktionen (Abb.5 und Abb.6) am Monitor unter Zuhilfenahme einer Distanzmessungs-Software.



Abb.5: Sagittale Rekonstruktion des Kehlkopfes und Distanzmessung des cricothyroidalen Abstandes präoperativ (gemessener Abstand: 11 mm)



Abb.6: Sagittale Rekonstruktion des Kehlkopfes und Distanzmessung des cricothyroidalen Abstandes postoperativ (gemessener Abstand 2 mm)

3.3.2 Messung der Stimmbandlänge im CT

Die Distanzmessungen der Stimmbandlänge erfolgte ausschließlich retrospektiv am Monitor über eine im Softwarepaket des CT-Gerätes enthaltene spezielle Auswertefunktion.

Ermittelt wurde hierbei der Abstand zwischen Aryknorpel und Ansatz der Stimmbänder am Schildknorpel. Gemessen wurde jeweils das linke Stimmband auf zwei benachbarten Schichten.

3.4 Ultraschall-Untersuchung

Parallel zur CT-Untersuchung wurde in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie der Martin-Luther-Universität der cricothyroidale Abstand prä- und postoperativ sonographisch bestimmt.

Verwendet wurde hierzu ein Gerät der Firma SIEMENS, Erlangen (Germany) und ein linearer Schallkopf mit einer Frequenz von 7,5 MHz. Die Untersuchung wurde im B-Mode durchgeführt und mittels Papierprinter dokumentiert.

Von den 20 prä- und postoperativ im Ultraschall untersuchten Patientinnen standen 19 für eine Vergleichsuntersuchung im CT zur Verfügung.

Nur postoperativ wurden 3 Patientinnen mittels Ultraschall untersucht.

Die gesamten im Ultraschall prä- und postoperativ ermittelten Werte wurden von zwei Untersuchern aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie gemessen und für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt.

3.5 Operationstechnik der Cricothyroidopexie

Die Patientinnen wurden in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie operiert.

Zur Cricothyroidopexie, der Annäherung des Schild- und Ringknorpels, wurden intraoperativ zwei Nähte über eine Osteosyntheseplatte gesetzt und zusammengezogen, um damit den cricothyroidalen Abstand zu verringern. Das Osteosynthesematerial am Schild- und Ringknorpel dient zur Fixation. Hierbei wurde sowohl Titan als auch resorbierbares Material bei 28 bzw. 39 Patientinnen verwendet.

3.6 Stimmerhöhung in Halbtonschritten

Die Stimmgrundfrequenz wurde in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie der Martin-Luther-Universität prä- und postoperativ bei allen operierten Patientinnen bestimmt.

Das Stimmfeld wurde computergestützt mit dem Kay-Elementrics Computerized Speech Lab (CSL, Modell 4300 B) gemessen. Darunter ist eine automatisierte, PC-gestützte Workstation zur digitalisierten Signalaufbereitung zu verstehen. Mit einer zugehörigen Software erfolgte die Analyse von Stimmsignalen.

Die Messung erfolgte bei stehender Patientin mit einem Mikrofonabstand von 30 cm vom Mund. Ausgehend vom Ton „c“ wird der Tonleiter abwärts zunächst der untere und danach der obere Stimmumfang gemessen und das gesamte Stimmfeld aus einem Koordinatensystem in Halbtonschritten genau ermittelt.

Die Tabelle 1 zeigt die Tonhöhen mit den dazugehörigen Frequenzen und den daraus ablesbaren Halbtonschritten.

Tab.1: Tonhöhen und Frequenzen (in Hertz)

A1	B1	H1	C	CIS	D	DIS	E	F	FIS	G	GIS
55	58,3	61,7	65,4	69,3	73,4	77,8	82,4	87,3	92,5	98	103,8
A	B	H	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis
110	116,5	123,5	130,8	138,6	146,8	155,6	164,8	174,6	185	196	207,6
a	b	h	c-1	cis-1	d-1	dis-1	e-1	f-1	fis-1	g-1	gis-1
220	233,1	246,9	261,3	277,2	293,6	311,1	329,6	349,2	370	392	415
a-1	b-1	h-1	c-2	cis-2	d-2	dis-2	e-2	f-2	fis-2	g-2	gis-2
440	466,2	493,9	523,2	554,4	587,3	622,2	659,3	698,5	740	784	830,6
a-2	b-2	h-2	c-3	cis-3	d-3	dis-3	e-3	f-3	fis-3	g-3	gis-3
880	932,3	987,8	1046	1108	1175	1245	1319	1397	1480	1568	1661

3.7 Strahlenexposition

Die Strahlenexposition der Patienten wird am besten durch die Angabe von Organdosen besonders strahlensensibler Organe beschrieben. Die meisten Organdosen sind jedoch nicht direkt messbar.

Die Bestimmung der Organdosen musste deshalb anhand mathematischer Simulation an einem mathematischen Phantom im Computer mittels MCM nachgebildet werden (Abb.7). Entsprechende Berechnungen für CT-Untersuchungen wurden mittels Software von der NRPB (National Radiological Protection Board) nach der nachfolgenden Formel durchgeführt.

$$H_T = \text{CTDI} \times p \times S_V K_T$$

H_T	Organdosis im Organ oder Gewebe T
CTDI	CT-Dosisindex
p	Packungsfaktor
S_V K_T	Summe der Konversionsfaktoren K _T für das betreffende Organ T über alle bestrahlten Phantomschichten im Volumen V

Der CT-Dosisindex ist dabei die frei Luft gemessene Achsendosis, die gerätespezifisch ist. Er beträgt beim CT Somatom Plus S 17,7 mGy / 100 mAs.

Der Packungsfaktor ist abhängig von Scans mit und ohne Lücken oder überlappenden Scans.

Um die Organdosen zu berechnen, werden als Parameter benötigt:

- Schichtanzahl
- Schichtdicke in mm
- Tischvorschub in mm
- mAs – Produkt pro Schicht in mAs
- CT – Dosisindex in mGy / 100 mAs
- Untersuchungsregion (nach Schichtnummern des Phantoms, Abb.7)

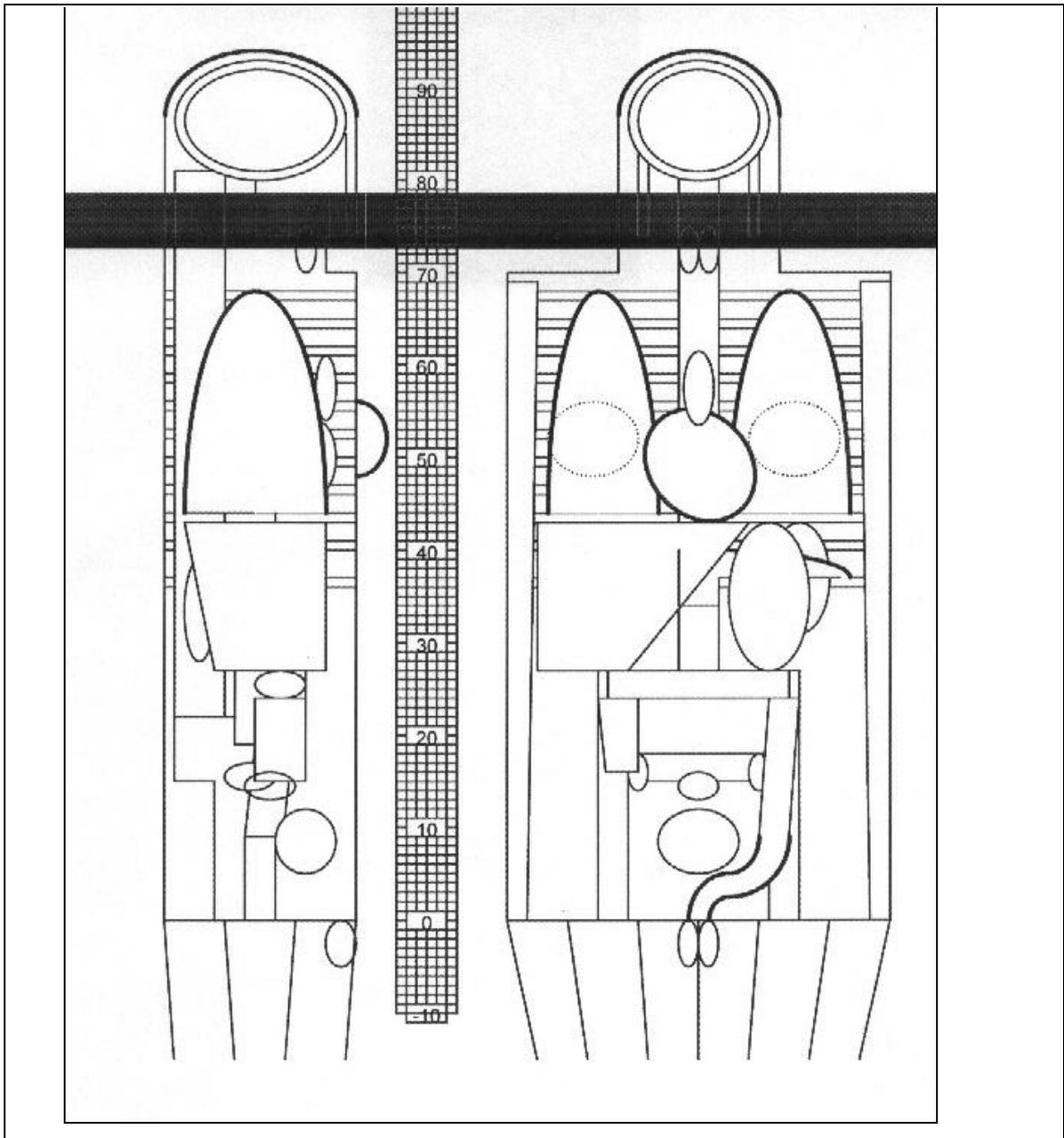


Abb.7: CT-Dosimetrie-Modell vom NRPB SR250 mit eingezeichnetem Bereich des Larynx-Spiral-CT's

Die Berechnung wurde von Herrn Dr. rer. nat. D. Gosch, Physiker an der Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie der Universität Leipzig, durchgeführt.

3.8 Statistische Verfahren

Die Auswertung der erhobenen Daten wurde mit dem statistischen Analyseprogramm SPSS 11.0 durchgeführt.

Berechnet wurden deskriptive Statistiken und Korrelationen zwischen einzelnen Parametern. Um zu prüfen, ob die metrischen Parameter normal verteilt sind, wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest verwendet. Da alle Parameter die Voraussetzung der Normalverteilungsannahme erfüllten, wurden zur Prüfung der statistischen Signifikanz der Mittelwertunterschiede Varianzanalysen und der T-Test für gepaarte Stichproben angewendet. Zusammenhänge zwischen zwei nicht metrischen Variablen wurden mit der Kreuztabellenanalyse und dem Chi-Quadrat-Test durchgeführt.

Bei dem Vergleich mehrerer Items zu einer Fragestellung wurden die p-Werte nach Bonferroni multipel korrigiert.

Als statistisch signifikante Aussagen wurden Ergebnisse oder Vergleiche beurteilt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $<5\%$.

Die statistische Berechnung wurde mit Unterstützung von Frau I. Haufe (Universitätsrechenzentrum der Martin-Luther-Universität Halle) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Untersuchungstechnische Aspekte

Von den 45 im CT untersuchten Patientinnen wurden 30 Patientinnen prä- und postoperativ untersucht. 12 Patientinnen wurden nur präoperativ untersucht, bei 3 davon war die Messung des cricothyroidalen Abstandes auf Grund einer mangelnden Schild- und Ringknorpelverkalkung nicht mit ausreichender Genauigkeit auswertbar.

3 Patientinnen wurden nur postoperativ untersucht. Da die Patientinnen aus ganz Deutschland zur Operation kamen, war hier aus organisatorischen Gründen keine präoperative Untersuchung möglich.

Bei aufgetretenen Bewegungsartefakten (Schluckbewegung) wurde die Untersuchung unmittelbar wiederholt (4 Patientinnen).

Die Stimmlippenlänge wurde retrospektiv prä- und postoperativ bei 14 Patientinnen bestimmt. Bei den übrigen Patientinnen waren die Stimmlippen bei mindestens einer Untersuchung nicht mit erfasst worden.

2 Patientinnen, die eine subjektiv regrediente Stimmerhöhung nach einem Trauma im Kehlkopfbereich angaben, wurden mittels Spiral-CT Untersuchung kontrolliert. Die Kontrolluntersuchung ergab bei einer der Patientinnen eine Nahtinsuffizienz mit wieder progredientem Abstand zwischen Schild- und Ringknorpel.

Bei beiden Patientinnen korrelierten die CT-Befunde mit den phoniatischen Befunden der Stimmlage.

4.2 Cricothyroidaler Abstand

4.2.1 Cricothyroidaler Abstand im CT gemessen

Bei 42 untersuchten Patientinnen (Tab.2) betrug präoperativ der mittels Spiral-CT gemessene durchschnittliche cricothyroidale Abstand bei unserer Untersuchung 10,1 mm (range 4 bis 16 mm; Median: 9 mm).

Die bei 30 Patientinnen (Tab.2) ermittelbare durchschnittliche Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes, die durch eine Operation erzielt wurde, lag bei 6,5 mm (range 2 bis 12 mm; Median: 7 mm)

Tab.2: Cricothyroidaler Abstand gemessen im Spiral-CT (in mm)

	Spiral-CT präoperativ	Spiral-CT postoperativ	Differenz (prä- / postoperativ)
N	42	33	30
Mittelwert	10,1	3,8	6,5
Stand.-Abweichung	2,94	2,67	2,79
Minimum	4	0	2
Maximum	16	8	12

Tab.3: T-Test – cricothyroidaler Abstand prä- und postoperativ im Spiral-CT

	Mittelwert	Stand.-Abweichung	Irrtumswahr- scheinlichkeit
Spiral-CT präop. – Spiral-CT postop.	6,5	2,79	P < 0,001

Postoperativ war der Abstand signifikant kleiner für $p < 0,01$ (Tab.3). Der durchschnittliche cricothyroidale Abstand betrug nach der Operation 3,8 mm (n=33, range 0 bis 8 mm; Median: 4 mm).

4.2.2 Cricothyroidaler Abstand im Ultraschall gemessen

Der bei 37 Patientinnen (Tab.4) durchschnittliche präoperative cricothyroidale Abstand betrug im Ultraschall 10,1 mm (range 5 bis 15 mm; Median: 10 mm).

Postoperativ war der durchschnittliche Abstand bei 23 untersuchten Patientinnen signifikant kleiner für $p < 0,01$ (Tab.5). Der durchschnittliche cricothyroidale Abstand lag nach der Operation bei 3,2 mm (range 0 bis 10 mm; Median: 2,5 mm).

Im Mittel wurde eine Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes (Tab.4) bei den prä- und postoperativ untersuchten Patientinnen um 7,8 mm erreicht (n=20, range 3 bis 14 mm; Median: 7,8 mm).

Tab.4: Cricothyroidaler Abstand im Ultraschall gemessen (in mm)

	Sonographie präoperativ	Sonographie postoperativ	Differenz (prä- / postoperativ)
N	37	23	20
Mittelwert	10,07	3,2	7,8
Stand.-Abweichung	2,76	2,79	3,37
Minimum	5,0	0,0	3,0
Maximum	15,0	10,0	14,0

Tab.5: T-Test – cricothyroidaler Abstand prä- und postoperativ im Ultraschall

	Mittelwert	Stand.-Abweichung	Irrtumswahr-Scheinlichkeit
Ultraschall präop. – Ultraschall postop.	7,75	3,37	$p < 0,001$

4.3 Stimmlippenlänge

Die Länge der Stimmlippen konnte nur im CT, nicht sonographisch bestimmt werden. Gemessen wurden jeweils zwei benachbarte axiale CT-Schichten. Die Werte waren bei beiden Messungen konstant (Tab.6).

Die durchschnittliche präoperative Stimmbandlänge betrug bei 28 Patientinnen: 23,2 mm (range 15 bis 28 mm; Median: 23 mm).

Postoperativ war die gemessene Länge des Stimmbandes signifikant größer für $p < 0,01$ (Tab.7).

Die durchschnittliche Stimmlippenlänge betrug bei 16 Patientinnen nach der Operation 27,2 mm (range 23 bis 30 mm; Median: 27,5 mm).

Tab.6: Stimmlippenlänge gemessen im Spiral-CT (in mm)

	Stimmlippenlänge präoperativ	Stimmlippenlänge postoperativ	Differenz (prä- und postoperativ)
N	28	16	14
Mittelwert	23,2	27,2	4,6
Median	23,0	27,5	4,5
Stand.-Abweichung	2,74	2,14	1,22
Minimum	15	23	2
Maximum	28	30	7

Tab.7: T-Test – Vergleich der Stimmlippenlänge prä- und postoperativ

	Mittelwert	Stand.-Abweichung	Irrtumswahrscheinlichkeit
Stimmbandlänge präop. - Stimmbandlänge postop.	-4,6	1,22	$P < 0,001$

4.4 Vergleich bzw. Korrelation der Messwerte untereinander

4.4.1 Präoperative Messwerte

Für die im Ultraschall und im CT gemessenen Werte des cricothyroidalen Abstandes ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$).

Die Mittelwerte betragen jeweils 10,07 mm im Ultraschall und 10,1 mm im CT und sind damit annähernd gleich.

Die im CT gemessene Stimmlippenlänge wurde mit den in beiden Untersuchungen gemessenen präoperativen cricothyroidalen Abständen korreliert, um festzustellen, ob sich beide proportional zueinander verhalten. Eine Abhängigkeit bzw. eine Proportionalität ließ sich jedoch nicht nachweisen.

4.4.2 Postoperative Messwerte

Auch für die postoperativ gemessenen Werte des cricothyroidalen Abstandes konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die Mittelwerte betragen 2,7 mm im Ultraschall und 4,1 mm im CT.

Eine Korrelation zwischen den im CT gemessenen Stimmlippenlängen und den gemessenen postoperativen cricothyroidalen Abständen (Ultraschall, CT) konnte nicht nachgewiesen werden.

4.4.3 Differenz der prä- und postoperativen Messwerte

Die berechneten Differenzen aus den gemessenen Werten im Ultraschall und im CT sind für den cricothyroidalen Abstand signifikant unterschiedlich für $p < 0,05$ (Tab.8).

Tab.8: Cricothyroidaler Abstand im CT und im Ultraschall gemessen (in mm)

Paare	Cricothyroidaler Abstand	Mittelwert	N	Standard-abweichung	Signifikanz
Präoperativ	Sonographie	9,9	29	2,66	p = 0,413
	Spiral-CT	9,8	29	3,13	
Postoperativ	Sonographie	2,7	20	2,03	p = 0,068
	Spiral-CT	4,1	20	2,49	
Differenz	Sonographie	7,6	19	3,40	p = 0,026
	Spiral-CT	6,0	19	2,34	

Auch die berechnete Stimmlippenlängendifferenz (prä- und postoperativ) korrelierte nicht mit der Differenz des cricothyroidalen Abstandes im CT und im Ultraschall (für $p < 0,05$).

4.4.4 Vergleich der Halbtonerhöhung mit der Stimmlippenverlängerung

Hinsichtlich der postoperativen Halbtonerhöhung (in Hertz) und dem Ausmaß der Stimmlippenverlängerung fand sich eine signifikante Korrelation für $p < 0,01$.

(Tab.9 und Abb.8).

Tab.9: Korrelation der Stimmlippendifferenz prä- und postoperativ mit der postoperativen Stimmerhöhung

	Erhöhung in Halbtonschritten	Stimmlippenlängen- Differenz
Korrelation nach Pearson	1	0,76**
Irrtumswahrscheinlichkeit		$p < 0,001$
N	67	14

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

Die Berechnungen, sowie das Streudiagramm zeigen (siehe Abb.8), dass mit zunehmender Stimmlippenspannung (Differenz aus der präoperativen und postoperativen Stimmlippenlänge) eine Zunahme der postoperativen Erhöhung in Halbtonschritten registriert werden kann. Aufgrund der geringen Anzahl der vergleichbaren Messungen (14 Patientinnen) sollte man hier allerdings nur von einer Tendenz sprechen. Diese entspricht einer Erhöhung von ca. 4 Halbtonen / mm Stimmbandverlängerung.

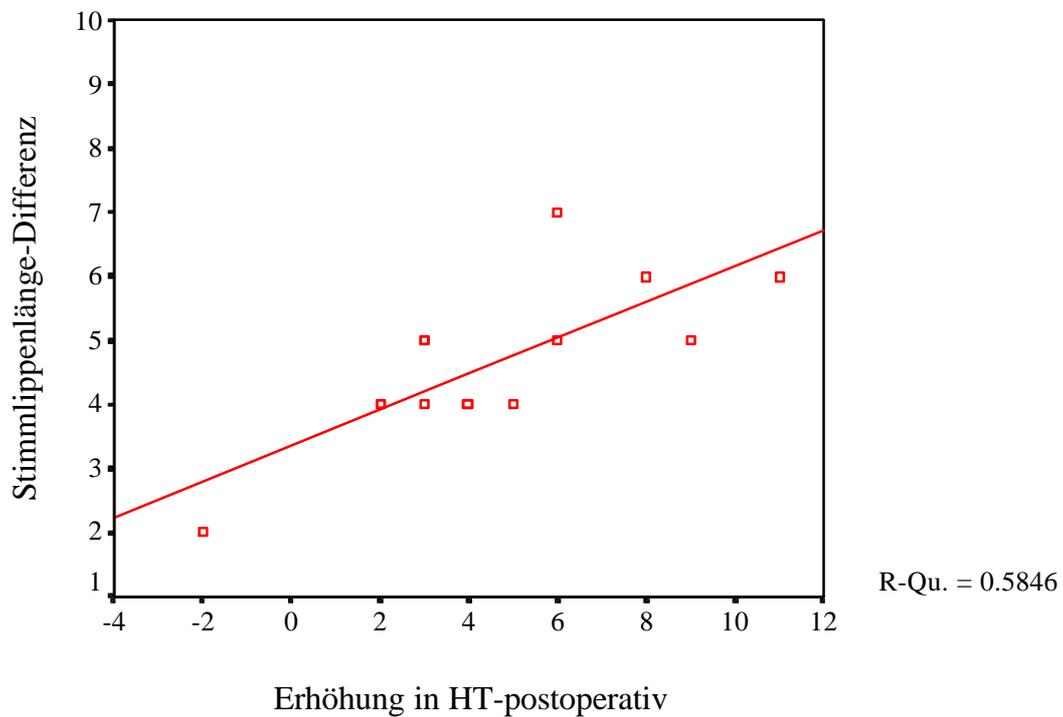


Abb.8: Darstellung der Korrelation zwischen der Stimmlippendifferenz und Halbtonerhöhung

4.4.5 Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes und Stimmerhöhung

Versucht man die Stimmfrequenzerhöhung (in Hertz) mit der Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes (im Spiral-CT gemessen in mm) zu korrelieren, ergibt sich eine große Spannweite. Eine Korrelation findet sich nicht.

Die durchschnittliche Stimmerhöhung beträgt bei den 30 im Spiral-CT prä- und postoperativ untersuchten Patientinnen 6,7 Hz / mm (range 0,6 bis 37,5, Median 5,8).

4.5 Strahlenexposition der Patientinnen im Spiral-CT

Die nach der Monte-Carlo-Methode (JONES & SHRIMPION 1991) am NRPB-Phantom, d.h. mit Hilfe von Konversionsfaktoren bestimmte Strahlenexposition für die Patientinnen, die präoperativ und postoperativ mittels Spiral-CT untersucht wurden, beträgt insgesamt 0,422 mSv als effektive Dosis H_E für eine Untersuchung.

Die einzelnen Organdosen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Berechnet wurden die Werte für eine durchschnittliche Scanlänge von 60 mm.

Tab.10: Darstellung der Strahlenexposition für einzelne Organe und Gewebe, der Wichtungsfaktoren, der Äquivalentdosen und der Summe des jeweiligen Produktes als Effektivdosis

Organ	W_T	H_T	$W_T \times H_T$
Gonaden	0,2	0,000	0,000
Knochenmark-(rot)	0,12	0,344	0,041
Kolon	0,12	0,000	0,000
Lunge	0,12	0,100	0,012
Magen	0,12	0,004	0,001
Harnblase	0,05	0,000	0,000
Brust	0,05	0,018	0,001
Leber	0,05	0,006	0,000
Ösophagus / Thymus	0,05	0,097	0,005
Schilddrüse	0,05	6,572	0,329
Haut	0,01	0,434	0,004
Knochenoberfläche	0,01	1,148	0,011
übrige Organe	0,05	0,353	0,018
Totale Effektivdosis H_E (in mSv)			0,422

5 Diskussion

5.1 Einführung

Zur Veränderung der Stimmhöhe werden verschiedene Operationsmethoden in der Phonochirurgie angewandt (GROSS 1999; ISSHIKI 1983, 1989; MAHIEU et al. 1989, 1996). Hierzu gehören z.B. die cricothyroidale Approximation nach ISSHIKI und die Glottoplastik nach WENDLER (1996) bzw. GROSS (1999), die direkt an den Stimmlippen angreift und mit narbigen Veränderungen an den Stimmlippen einhergehen.

Neben den genannten Methoden kommen Operationstechniken zur Reduktion des Kehlkopfes bei Mann-zu-Frau Transsexuellen wie z.B. eine Chondrolaryngoplastik des Kehlkopfes aus kosmetischen Gründen hinzu (DONALD 1982, GIRALDO et al. 1997, JORDAN et al. 1998, SCHULLER et al. 1994, WOLFORT 1990). Insbesondere dem M. cricothyroideus, der die Distanz zwischen Schild- und Ringknorpel verkürzt, kommt bei der Stimmbildung eine besondere Bedeutung zu (HONG et al. 1998, KITAJIMA et al. 1979).

Subjektive und psychologische Empfindungen der Patientinnen innerhalb auditiver Diagnostik und den gegenüberstehenden objektiven Messungen des Stimmfeldes und Klanganalysen lassen eine zusätzliche, einfache Dokumentation von Operationsergebnissen notwendig werden (IMBER 1976, MARTIN et al. 1984). Die Möglichkeit zur Dokumentation von Operationsergebnissen, insbesondere die bildliche Darstellung des prä- und postoperativen Zustandes, ist ein wichtiger Teil der radiologischen Diagnostik zur objektiven und patientenspezifischen Betreuung und kann auch hier angewandt werden.

Untersuchungen mit dem Spiral-CT können den prä- und postoperativen Status nach Cricothyroidopexie und vor allem die gewünschte Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes - eine Imitation der Funktion des M. cricothyroideus (KITAJIMA et al. 1979) - bzw. den Erfolg der Operation zeigen. Auch Nahtinsuffizienzen lassen sich nachweisen.

Die bildgebende Diagnostik stellt somit eine objektive Ergänzung zur auditiven Stimmuntersuchung dar.

Da es sich bei den Patientinnen oft um Zusatzuntersuchungen handelt, die auch eine Strahlenexposition bedeuten, sollte insbesondere die Indikation zur CT-Untersuchung gut überlegt sein.

Literaturangaben zum Einsatz von CT und MRT am Larynx finden sich fast ausschließlich

im Rahmen der Tumordiagnostik (z.B. BECKER et al. 1997, CASTELIJNS et al. 1998, KORKMAZ et al. 1998, PATEL et al. 1992, SCHOLTZ et al. 1994)

Nach Kenntnis des Autors liegen erste Veröffentlichungen zu der Thematik dieser Arbeit lediglich aus der Martin-Luther-Universität vor (z.B. NEUMANN et al. 1998, 2002, PICKUTH et al. 2000a,b, WELZEL et al. 2002).

Eine zunehmende Verbreitung der von BERGHAUS & NEUMANN entwickelten Operationsmethode lassen zukünftig auch mehr Erfahrungen aus anderen Kliniken erwarten, wie der erst kürzlich erschienene Artikel von YANG et al. (2002) zeigt, der auch unsere Erfahrungen bzw. Arbeiten mit einfließen lässt.

5.2 Bildgebende Diagnostik

5.2.1 Leistungsfähigkeit und Bildqualität im Spiral-CT

Die Bildgebende Diagnostik des Kehlkopfes wird nicht allein durch eine Methode dominiert. Sowohl Ultraschall, CT und MRT kommen zur Anwendung und wurden mehrfach miteinander verglichen (BECKER et al. 1997, BRÜNING 2001, CASTELIJNS et al. 1998, KORKMAZ et al. 1998, STONE 1991).

In allen Arbeiten wird vor allem auf die kurze Untersuchungszeit und die Reduzierung der Bewegungsartefakte im Spiral-CT verwiesen. Da die Hauptindikation im Rahmen der Tumorausbreitung liegt, haben bei den genannten Autoren die MRT und die Sonographie ebenso ihren Stellenwert, besonders in der Weichteildiagnostik und Tumorabgrenzung.

Eine Anwendung dieser Konzepte auf die Vorgehensweise zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes und der Stimmbandlänge ist nicht möglich, da es sich hier nicht um Tumorpatienten handelt. Die Diagnostik mit Röntgenstrahlen sollte deshalb verantwortungsbewusst und nur mit dem notwendigen Maß erfolgen.

Wir versuchten die Parameter in unserer Untersuchung möglichst optimal zu wählen, um Schluckartefakte zu minimieren. Eine Schichtdicke von 2 mm, ein Tischvorschub von 4 mm und ein Rekonstruktionsintervall von 1 mm wurden gewählt, um eine gute Voraussetzung für sagittale Rekonstruktionen aus dem Datensatz zu erhalten. Der relativ hohe Strom von 210 mAs wurde gewählt, um auch einen guten Kontrast bei fehlender Kehlkopfverkalkung zu

garantieren.

Auf Grund der Strahlenexposition wurde die Scanstrecke so knapp wie möglich gehalten. Da der Kehlkopf beweglich ist, kann sich die Stellung zum CT-Übersichtsbild leicht verändern. Hierin liegt auch die Ursache, dass retrospektiv nicht mehr bei allen Patientinnen die Stimmbandlänge bestimmt werden konnte.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Spiral-CT Untersuchung eine suffiziente Methode zur Darstellung des Kehlkopfes ist, einschließlich zur Bestimmung der Stimmbandlänge und des cricothyroidalen Abstandes. Damit wird die Untersuchung den Anforderungen des HNO-Arztes prä- und postoperativ gerecht.

Ein ähnliches Ergebnis zur Darstellung findet auch KORKMAZ et al. 1998 bei der Untersuchung verschiedener Kehlkopfläsionen. Er betont, dass die Spiral-CT-Untersuchung die beste Bildqualität für alle anatomischen Details auf Grund der kurzen Untersuchungszeit und der fehlenden Bewegungsartefakte bringt.

Grenzen zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes bzw. in der Beurteilbarkeit des Larynx können unseren Erfahrungen nach, trotz Variieren der Fensterweite und –lage, in der Verkalkung des Larynx und damit in mangelnder Darstellung des Knorpels im CT bzw. in der Detailerkennung auf Grund der begrenzten Auflösung des Spiral-CT's liegen. Bei 3 Patientinnen wurde deshalb auf eine postoperative CT-Untersuchung verzichtet, da sich der Larynx schon präoperativ nicht mit ausreichender Genauigkeit abgrenzen ließ.

Damit wurden unsere ersten Erfahrungen nach Operation von 10 Patientinnen durch eine höhere Patientenzahl bestätigt (NEUMANN et al. 1998).

Insbesondere in den sagittalen Rekonstruktionen war die Auflösung des CT's und eine mangelnde Verkalkung des Kehlkopfes ein deutlich limitierender Faktor, obwohl sich sagittale Rekonstruktionen grundsätzlich gut zur Darstellung horizontal verlaufender Strukturen am Kehlkopf eignen (GALANSKI & PROKOP 1998) und auch die Messung des cricothyroidalen Abstandes möglich war. Schwierigkeiten bei der exakten Bestimmung der Stimmbandlänge und des cricothyroidalen Abstandes traten durch Schluckartefakte auf, die sich nicht immer vermeiden ließen, weshalb die Untersuchung in 4 Fällen wiederholt werden musste.

Wie schon erwähnt, gab es auch Schwierigkeiten zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes durch die mangelnde Verkalkung des Kehlkopfskeletts bei 3 Patientinnen. Im Gegensatz zur sonstigen Ermittlung des cricothyroidalen Abstandes aus den Einzelschichten,

gelang es hier auch nicht in den sekundären sagittalen Rekonstruktionen den cricothyroidalen Abstand sicher zu bestimmen.

In allen anderen Fällen konnte der cricothyroidale Abstand durch Auszählen der axialen Millimeterschichten exakter bestimmt werden als durch eine Ausmessung des Abstandes in den sagittalen Sekundärrekonstruktionen.

Ein Vergleich beider Werte aus den Einzelschichten und den sagittalen Rekonstruktionen, sofern eine ausreichende Verkalkung des Kehlkopfes vorhanden war, zeigte eine exakte Übereinstimmung der Distanz in beiden Methoden, so dass jeweils eine der beiden Methoden als hinreichend genau angesehen werden kann.

Auf Grund der genannten Einschränkungen, des größeren zeitlichen Aufwandes und der höheren Kosten durch zusätzliche Hardcopies bei den Sagittalrekonstruktionen wurde das Auszählen der Einzelschichten mit zunehmender Untersuchungszahl die von uns bevorzugte Methode.

Auch die Bestimmung der Stimmlippenlänge war in den transversalen CT-Schnitten sehr gut möglich. Die Gantrykipung und die meist anatomisch nicht exakt parallele Lage der Stimmbänder zur rekonstruierten Schicht blieb unberücksichtigt, da prä- und postoperativ gleiche Bedingungen zur Messung vorlagen und die Abweichung zur tatsächlichen Stimmbandlänge bzw. der dadurch entstehende Messfehler nur gering sind. Der Versuch, die Stimmbandlänge über sagittale Rekonstruktionen zu messen und damit den Messfehler geringer zu halten, scheiterte an der oft relativ schlechten Abgrenzbarkeit des kleinen Processus vocalis und des Ansatzes der Stimmbänder am Schildknorpel.

Auf Grund der Tatsache, dass die Stimmbandlänge zum großen Teil retrospektiv bestimmt wurde und auf einem Teil der Untersuchungen nicht mit abgebildet waren, konnten diese Daten nicht mehr vollständig erhoben werden. Es konnte die Stimmlippenlänge nur bei 14 Patientinnen prä- und postoperativ, bei 14 Patientinnen nur präoperativ und bei 2 Patientinnen nur postoperativ bestimmt werden.

Die geringen Daten sind also ein Mangel der retrospektiven Bestimmung der Stimmbandlänge und kein Mangel der Spiral-CT-Untersuchung. Sie ist eine suffiziente Methode zur Darstellung des Kehlkopfes prä- und postoperativ.

Neben der unmittelbaren Kontrolle des Operationsergebnisses nach Cricothyroidopexie lassen sich darüber hinaus auch spätere Verlaufskontrollen im CT durchführen.

Eine subjektiv regrediente Stimmerhöhung gab eine Patientin nach einem Trauma im Kehlkopfbereich an, die Kontrolluntersuchung ergab jedoch keine Änderung des cricothyroidalen Abstandes bzw. der Stimmlage.

Eine weitere Patientin gab etwa 6 Monate nach dem operativen Eingriff ein subjektives Empfinden einer tieferen Stimme an. In der CT-Kontrolle fand sich eine Insuffizienz der Nähte mit wieder progredientem Abstand zwischen Schild- und Ringknorpel.

Bei beiden Patientinnen korrelierten die CT-Befunde mit den phoniatischen Befunden der Stimmlage.

Damit konnte belegt werden, dass es sich bei der ersten Patientin um ein wirkliches subjektives Empfinden einer tieferen Stimme handelte und bei der zweiten Patientin eine tiefere Stimme bei Nahtinsuffizienz nach Traumafolge vorlag.

Die Vermutung, dass der cricothyroidale Abstand mit der Stimmlippenlänge oder der Stimmerhöhung korrelierten könnte, war durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht zu belegen.

Auch die anfänglich geäußerte Annahme einer guten Korrelation der Differenz des cricothyroidalen Abstandes mit der Stimmerhöhung (PICKUTH et al. 2000) kann bei der jetzt vorliegenden Patientenzahl nicht mehr aufrecht erhalten werden. Die Streubreite war mit zunehmender Patientenzahl enorm groß (0,6 bis 37,5 Hz / mm Verkürzung) bei einem Durchschnitt von 6,7 Hz Stimmanhebung pro Millimeter Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes, so dass sich keine Korrelation mehr ergab.

Ähnlich könnte es sich auch mit dem Vergleich der Differenz der Stimmbandlänge und der Erhöhung der Stimmlage in Halbtönen verhalten. Da die Werte zum Teil retrospektiv erhoben wurden, lag nur ein kleines Patientinnenkollektiv zum Vergleich vor (n=14). Die Korrelation im Streudiagramm (Abb.8) sollte deshalb nur als Tendenz betrachtet werden.

Erst zukünftige Untersuchungen an einer größeren Patientenzahl werden zeigen, ob sich diese Tendenz aufrechterhalten lässt. In der Literatur finden sich keine Angaben zu einer solchen Fragestellung.

5.2.2 Leistungsfähigkeit und Bildqualität im Ultraschall

Die präoperative Ultraschalluntersuchung ist dem präoperativen Spiral-CT gleichwertig in der Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes. Die gemessene Differenz zur CT-Untersuchung ist relativ gering. Die Abweichung der Mittelwerte bei dem Vergleich beider Untersuchungen betrug nur 0,1mm. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Untersuchungen ließ sich nicht feststellen.

Postoperativ fanden sich jedoch größere Abweichungen dieses Messparameters zwischen beiden Untersuchungen. Die Differenz betrug knapp 1,5 mm und war signifikant unterschiedlich bei Mittelwerten von 2,7 mm (Sonographie) und 4,1 mm (CT). Die Abweichung ist vor allem auf die postoperativ im Ultraschall am OP-Material (Nahtmaterial, Miniplatten) entstehenden Artefakte zurückzuführen. Diese Schwierigkeiten fanden sich am CT nicht, sodass hier von einem exakteren Ergebnis ausgegangen werden kann.

Der Nachteil der Sonographie gegenüber der CT-Untersuchung liegt in der nicht messbaren Stimmlippenlänge. Verstärkt wird dieser Aspekt zusätzlich durch die bereits erwähnte Tatsache, dass eine Korrelation der Stimmlippenlänge nicht anhand des cricothyroidalen Abstandes korreliert werden kann.

Dies entspricht auch den Erkenntnissen von STONE (1991), der in seiner Untersuchung insbesondere die CT zur Kehlkopf-Untersuchung hervorhebt und Nachteile im Ultraschall auf Grund der fehlenden Beurteilbarkeit von Hartgewebe und Artefakte im Respirationstrakt / bzw. am Kehlkopf durch Luft nennt. Den Vorteil der Sonographie beschreibt er in der Dynamik der Untersuchung, die jedoch bei unserer Fragestellung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

5.2.3 Anforderungen an die bildgebende Diagnostik von Seiten der HNO-Ärzte

Der Wunsch der Patientinnen nach Aufklärung über den Eingriff und die Vorhersage des Operationserfolges bzw. einer möglichen Stimmerhöhung ist verständlich, da die psychische Belastung der Patientinnen sehr hoch ist (CLEMENT 1996).

Der Arzt ist hier sowohl in der Pflicht der Aufklärung der Patientin als auch in der Qualitätskontrolle der operativen Therapie.

Da der Schildknorpel intraoperativ an den Ringknorpel herangezogen wird und der cricothyroidale Abstand individuell deutlich verschieden ist, ist der cricothyroidale Abstand präoperativ für den Operateur von Bedeutung (NEUMANN et al. 1998, PICKUTH et al. 2000).

Der Wunsch des Operateurs und der Patientinnen zur Vorhersage einer möglichen Stimmerhöhung ist anhand unserer Ergebnisse nicht realisierbar. Die Differenz des cricothyroidalen Abstandes ist hierzu nicht geeignet.

Dennoch kann man mittels Stimmbandlänge bzw. der Differenz der Stimmbandlänge prä- und postoperativ nach der vorliegenden Untersuchung den OP-Erfolg bzw. die Stimmerhöhung in Halbtonschritten abschätzen. Eine alleinige präoperative Bestimmung der Stimmlippenlänge lässt jedoch keine Prognose für den Grad eines möglichen OP-Erfolges bzw. den Grad der Stimmerhöhung zu. Das könnte vielleicht zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben, die eine noch größere Patientenzahl beinhaltet.

Die exakte Bestimmung der Stimmbandlänge bleibt demzufolge im Moment das Hauptanliegen der HNO-Ärzte an den Radiologen bzw. die bildgebende Diagnostik.

Weiterhin besteht in seltenen Fällen der Wunsch nach einem bildgebenden Verfahren bei Verdacht auf eine Nahtinsuffizienz. Die Abklärung einer solchen Problematik kann zuverlässig mittels konventionellen Röntgenaufnahmen erfolgen.

5.3 Strahlenexposition der Patientinnen

Die Strahlenexposition für die Patientinnen ist nach den vorliegenden Ergebnissen bei prä- und postoperativer CT-Untersuchung mit einer totalen Effektivdosis pro Untersuchung von 0,42 mSv und einer gewichteten Organdosis für die Schilddrüse mit 0,33 mSv als Organdosis sehr gering.

Hierzu muss betont werden, dass trotz der hohen Genauigkeit der MCM es sich hierbei nur um Näherungswerte handeln kann, da die Untersuchungen zwischen den einzelnen Patientinnen nie exakt vergleichbar sind und die Scanlänge um 60 mm variierte. Hierbei wird die Organdosis für die Schilddrüse mit einer gewissen Streubreite nach oben und unten variieren.

Das sich nach obiger Berechnung ergebende zusätzliche strahlenbedingte Krebsmortalitätsrisiko beträgt 0,002 %. Bei einer Krebsmortalitätsrate von ca. 25 % in Deutschland würde sich das Risiko auf 25,002 % erhöhen.

Trotz der geringen Effektivdosis in der CT-Untersuchung und dem sich daraus ergebenden minimal erhöhten Krebsmortalitätsrisiko bleibt bei fehlender Befundkorrelation der Nutzen der Untersuchung bzw. die zusätzliche Strahlenbelastung nach den Ergebnissen der hier vorliegenden Arbeit fraglich. Da auch entsprechende Alternativuntersuchungen möglich sind und die künstliche Strahlenbelastung der Bevölkerung in den letzten Jahren durch medizinische Diagnostik bereits auf 1,7 mSv / Jahr angestiegen ist, sollte eine CT-Untersuchung unter der Fragestellung zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes nicht mehr durchgeführt werden. Alternativ können die Patientinnen im MRT und im Ultraschall untersucht werden. Die alternativen Untersuchungstechniken sollen nachfolgend erörtert werden.

5.4 Alternative Untersuchungsmethoden

Trotz der relativ geringen Strahlenbelastung für die Patientinnen handelt es sich bei der Untersuchung nicht um eine diagnostische Untersuchung. Deshalb scheint die Frage nach alternativen Untersuchungsmethoden unausweichlich.

Erstrangig kommt hier die MRT in Betracht und zweitrangig auch die Sonographie, da beide Untersuchungen keine Strahlenexposition für die Patientinnen darstellen. Untersuchungen des Kehlkopfes im MRT sind dabei heute schon in der Routineanwendung zur Diagnostik von Tumoren (Larynxkarzinomen) und ist genau wie die CT fest etabliert (BRÜNING 2001). Zusätzlich wird die MRT zur Ergänzung der endoskopischen Diagnostik eingesetzt.

Nach BRÜNING wird durch die entstehenden Schluck- und Bewegungsartefakte jedoch oft dem CT und insbesondere dem Spiral-CT der Vorzug gegeben.

STONE (1991) gibt dem CT grundsätzlich den Vorzug auf Grund der durch die Bewegungsartefakte entstehenden Ungenauigkeiten. Auch KORKMAZ et al. (1998) bemängelte die erschwerte Diagnostik durch die genannten Artefakte.

Schnellere Sequenzen, also kürzere Untersuchungszeiten und künftige Neuentwicklungen im MRT lassen wahrscheinlich die Artefakte zukünftig reduzieren.

Zwei Patientinnen wurden von uns außerhalb der Studie im MRT erfolgversprechend untersucht. Bereits mit zwei Sequenzen (T1 SE mit transversaler und sagittaler Schnittführung in 3 bzw. 2 mm Schichten) ließ sich präoperativ sowohl die Stimmbandlänge als auch der cricothyroidale Abstand gut bestimmen.

Da präoperativ mittels Sonographie nur der cricothyroidale Abstand bestimmt werden kann, liegt ein deutlicher Vorteil bei der MRT-Untersuchung. Schon unter dieser Voraussetzung und der Tatsache, dass die vorliegende Untersuchung keine Korrelation der Stimmerhöhung mit der Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes belegen konnte, jedoch aber mit der Verlängerung der Stimmbandlänge nach der Operation, scheint das MRT die einzige alternative Untersuchung zur präoperativen CT-Untersuchung.

Postoperativ lässt sich der cricothyroidale Abstand im Ultraschall schlecht und in der MRT nur eingeschränkt messen auf Grund der Metallartefakte durch die Titanplatte und die Suturen. Dieser Fakt kann jedoch unter oben genannten Voraussetzungen unberücksichtigt bleiben, da die Stimmbandlänge im MRT auch postoperativ gut darstellbar war.

Die Genauigkeit von Einzelmessungen zur Bestimmung der Stimmbandlänge wird auf 1-2 mm geschätzt und ist in etwa dem CT ähnlich.

5.5 Vorschlag für ein zukünftiges diagnostisches Konzept

In Abhängigkeit der vorliegenden Untersuchung ließ sich nachfolgendes diagnostisches Konzept erarbeiten:

präoperativ

- die Darstellung des cricothyroidalen Abstandes kann mittels Sonographie erfolgen, sofern dies aus HNO ärztlicher Sicht noch für erforderlich gehalten wird
- die Stimmbandlänge lässt sich mittels MRT bestimmen (T1 Wichtung, transversal, 2-3mm Schichtdicke), bei entsprechendem Erfordernis aus HNO-ärztlicher Sicht, kann auch der cricothyroidale Abstand bestimmt werden (T1 Wichtung, sagittal, 2mm)

postoperativ

- die Stimmbandlänge kann zur Abschätzung des Operationserfolges mittels MRT bestimmt werden
- nur in Ausnahmefällen (z.B. bei intraoperativen Problemen, MRT-Kontraindikationen) sollte postoperativ eine CT-Untersuchung zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes (sofern dies noch erforderlich ist) bzw. der Stimmbandlänge durchgeführt werden
- da auch die Sonographie postoperativ auf Grund der Artefakte größere Abweichungen bzw. Ungenauigkeiten zur CT-Untersuchung zeigt, kann die Sonographie nicht als mögliche alternative Untersuchungsmethode gelten

Ausschließlich bei Verdacht auf eine Nahtinsuffizienz sollte vor einer möglichen Revisions-Operation eine konventionelle Röntgenaufnahme des Larynx angefertigt werden.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung zeigt Möglichkeiten zur Erhebung prä- und postoperativer Daten bei geplanter stimmerhöhender Operation (Cricothyroidopexie) für transsexuelle Patientinnen mittels Spiral-CT und Ultraschall anhand 45 untersuchter Patientinnen.

Durch die Einführung einer neuen Operationsmethode in der Klinik für HNO durch BERGHAUS & NEUMANN bestand der Wunsch einer Qualitätskontrolle mittels bildgebender Diagnostik zur Bestimmung des cricothyroidalen Abstandes und der Stimmbandlänge.

Hierzu geeignet waren die Spiral-CT und die Sonographie. Mit Ausnahme von drei Patientinnen mit mangelnder Kehlkopfverkalkung ließen sich im Spiral-CT der cricothyroidale Abstand problemlos prä- und postoperativ messen. Eine CT-Untersuchung ist jedoch im Gegensatz zur Ultraschalluntersuchung mit einer Strahlenexposition verbunden.

Präoperativ erwiesen sich die CT- und die Sonographieuntersuchung als gleichwertig bei einem durchschnittlichen cricothyroidalen Abstand um 10 mm. Die durchschnittliche postoperative Verkürzung (Differenz) des jeweiligen cricothyroidalen Abstandes betrug 6,5 mm im CT und 7,8 mm im Ultraschall und zeigte eine geringe Abweichung ohne signifikanten Unterschied zwischen beiden Methoden. Eine Korrelation zwischen der Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes und der Stimmanhebung war ebenfalls nicht nachweisbar.

Postoperativ fand sich auch bei der Messung des cricothyroidalen Abstandes zwischen der CT- und der Sonographieuntersuchung eine geringe Abweichung der Mittelwerte (4,1 mm zu 2,7 mm), die nicht signifikant war. Die Differenz beider Messwerte ließ sich durch eine größere Ungenauigkeit der postoperativen Ultraschalluntersuchung gegenüber dem Spiral-CT auf Grund von Artefakten des OP-Nahtmaterials und der Miniplatte erklären.

Die Stimmbandlänge konnte nicht sonographisch, sondern nur im CT bestimmt werden. Die prä- und postoperative Differenz ist nach vorliegender Untersuchung das einzige Maß zur groben Vorhersage des Operationserfolges einer Stimmanhebung. Die durchschnittliche Stimmbandverlängerung lag bei 4,6 mm. Die Stimmanhebung beträgt etwa 4 Halbtöne pro Millimeter Stimmbandverlängerung.

Zur Nutzen-Risiko-Abschätzung wird die für die Patientinnen im Spiral-CT entstehende Strahlenexposition als totale Effektivdosis mit 0,42 mSv und mit 0,33 mSv als Organdosis für die Schilddrüse pro Untersuchung berechnet. Bei einem sich hieraus ergebenden zusätzlichen

strahlenbedingten Krebsmortalitätsrisiko von 0,002 % werden alternative Untersuchungsmethoden diskutiert. Das MRT bietet sich hier als Untersuchungsmethode ohne zusätzliche Strahlenexposition an. Erste erfolgversprechende Versuche zeigen eine ausreichende diagnostische Genauigkeit. Nicht zuletzt unter dem Aspekt der fehlenden Korrelation der Stimmanhebung mit dem cricothyroidalen Abstand kann die MRT künftig die CT-Untersuchung ersetzen.

7 Literatur

- 1) **Becker M**, Zbären P, Delavelle I, Kurt AM, Egger C, Rüfenacht DA, Terrier F: Neoplastic invasion of the laryngeal cartilage: Comparison of MR imaging and CT with histopathologic correlation. *Radiology* 203 (1997) 521-32
- 2) **Benjamin H**: Transvestism and Transsexualism. *Int J Sexol* 7 (1953) 12-14
- 3) **Berger R**: Phoniatische Mitbehandlung operierter Transsexueller. *HNO-Praxis* 13 (1988) 207-210
- 4) **Berghaus A**, Neumann K: Aufgaben der Hals-Nasen-Ohren-Chirurgen bei Mann-zu-Frau-Transsexualismus. In: *HNO-Informationen* 4/1996, Demeter-Verlag, Balingen, 1996
- 5) **Bloch F**: Nuclear induction. *Phys Rev* 70 (1946) 460-474
- 6) **Böhme G**: Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen, Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart, 1997
- 7) **Bosinski HAG**: Differentialdiagnostische und gutachterliche Aspekte des Transsexualismus. *Pro Familia* 2 (1995) 1-3
- 8) **Brüning R**: Moderne bildgebende Verfahren in der HNO-Diagnostik: Larynx. *Fortschr Röntgenstr* 173 (Supplement 1) (2001)
- 9) **Castelijns JA**, Hermann R, van den Breke MW, Mukherji SK: Imaging of laryngeal cancer. *Semin Ultrasound CT MR* 19 (1998) 492-504
- 10) **Caudwell DC**: Psychopathia transsexualis. *Sexology* 16 (1949) 274-280
- 11) **Clement U**: Transsexualität Behandlung und Begutachtung. Stuttgart, New York, Schattauer-Verlag, 1996
- 12) **Desirat K**: Die transsexuelle Frau. Enke-Verlag, Stuttgart, 1985
- 14) **Donald PJ**: Voice change surgery in the transsexual. *Head and Neck Surgery* 4 (1982) 433-437
- 15) **Eicher W**: Transsexualismus. Möglichkeiten und Grenzen der Geschlechtsumwandlung. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 1992
- 16) **Esquirol JED**: Die Geisteskrankheiten in Beziehung zur Medizin und Staatsarzneikunde. Verlag der Voss'schen Buchhandlung, Berlin, 1838

- 17) **Fippel M**, Nüsslin F: Grundlage der Monte-Carlo-Methode für die Dosisberechnung in der Strahlentherapie. *Z f mediz Physik* Vol 11 (2001) 73-82
- 18) **Galanski M**, Prokop M: Ganzkörper-Computertomographie. Thieme Verlag, 1998
- 19) **Giraldo F**, de Grado J, Montes J: Aesthetic reductive thyroid chondroplasty. *Int J Oral Maxillofac Surg* 26 (1997) 20-22
- 20) **Gosch D**, Klöppel R, Fuchs J, Dietrich J, Schultz HG: Strahlenexposition durch CT-Untersuchungen: Eine vergleichende Studie nach 15 Jahren CT in Leipzig. (Sonderdruck)
- 21) **Gross M**: Pitch raising surgery in male-to-female transsexuals. *J Voice* 13 (1999) 246-250
- 22) **Hirschfeld M**: Die Transvestiten - eine Untersuchung über den erotischen Verkleidungstrieb mit umfangreichem casuistischem und historischem Material. Medizinischer Verlag, Berlin, 1910
- 23) **Hirschfeld M**: Die intersexuelle Konstitution. *Jahrbuch der sexuellen Zwischenstufen*, Puttmann-Verlag, Stuttgart, 1923
- 24) **Hong KH**, Ye M, Kim YM, Kevorkian KF, Kreiman J, Berke GS: Functional differences between the two bellies of the cricothyroid muscle. *Otolaryngol Head Neck Surg* 118 (1998) 714-722
- 25) **Imber H**: The management of transsexualism. *Med J Aust* 2 (1976) 676-678
- 26) **Isshiki N**, Morita H, Okamura H, Hiramoto M: Thyroplasty as a new phonosurgical technique. *Acta Otolaryngol* 78 (1974) 451-457
- 27) **Isshiki N**, Taira T, Tanabe M: Surgical alteration of the vocal pitch. *J Otolaryngol* 12 (1983) 335-340
- 28) **Isshiki N**: Phonosurgery: Theory and Practice. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1989
- 29) **Jacobi W**: Grundprinzipien des Strahlenschutzes. In: Stieve FE (Hrsg.): Strahlenschutzkurs für Ärzte. 6. Auflage, Hoffmann-Verlag, Berlin, 1998
- 30) **Jones DG**, Shrimpton PC: Normalised organ doses for X-ray computed tomography calculated using Monte Carlo Techniques. NRPB-R250, 1991.
- 31) **Jordan J**, Pospielska-Paradowska D, Piotrowski S: Laryngological aspects of

- treatment of male-female transsexuals. *Otolaryngol Pol* 52 (1998) 163-167
- 32) **Jung H**: Strahlenrisiko. *Fortschr Röntgenstr* 162.2 (1995) 91-98
 - 33) **Jung H**: Strahlenrisiken durch Röntgenuntersuchungen zur Altersschätzung im Strafverfahren. *Fortschr Röntgenstr* 172 (2000) 553-556
 - 34) **Kitajima K**, Tanabe M, Isshiki N: Cricothyroid distance and vocal pitch. Experimental surgical study to elevate the vocal pitch. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 88 (1979) 52-55
 - 35) **Korkmaz H**, Cerezci NG, Akmansu H, Dursun E: A comparison of spiral and conventional computerized tomography methods in diagnosing various laryngeal lesions. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 255.3 (1998) 149-154
 - 36) **Krafft-Ebing RV**: Über gewisse Anomalien des Geschlechtstriebes und die klinisch-forensische Verwertung derselben als eines wahrscheinlich functionellen Degenerationszeichens des centralen Nervensystems. *Arch Psychiatr Nervenkrankheiten* 7 (1877) 290-312
 - 37) **Lang J**: Larynx-Anatomie-Topographie. In: Herberhold H (Hrsg.) Band 3. Hals. Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 1995
 - 38) **Lauterbur PC**: Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature* 242 (1973) 190-191
 - 39) **Mahieu HF**, Schutte HK: New surgical techniques for voice improvement. *Arch Otorhinolaryngol* 246 (1989) 397-402
 - 40) **Mahieu HF**, Norbart T, Snel F: Laryngeal framework surgery for voice improvement. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 117 (1996) 189-197
 - 41) **Martin F**, Klingholz F, Eicher W: Die Bewertung der Stimme als sekundäres Geschlechtsmerkmal bei Transsexuellen. *HNO* 32 (1984) 24-27
 - 42) **Neumann K**, Berghaus A: Die chirurgische Erhöhung der mittleren Sprechstimmlage bei Mann-zu-Frau Transsexualismus. In: Berghaus A (Hrsg.) *Plastische- und Wiederherstellungschirurgie*. Einhorn-Presserverlag, Reinbek, 1996
 - 43) **Neumann K**, Berghaus A: Raising the medium speaking voice pitch by surgical means in male-to-female transsexuals. *Arch Oto-Rhino-Laryngol* 253 (1996) 75
 - 44) **Neumann K**, Alter C, Berghaus A: Eignet sich das Spiral-CT für die Morphometrie

- des Larynx? Poster/Vortrag 362, HNO – Kongress, 1998
- 45) **Neumann K**, Welzel C, Berghaus A: Operative voice pitch raising in male-to-female transsexuals. *Eur J Plast Surg* 25 (2002) 209-214
 - 46) **Patel P**, Snow GB: Metastases of carcinoma of the larynx. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 46.2 (1992) 141-151
 - 47) **Pauly I**: Male Psychosocial Inversion: Transsexualism. *Arch Gen Psychiatry* 13 (1965) 172
 - 48) **Pickuth D**, Brandt S, Neumann K, Berghaus A, Spielmann RP, Heywang-Köbrunner SH: Value of spiral CT in patients with cricothyroid approximation. *Br J Rad* 73 (2000a) 840-842
 - 49) **Pickuth D**, Brandt S, Neumann K, Berghaus A, Spielmann RP, Heywang-Köbrunner SH: Spiral computed tomography before and after cricothyroid approximation. *Clin Otolaryngol* 25 (2000b) 311-314
 - 50) **Prokop M**: Überblick über Strahlendosis und Bildqualität in der Computertomographie. *Fortschr Röntgenstr* 174 (2002) 631-636
 - 51) **Purcell EM**, Torrey HC, Pound RV: Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Phys Rev* 69 (1946) 37-38
 - 52) **Rehman J**, Lazer S, Benet AE, Schaefer LC, Melman A: The reported sex and surgery satisfactions of 28 postoperative male-to-female transsexual patients. *Arch Sex Behav* 28 (1999) 71-89
 - 53) **Rosanowski F**, Eysholdt U: Phoniatische Begutachtung vor der Stimmgleichung bei Mann-zu-Frau-Transsexualismus. *HNO* 47 (1999) 556-562
 - 54) **Sataloff RT**, von Leden H: The history of phonosurgery. In: Professional voice. Singula Publishing Coop. Inc., San Diego, London, 1997
 - 55) **Schmidt RF** (Hrsg.): Grundriß der Sinnesphysiologie. 5. Auflage, Heidelberger Taschenbücher (Bd. 136), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1985.
 - 56) **Scholtz E**, Meyer HJ, Guhl L, Arlart IP: Klinische Wertigkeit der hochauflösenden Magnetresonanztomographie beim Staging von Tumoren der Mundhöhle, des Pharynx und des Larynx. *Fortschr Röntgenstr* 160 (1994) 118-124

- 57) **Schuller DE**, Schleuning AJ: Otolaryngology. Head and neck surgery. 8. Auflage, Mosby-Year Book, St. Louis, 1994, S. 284ff.
- 58) **Silbernagl S**, Despopoulos A: Taschenatlas der Physiologie. 3. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 1988, S. 324
- 59) **Sobol IM**: Die Monte-Carlo-Methode. Reihe Deutscher Taschenbücher Bd. 41, 4. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 1991, S. 324f.
- 60) **Sonnek C**: Die neue Röntgenverordnung. 9. Auflage, Hoffmann, Berlin 2002
- 61) **Spehr C**: Probleme der Transsexualität und ihre medizinische Bewältigung. Müller-Verlag, Heidelberg, 1997
- 62) **Stieve FE** (Hrsg.): Strahlenschutzkurs für Ärzte. 6. Auflage, Hoffmann, Berlin, 1998.
- 63) **Stone M**: Imaging the tongue and vocal tract. Br J Disord Commun 26 (1991) 11-23
- 64) **Welzel C**, Röpke E, Hanson S, Berghaus A, Neumann K: Einfluss der Cricothyroidopexie auf geschlechtsspezifische Stimmqualitäten bei Transsexualismus. Sprache - Stimme - Gehör 26 (2002) 125-133
- 65) **Wendler J**, Seidner W, Kittel G, Eysholdt U: Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 1996
- 66) **Wolfort FG**, Dejerine ES, Ramos DJ, Parry RG: Chondrolaryngoplasty for appearance. Plast Reconstr Surg 86 (1990) 464-469
- 67) **Yang CY**, Palmer AD, Murray KD, Meltzer TR, Cohen JI: Cricothyroid approximation to elevate vocal pitch in male-to-female transsexuals: results of surgery. Ann Otol Rhinol Laryngol 111 (2002) 477-485.

Thesen

- 1) Die Untersuchung zeigt Möglichkeiten zur Erhebung prä- und postoperativer Daten bei geplanter stimmerhöhender Operation (Cricothyroidopexie) für transsexuelle Patientinnen mittels Spiral-CT und Ultraschall anhand 45 untersuchter Patientinnen.
- 2) Bestimmt wurden hierzu der cricothyroidale Abstand und die Stimmbandlänge im Spiral-CT und der cricothyroidale Abstand in der Sonographie. Die gemessenen Werte wurden mit der postoperativ gefundenen Stimmanhebung korreliert.
- 3) Mit Ausnahme von drei Patientinnen mit mangelnder Kehlkopfverkalkung ließen sich im Spiral-CT der cricothyroidale Abstand problemlos prä- und postoperativ messen.
- 4) Präoperativ erwiesen sich die CT- und die Sonographieuntersuchung als gleichwertig bei einem durchschnittlichen cricothyroidalen Abstand um 10 mm.
- 5) Bei der Messung des cricothyroidalen Abstandes fand sich zwischen der Spiral-CT-Untersuchung und der Sonographie eine Abweichung der Mittelwerte (4,1 mm zu 2,7 mm). Die Differenz beider Messwerte ließ sich durch eine größere Ungenauigkeit der postoperativen Ultraschalluntersuchung gegenüber dem Spiral-CT durch Artefakte des OP-Nahtmaterials und der Miniplatte erklären.
- 6) Eine Korrelation zwischen der Verkürzung des cricothyroidalen Abstandes und der Stimmanhebung war nicht nachweisbar.
- 7) Die Stimmbandlänge konnte sonographisch nicht, sondern nur im CT bestimmt werden.
- 8) Die durchschnittliche Stimmbandverlängerung lag bei 4,6 mm.

- 9) Die Stimmbandlängendifferenz korrelierte mit der Stimmanhebung in Halbtönen und entspricht etwa einer Erhöhung von 4 Halbtönen pro Millimeter Stimmbandverlängerung.
- 10) Die prä- und postoperative Differenz der Stimmbandlänge ist das einzige Maß zur groben Vorhersage des Operationserfolges einer Stimmanhebung.
- 11) Da die Spiral-CT-Untersuchung im Gegensatz zur Sonographie mit einer Strahlenexposition verbunden ist, wurde zur Nutzen-Risiko-Abschätzung die für die Patientinnen entstehende Strahlenexposition berechnet.
- 12) Die totale Effektivdosis beträgt 0,42 mSv, die Organdosis für die Schilddrüse 0,33 mSv pro Untersuchung.
- 13) Bei einem sich hieraus ergebenden zusätzlichen strahlenbedingten Krebsmortalitätsrisiko von 0,002 %, werden alternative Untersuchungsmethoden diskutiert. Das MRT bietet sich hier als Untersuchungsmethode ohne zusätzliche Strahlenexposition an.
- 14) Erste erfolgversprechende Versuche zeigen eine ausreichende diagnostische Genauigkeit. Nicht zuletzt unter dem Aspekt der fehlenden Korrelation der Stimmanhebung mit dem cricothyroidalen Abstand kann die MRT künftig die CT-Untersuchung ersetzen.

Lebenslauf

Name: Silvio Brandt
Geburtsdatum: 9.2.1969
Geburtsort: Lutherstadt Eisleben
Eltern: Bärbel Brandt, geb. Neumann
Wolfgang Brandt
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung:

1975-1985 Polytechnische Oberschule in Eisleben
1985-1987 Erweiterte Oberschule in Eisleben, Abitur

Studium:

ab 09/ 1990 Studium der Humanmedizin an der Humboldt-
Universität-Berlin
1992 Physikum
1993 I. Staatsexamen
1995 II. Staatsexamen
1996 III. Staatsexamen

Beruflicher Werdegang:

05/ 1997 – 10/1998 Arzt im Praktikum in der Klinik für Diagnostische
Radiologie der Martin-Luther-Universität-Halle
seit 11/ 1998 Assistenzarzt in der Klinik für Diagnostische
Radiologie der Martin-Luther-Universität-Halle
Halle, den 11.05.2003

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbständig durch mich und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde. Ich erkläre weiterhin, dass frühere Promotionsversuche mit der gleichen Dissertation nicht erfolgt sind. Die jetzt vorliegende Arbeit wird erstmalig und nur an der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg eingereicht.

Halle, den 11.5.2003

Hinweis auf Publikationen von Ergebnissen dieser Arbeit

Die vorläufigen Ergebnisse dieser Arbeit wurden 2000 publiziert:

Pickuth D, **Brandt S**, Neumann K, Berghaus A, Spielmann RP, Heywang-Köbrunner SH: Value of spiral CT in patients with cricothyroid approximation. Br J Rad 73 (2000) 840-842

Pickuth D, **Brandt S**, Neumann K, Berghaus A, Spielmann RP, Heywang-Köbrunner SH: Spiral computed tomography before and after cricothyroid approximation. Clin Otolaryngol 25 (2000) 311-314

Halle, den 11.5.2003

Danksagung

Frau PD Dr. med. S. Kösling (Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie) und Frau Dr. med. K. Neumann (Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie) danke ich für die engagierte Hilfe bei der Einführung in die Thematik und die konstruktive Kritik und zahlreiche Hinweise zur wissenschaftlichen Arbeit und zur Abfassung der Dissertation, sowie für die freundliche und entgegenkommende Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt Frau Dr. med. C. Welzel und Herrn Dr. med. S. Plümpe (Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie) für die zur Verfügung gestellten Messwerte der Ultraschalluntersuchungen.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. med. R.P. Spielmann, Direktor der Klinik für Diagnostische Radiologie der Martin-Luther-Universität und allen Ärzten und Röntgenassistentinnen herzlich danken, die mit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ebenso gebührt mein Dank Frau I. Haufe (Universitätsrechenzentrum), die mir bei der statistischen Auswertung half und Herrn Dr. rer. nat. D. Gosch (Klinik für Diagnostische Radiologie der Universität Leipzig) der mich bei der Berechnung der Strahlenexposition unterstützte.

Nicht zu Letzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir mit viel Verständnis zur Seite stand und mir die Zeit gab, diese Arbeit erfolgreich zu beenden.