

5 DISKUSSION

Die 11 ausgewählten Schnittserien können hier nur einen Überblick über die Morphogenese des Os hyoideum geben - für allgemein gültige Aussagen müsste eine größere Anzahl einzelner Schnittserien in denselben Entwicklungsstadien untersucht werden. Dennoch kann durch die dreidimensionale Rekonstruktion verschiedener Entwicklungsstadien ein räumlicher Einblick in die pränatalen Entwicklungsvorgänge geliefert werden.

5.1 Material

Um Messfehler zu vermeiden, sollte laut GOODMAN u. STERN (1972) und MONTAGNON (1987) bei der Bestimmung des Entwicklungsstadiums grundsätzlich neben der Scheitel-Steiß-Länge zusätzlich das Alter in Tagen nach der Konzeption genannt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde das Alter allerdings nur in Relation zur Scheitel-Steiß-Länge bestimmt, die Angabe des Alters in Tagen nach der Konzeption war nicht möglich, da das genaue Befruchtungsdatum in der Regel nicht bekannt ist und der Abbruch der Schwangerschaft nicht unbedingt mit dem Tod des Embryos übereinstimmt. Die Verwendung der Scheitel-Steiß-Länge hat den Vorteil, dass sie häufig angewendet wird und so den Vergleich mit anderen Studien erleichtert (HINRICHSEN 1990).

Da in dieser Studie verschiedene Embryonen und Feten unterschiedlicher Reifegrade nebeneinander gestellt wurden und nicht das Wachstum eines Embryos chronologisch aufgezeichnet wurde, ergibt sich zusätzlich das Problem der Vergleichbarkeit. Man kann nicht unbedingt davon ausgehen, dass zwei Embryonen gleicher Scheitel-Steiß-Länge (SSL) gleich weit entwickelt sein müssen (MONGINI, SCHMID 1987, TAKENOSHITA 1987). Nach STARCK (1975) kann beispielsweise die Körpergröße trotz gleichen Alters in den ersten Wochen stark differieren.

Ein vergleichbares entwicklungspezifisches Problem zeigte sich in der vorliegenden Studie an dem Beispiel des Embryo 22 mm SSL (7. Woche, EMM 150787), der eine Verbindung zwischen Corpus und Cornu maius dextrum hatte, obgleich der Embryo in dem vorherigen Stadium (19 mm SSL, 7. Woche, CHR 220687) wie auch der Embryo im nachfolgenden Stadium (25 mm SSL, 7. – 8. Woche, JOS 080289) keine Verbindung zwischen diesen beiden knorpeligen Anteilen aufwies.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass es zu Ungenauigkeiten in der Altersbestimmung durch geringe Dimensionsänderungen wie der Schrumpfung des Präparates beim Fixieren kommen kann (BUJARD 1911, MONTAGNON 1987).

5.2 Methode

Um eine dreidimensionale Darstellung eines Embryos und seiner Organe herzustellen, sind bisher verschiedene Methoden genutzt worden. Die dafür verwendete 3D-Rekonstruktionstechnik ist notwendig, um zeitlich umschriebene Wachstumsprozesse anatomischer Objekte besser dokumentieren zu können und dient in neuester Zeit auch als Grundlage für die weiterführende Forschung in der Molekularbiologie. Außerdem können durch die räumliche Darstellung missverständliche oder fehlerhafte Ergebnisse durch 2D-Darstellungen vermieden werden (WILLIAMS 1923, RADLANSKI 1995).

In frühester Zeit entwickelte HIS (1868) zur plastischen Rekonstruktion die Modellierung in Gips, BORN führte 1876 die Wachsplattenmodellierung ein, die von BLECHSCHMIDT (1954) modifiziert wurde. Allerdings haben alle diese Rekonstruktionsmethoden den Nachteil, dass es nur mit vergrößertem Aufwand möglich ist, innen liegende und umgebende Strukturen zusammen darzustellen.

Schon in der Anfangszeit der dreidimensionalen Rekonstruktion fertigten HIS (1876) und KASTSCHENKO (1887) Konturlinienbilder histologischer Schnitte an. Auf diesem Prinzip basiert auch die hier verwendete Software *analySIS*[®] zur computergestützten 3D-Rekonstruktion²⁵.

Dadurch ist es uns nun möglich, verschiedene Strukturen nebeneinander darzustellen, was beispielsweise mit einer pränatalen dreidimensionalen CT-Untersuchung (NEUMANN et al. 1997) nicht möglich wäre, da hierbei lediglich Rückschlüsse über Hartgewebsstrukturen gezogen werden können. Ähnliches gilt auch für die Untersuchung mittels MRT, da es durch die künstliche Fixierung des Embryo/Feten nicht möglich ist, nach diesem Prinzip der Protonenanregung Hart- und Weichgewebe zu unterscheiden.

Somit ist durch die dreidimensionale Rekonstruktion verschiedener Entwicklungsstadien ein räumlicher Einblick in die pränatalen Entwicklungsvorgänge möglich. Die

²⁵ Siehe Kapitel 3.2.

Strukturen können in allen Ebenen gedreht werden, die Anteile können individuell farbkodiert, blickverstellende Strukturen weggelassen und verborgene Anteile hervorgehoben werden, außerdem können Längen- und Volumenmessungen direkt am Computer vorgenommen werden. Nur durch dieses Prinzip war es möglich, das Os hyoideum sowohl mit, als auch ohne seine Umgebungsstrukturen darzustellen, sowie einen direkten Vergleich zwischen Reichert'schen und Meckel'schen Knorpel zu liefern.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Entwicklung des Os hyoideum

Wie in der Literaturübersicht gezeigt, gibt es keine einheitliche wissenschaftliche Meinung zu der Entstehung des Os hyoideum aus den Pharyngealbögen. Deswegen soll diese Arbeit einerseits die bestehenden Differenzen darstellen und andererseits einen Anstoß dazu liefern, auf diesem Gebiet noch weiterführende Forschung zu betreiben.

Nach GRAY (1995) entsteht das Os hyoideum erst in der fünften *Fetalwoche*, in der vorliegenden Arbeit ist es hingegen schon deutlich im kleinsten Stadium (7. *Embryonalwoche*) zu erkennen, allerdings noch nicht vollständig. Somit kann man sich den Meinungen von O'RAHILLY und MÜLLER (2001), SADLER (2006) und SPERBER (2001) anschließen, nach der das Os hyoideum in der sechsten Embryonalwoche entsteht.

In den jüngsten Stadien von 19 bis 25 mm SSL (CHR 220687, EMM 150787, JOS 080289) liegt das knorpelige Os hyoideum in Form dreier separater Knorpel vor, zwei *Cornua maiora* und der *Corpus*. Die *Cornua minora* sind in diesen Stadien noch nicht abgrenzbar. Der *Corpus* liegt als ein länglicher kompakter Knorpel vor, der selbst in diesem frühen Stadium der Entwicklung keinerlei Anzeichen einer vorangegangenen Fusion aufweist. Der caudale Anteil des Reichert'schen Knorpels reicht bis an den

Treffpunkt von Cornu maius und Corpus, der Position des adulten Cornu minus (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, GRAY 1995, KOEBKE und SATERNUS 1979).

In den folgenden Stadien (30 mm SSL, 8. Woche, T61) ist das Cornu minus nun gut zu erkennen, es weist eine längliche Form auf, die in direkter Verlängerung zu den übrigen knorpeligen Anteilen des Reichert'schen Knorpels steht, der Abstand zum Cornu maius ist noch relativ groß. Erst in den folgenden Stadien nähert sich das Cornu minus dem knorpeligem Skelett des Os hyoideum an, der Abstand zu den restlichen Segmenten des Reichert'schen Knorpels wird hingegen gleichzeitig immer größer.

Die Position des Cornu minus liegt lateral des Cornu maius kurz vor dem Treffpunkt mit dem Corpus, wie auch schon in der Studie von KOEBKE und SATERNUS (1979) an adulten Zungenbeinen festgestellt wurde.

Schon in diesem frühen Stadium (30 mm SSL, 8. Woche, T61) ist, wie von KOEBKE und SATERNUS 1979 beschrieben, eine Art gelenkige Verbindung zwischen den Cornua maiora und dem Corpus zu erkennen, die in den folgenden Stadien noch deutlicher wird (z.B. THE 230494, 56 mm SSL, 9. Woche).

Ab dem ersten fetalen Stadium von 53 mm SSL (9. Woche, HAN 040389) ähnelt die Form der Knorpel annähernd der adulten. Bei dem Fetus von 56 mm SSL (9. Woche, THE 230494) ist die dorsale Auftreibung der Cornua maiora schon gut zu erkennen. Noch in dem am weitesten fortgeschrittenen Stadium von 150 mm SSL (18. Woche, T26) sind fünf separate Knorpel abgrenzbar.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse fällt es jedoch weiterhin schwer, eindeutig festzulegen, aus welchen Pharyngealbögen die einzelnen Anteile des knorpeligen Os hyoideum entstehen. Es lässt sich aber hier feststellen, dass sich das Cornu minus aus dem zweiten Pharyngealbogen (Reichert'schen Knorpel) ableitet, da dieser räumliche Zusammenhang in der vorliegenden Arbeit gut zu erkennen ist. Weiterhin kann man sich deswegen der Meinung von RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. 2006, SATYAPAL und KALIDEEN 2000 und SPERBER 2001 anschließen, die davon ausgehen, dass es sich hierbei um das caudalste Segment des Reichert'schen Knorpels (hypohyalen Knorpel) handelt.

Die Auffassung der ganz überwiegenden Meinung in der Literatur über die Entstehung der Cornua maiora aus dem dritten Pharyngealbogen kann durch die Ergebnisse der Untersuchung an Hand ihrer Lokalisation wiederum bestätigt werden.

Hingegen ist die Entstehung des Corpus aus dem zweiten und dritten Pharyngealbogen (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, ENLOW 1990, FITZGERALD und FITZGERALD 1994, MARJORIE 1985, MEIKLE 2002, PSCHYREMBEL 2004, SADLER 2006, SPERBER 2001) bei uns so nicht zu erkennen, auch von einer vorangegangenen Fusion ist nichts zu sehen. Selbst bei dem jüngsten Stadium (19 mm, 7. Woche, CHR 220687) setzt sich der Corpus nur aus einem Knorpel zusammen. Somit kann zu der Ansicht tendiert werden, dass der Corpus nur aus einem Pharyngealbogen entsteht, nämlich dem dritten (BOENIG und BERTOLINI 1971, GRAY 1995, KITAMURA 1989, KOEBKE 1978, O'RAHILLY und MÜLLER 2001, ROCHE-AG 1999, ROHEN 1994, STARCK 1975). Allerdings kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass er sich aus der von BENNINGHOFF (2003), GRAY (1995) und WEISSENBERG (1931) beschriebenen Copula entwickelt, die von BOENIG und BERTOLINI (1971) als Vereinigung der Pharyngealbögen mit Ausnahme des ersten an der Ventralseite beschrieben wurde. Die fehlenden Anzeichen einer Fusion in der 7. Embryonalwoche²⁶ der von den übrigen Autoren beschriebenen Knorpelanteile²⁷ des Corpus, unterstützt diese Theorie. Da durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie die genaue Entstehung des Corpus nicht eindeutig dargestellt werden kann, müssten zur weiteren Festigung dieser Theorie noch frühere Stadien zu Beginn der Pharyngealbogenentstehung betrachtet werden.

Nach SHIMIZU (2005) ändert sich die Gestalt des Os hyoideum mit zunehmendem Alter, doch dies kann durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden. Schon unter den von uns rekonstruierten Embryonen und Feten variiert die Gestalt wie die folgende zusammenfassende Abbildung (**Abb. 68**) veranschaulicht. Es finden sich die von KOEBKE (1978) beschriebenen Formenvariationen Parabelform und Hufeisenform unabhängig vom Reifezustand der Embryonen und Feten. Somit liegt es nahe, dass die Formenvariationen schon vor der Geburt vorhanden sind und nicht erst mit zunehmendem Alter durch physiologische Anpassung entstehen.

²⁶ Zum Zeitpunkt der 7. Embryonalwoche existieren die Pharyngealbögen erst seit zwei Wochen.

²⁷ Vier Knorpelanteile, da der Corpus hier aus dem zweiten und dritten paarigen Pharyngealbogen entsteht.

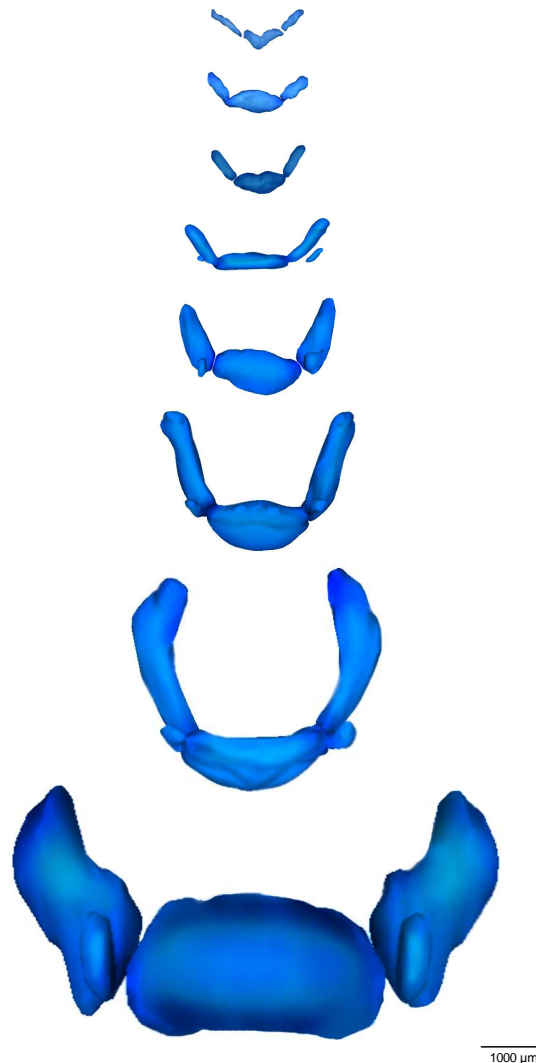


Abb. 68 Embryonen und Feten von 19 bis 150 mm SSL
 3D-Rekonstruktionen, Ansicht von cranial
 Darstellung der Gestaltenvielfalt des Os hyoideum

Nach BERKOVITZ und MOXHAM (1988) und GRAY (1995) ossifiziert das Os hyoideum erst kurz vor der Geburt, beginnend mit den Cornua maiora. Selbst bei dem ältesten Fetus (150 mm SSL, 18. Woche, T26) ist noch keine Ossifikation zu sehen, somit muss nach den vorhandenen Ergebnissen der Angabe von BROOKES und ZIETMAN (1998) widersprochen werden, die den Beginn der Ossifikation mit dem 4. Monat (16. Woche) angeben. Dem von SPERBER (2001) mit der 38. Woche angegebenen Zeitpunkt stehen die vorhandenen Untersuchungen nicht entgegen.

5.3.2 Entwicklung des Reichert'schen Knorpels

In der wissenschaftlichen Literatur besteht eine große Konfusion bei der Darstellung des Reichert'schen Knorpels, seiner Segmenteinteilung und der aus ihm entstehenden Strukturen - einige Unstimmigkeiten dürften sich jedoch durch die vorliegenden Ergebnisse aufklären lassen.

Die Pharyngealbögen entstehen am Ende der fünften Embryonalwoche (BENNINGHOFF 2003, MARJORIE 1985, MIETHKE 2000, BROOKES und ZIETMAN 1998, SADLER 2006), das jüngste Stadium der vorliegenden Arbeit der SSL von 19 mm entspricht der 7. Embryonalwoche (CHR 220687). In diesem Stadium ist der Reichert'sche Knorpel schon sehr gut zu erkennen. Er verläuft weitestgehend parallel zum Knorpel des ersten Pharyngealbogens, dem Meckel'schen Knorpel.

Nach RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) besteht der Reichert'sche Knorpel *nicht* aus einem Stück, sondern setzt sich im Gegensatz zum Meckel'schen Knorpel aus mehreren Segmenten zusammen. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen dies, der Reichert'sche Knorpel bestand in allen rekonstruierten Stadien aus mindestens drei Anteilen.

Wie in der Literaturübersicht zusammengefasst, ist es kaum möglich, eine klare Aussage darüber zu machen, welche Strukturen sich aus dem zweiten Pharyngealbogen ableiten (**Tab. 2**, S. 27). Es besteht keine Einigkeit darüber, ob sich der Stapes aus dem Reichert'schen Knorpel oder aus dem Knorpel des zweiten Pharyngealbogen entwickelt, beziehungsweise ob beide Knorpel synonym verwendet werden. Auch geht aus einem Teil der gesammelten Literatur hervor, dass ein Knorpelsegment, das aus dem zweiten Pharyngealbogen entsteht, nicht unbedingt zum Reichert'schen Knorpel gehören muss (GRAY 1995, KITAMURA 1989, RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ 2005, STARCK 1975). Die synonyme Verwendung des Reichert'schen Knorpels und des zweiten Pharyngealbogens könnte eine Erklärung dafür sein, warum der Stapes in der Literatur nicht immer eindeutig zum Reichert'schen Knorpel gezählt wird, aber durchweg zum zweiten Pharyngealbogen.

Darüber hinaus zeigt sich anhand der Ergebnisse, dass schon bei dem jüngsten Embryo 19 mm SSL (7. Woche, CHR 220687) die Entfernung des Stapes zu den

übrigen Anteilen des zweiten Pharyngealbogens sehr groß ist, und auch bei den übrigen fortgeschritteneren Stadien lässt sich eine große räumliche Trennung erkennen.

Nach RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) setzt sich der Reichert'sche Knorpel aus zwei Segmenten zusammen: Ein craniales Segment, der stylohyale Knorpel, das zum Processus styloideus ossifiziert und weiter caudal der hypohyale Knorpel, der das Cornu minus ossis hyoidei bildet. Einen weiteren Knorpel als Vorläufer des Ligamentum stylohyoideum konnten RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ et al. (2006) nicht finden. Zusätzlich setzt sich bei ihnen der Processus styloideus nur aus einem Knorpel zusammen. Dies mag daran liegen, dass bei einer einfachen histologischen Auswertung Separierungen leicht übersehen werden können, erst durch die dreidimensionale Darstellung zeigen sich deutlich noch weitere Segmentierungen des Reichert'schen Knorpels.

So fanden sich in der vorliegenden Arbeit von cranial beginnend in fast allen Stadien²⁸ eindeutig zwei Anteile für den Processus styloideus, wie bereits von SATYAPAL und KALIDEEN 2000 beschrieben; diese beiden Anteile wurden von GRAY (1995) mit Pars tympanohyale und Pars stylohyale bezeichnet: Der craniale Anteil, Pars tympanohyale, bildet die Basis, der caudale Anteil, Pars stylohyale, ist stabförmig. Selbst in den fortgeschritteneren Stadien dieser Studie fanden sich keine Anzeichen einer Fusion oder Verknöcherung der beiden Anteile.

In den beiden jüngsten Stadien von 19 und 22 mm SSL (CHR 220687, EMM 150787) reicht der Reichert'sche Knorpel bis an den Treffpunkt von Corpus und Cornu maius ossis hyoidei, er setzt sich hier aus zwei Segmenten zusammen: cranial befindet sich der tympanohyale Knorpel, caudal ein länglicher Knorpel, der von der Position her zu urteilen, sowohl den stylohyalen als auch den epihyalen Knorpel bildet.

Das nachfolgende Stadium von 25 mm SSL (7. – 8. Woche, JOS 080289) ähnelt den vorherigen, der Reichert'sche Knorpel reicht bis an den Treffpunkt von Corpus und Cornu maius ossis hyoidei, außerdem sieht man eindeutig einen weiteren separaten Knorpel auf der Position des späteren Ligamentum stylohyoideum, den epihyalen Knorpel. Somit setzt sich der Reichert'sche Knorpel bereits in diesem Stadium aus

²⁸ Mit Ausnahme des ältesten Stadiums von 150 mm SSL (T26), hier war keine Trennung zu erkennen, Anzeichen von Ossifikation waren aber auch noch nicht zu sehen.

drei Segmenten²⁹ zusammen: Tympanohyalen, stylohyalen und epihyalen Knorpel sind gut voneinander abgrenzbar.

Auch bei der histologischen Untersuchung weiterer Präparate, konnte der epihyale Knorpel eindeutig differenziert werden (30 mm SSL, T61 und 41 mm SSL, KUR 030389). Ab der 8. Embryonalwoche (30 mm SSL, T61) kommt ein viertes Segment³⁰ hinzu, der hypohyale Knorpel (Vorläufer des Cornu minus ossis hyoidei).

Bei den folgenden Stadien ist der epihyale Knorpel nicht mehr zu sehen, allerdings findet sich interessanterweise bei dem Fetus von 87 mm SSL (12. Woche, DES 200597) ein kleiner rudimentärer Knorpel zwischen dem stylohyalem Knorpel und dem knorpeligen Cornu minus ossis hyoidei (hypohyaler Knorpel). Ähnliche knorpelige oder knöchernerne Zwischenstücke im Verlauf des Ligamentum stylohyoideum wurden auch schon von LANZ und WACHSMUTH (1955) beschrieben.

Die gefundenen Ergebnisse widersprechen der Annahme von RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ (2006), dass sich das Ligamentum stylohyoideum *nicht* aus einer knorpeligen Vorstufe entwickelt. Vielmehr bestätigt sich, dass das Ligamentum stylohyoideum aus dem Perichondrium einer knorpeligen Vorstufe entsteht, dem epihyalem Knorpel. Wie schon von FITZGERALD und FITZGERALD (1994), HINRICHSEN (1990), MEIKLE (2002), O'RAHILLY und MÜLLER (2001), SADLER (2006) und SPERBER (2001) beschrieben, liegt daher die Vermutung nahe, dass sich, nachdem dieser Knorpel atrophiert ist, sein persistierendes Perichondrium zum Ligament umwandelt.

Nach dieser Studie kann man sich nun den Meinungen von BENNINGHOFF 2003, GRAY 1995, HINRICHSEN 1990, KITAMURA 1989 und ROHEN 1994 anschließen, nach der sich aus dem zweiten Pharyngealbogen 1. der Stapes, 2. der Processus styloideus, 3. das Ligamentum stylohyoideum und 4. das Cornu minus ossis hyoidei ableiten. Mit Berücksichtigung, dass sich der Processus styloideus hierbei aus zwei Anteilen des Reichert'schen Knorpels zusammensetzt, finden sich somit fünf einzelne Knorpel im zweiten Pharyngealbogen.

²⁹ Wenn man den Stapes separat betrachtet, sonst wären es vier Segmente.

³⁰ Mit dem Stapes zusammen kommt man in diesem Stadium auf fünf knorpelige Anteile des zweiten Pharyngealbogens.

Was die Benennung der einzelnen Segmente des Reichert'schen Knorpels angeht fällt es schwer, eine einheitliche Nomenklatur in der Literatur zu finden, da die wenigsten Autoren die einzelnen Segmente benennen und außerdem nur wenige dabei die Zusammensetzung des Processus styloideus aus zwei Segmenten des Reichert'schen Knorpels berücksichtigen (SPERBER 2001, SATYAPAL und KALIDEEN 2000, GRAY 1995).

Nur BROOKES und ZIETMAN (1998) benennen bei ihrer Aufzählung der *Segmente des Reichert'schen Knorpels* den Stapes, die sich ihrer Meinung nach aus dem cranialsten Segment des Reichert'schen Knorpels ableitet, dem *tympanohyalen Knorpel*. Die meisten Autoren (GRAY 1995, SATYAPAL und KALIDEEN 2000, SPERBER 2001) bezeichnen den tympanohyalen Knorpel aber als Vorläufer des cranialen Anteils des Processus styloideus (Pars tympanohyale). Bei den caudal folgenden Segmenten besteht überwiegend Einigkeit darüber, dass sich aus dem stylohyalen Knorpel der caudale Anteil des Processus styloideus (Pars stylohyale) ableitet, aus dem epihyalen Knorpel das Ligamentum stylohyoideum und aus dem hypohyalen Knorpel das Cornu minus ossis hyoidei (GRAY 1995, BROOKES und ZIETMAN 1998, SATYAPAL und KALIDEEN 2000, SPERBER 2001). Der von BROOKES und ZIETMAN (1998) als einzige benannte caudalste Knorpel, der basihyale Knorpel, als Vorläufer des Corpus ossis hyoidei, kann so nicht von uns differenziert werden.

Als Fazit der verschiedenen Interpretationen der Segmenteinteilung in der Literatur und in Abstimmung mit den vorliegenden Ergebnissen, kommt man zu folgender Segmentierung der Knorpel des zweiten Pharyngealbogens:

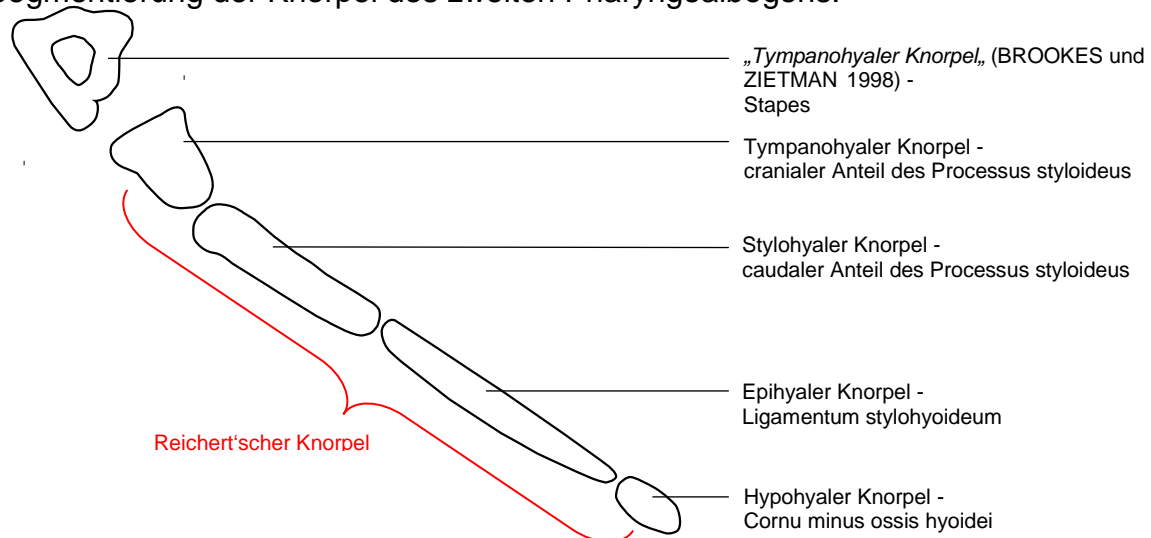


Abb. 69 Schematische Darstellung der Knorpel des zweiten Pharyngealbogens
Vorschlag zur Segmenteinteilung des Reichert'schen Knorpels mit Benennung der einzelnen Anteile und der aus ihnen entstehenden Strukturen

Ob sich der Stapes nun direkt aus dem Reichert'schen Knorpel ableitet oder separat als Knorpel im zweiten Pharyngealbogen entsteht, kann durch diese Studie noch nicht aufgeklärt werden. Auf Grund der großen Distanz des Stapes zu den übrigen Knorpeln des zweiten Pharyngealbogens bei den jüngsten Embryonen dieser Studie, kann zu der Theorie tendiert werden, den Stapes separat vom Reichert'schen Knorpel zu betrachten. Viel spricht auch für die Annahme von STARCK 1975, der vermutet, dass der Stapes *primär* mit dem Reichert'schen Knorpel in Verbindung steht, sich aber schon sehr früh von diesem trennt.

Die Zielsetzung sollte es sein, weiterhin auf diesem Gebiet zu forschen. Einerseits unter Zuhilfenahme jüngerer Embryonen (ab der Entstehung der Pharyngealbögen in der fünften Embryonalwoche), um die Frage zur Entstehung des Corpus ossis hyoidei beantworten zu können und die Segmentierungen im zweiten Pharyngealbogen besser zu veranschaulichen. Andererseits könnte man durch Aufklärung molekularbiologischer Regulationen morphogenetischer Prozesse im Tierversuch Rückschlüsse auf die menschlichen Entwicklungsprozesse ziehen.

Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass auch für ein mögliches Experimentaltier, z.B. Maus oder Huhn, aussagekräftige und vergleichbare Darstellungen der Entwicklungsvorgänge in 3D vorliegen. Bisher fehlen solche.