

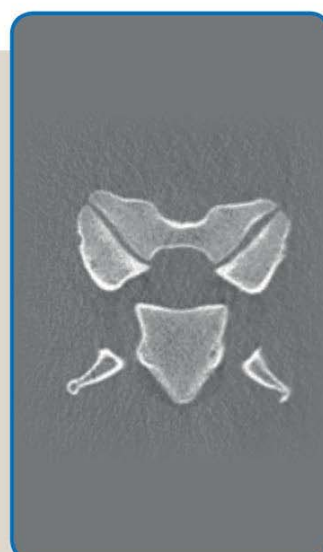
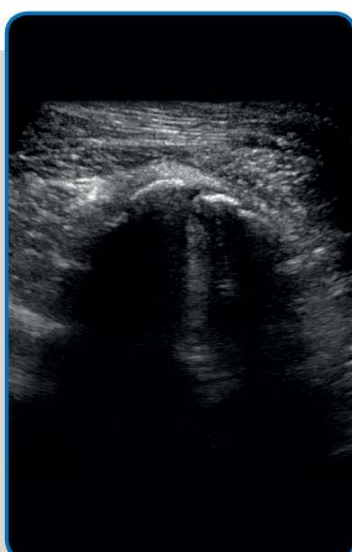
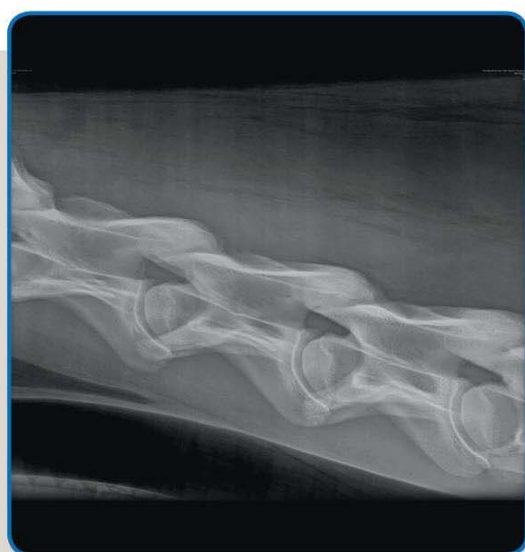
Wissenschaftliche Reihe der Klinik für Pferde

Herausgegeben von
Karsten Feige, Peter Stadler,
Harald Sieme, Bernhard Ohnesorge



Tanja Pudert

Die vergleichende Darstellbarkeit von knöchernen Veränderungen der zervikalen Facettengelenke mittels Röntgen, Ultrasonographie und Computertomographie beim Warmblutpferd



STIFTUNG TIERÄRZTLICHE HOCHSCHULE HANNOVER

40



Tanja Pudert

**Die vergleichende Darstellbarkeit von knöchernen
Veränderungen der zervikalen Facettengelenke
mittels Röntgen, Ultrasonographie und
Computertomographie beim Warmblutpferd**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2018

Zugl.: Hannover (TiHo), Univ., Diss., 2018

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2018

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2018

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9807-0

eISBN 978-3-7369-8807-1



Tierärztliche Hochschule Hannover

Die vergleichende Darstellbarkeit von knöchernen Veränderungen der zervikalen Facettengelenke mittels Röntgen, Ultrasonographie und Computertomographie beim Warmblutpferd

INAUGURAL – DISSERTATION
Zur Erlangung des Grades einer Doktorin
der Veterinärmedizin
- Doctor medicinae veterinariae -
(Dr. med. vet.)

vorgelegt von
Tanja Pudert
Soltau

Hannover 2018



Wissenschaftliche Betreuung: Prof. Dr. Stadler
Klinik für Pferde

1. Gutachter: Prof. Dr. Stadler
2. Gutachter: Prof. Dr. Fehr

Tag der mündlichen Prüfung: 17.05.2018



Meiner Familie



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	13
2	Literaturübersicht.....	15
2.1	Anatomie des Pferdehalses	15
2.1.1	Knochen der Halswirbelsäule.....	15
2.1.2	Gelenke der Halswirbelsäule	18
2.1.2.1	Atlantookzipitalgelenk.....	18
2.1.2.2	Atlantoaxialgelenk	19
2.1.2.3	Gelenke zwischen dem Axis und dem siebten Halswirbel.....	19
2.1.3	Bänder der Halswirbelsäule	20
2.1.3.1	Kurze Bänder	20
2.1.3.2	Lange Bänder.....	21
2.1.4	Neuroanatomie des Halses.....	21
2.2	Röntgenanatomie der Halswirbelsäule.....	24
2.3	Biomechanik des Halses	26
2.3.1	Statik des Halses	26
2.3.2	Dynamik des Halses	26
2.4	Symptome bei Erkrankungen der Halswirbelsäule	28
2.4.1	Exterieur, Haltung und Bewegung	28
2.4.2	Ataxie.....	29
2.4.3	Rittigkeitsproblematik.....	31
2.5	Klinische Untersuchung des Halses.....	32
2.6	Neurologische Untersuchung	34
2.7	Bildgebende Diagnostik an der Halswirbelsäule	37
2.7.1	Röntgen	37
2.7.1.1	Standardaufnahmen.....	37
2.7.1.2	Spezialaufnahmen.....	38
2.7.1.3	Befundung.....	39
2.7.1.4	Messungen.....	40
2.7.2	Ultrasonographie.....	44
2.7.2.1	Ultrasonographische Untersuchung an der Halswirbelsäule	44
2.7.2.2	Ultrasonographisch geleitete Punktion der Facettengelenke.....	47
2.7.3	Computertomographie (CT)	48



2.7.3.1	Computertomographie in der Pferdemedizin	48
2.7.3.2	Computertomographie der Halswirbelsäule.....	49
2.8	Erkrankungen der knöchernen Halswirbelsäule	51
2.8.1	Wirbelmissbildungen	51
2.8.2	Okzipitoatlantoaxiale Malformation	51
2.8.3	Cervicale Vertebrale Malformation.....	53
2.8.3.1	Cervicale Vertebrale Instabilität (CVI).....	57
2.8.3.2	Cervicale Statische Stenose (CSS)	58
2.8.4	Spondylolisthesis (Wirbelgleiten)	58
2.8.5	Osteochondrose.....	58
2.8.5.1	Osteochondrosis dissecans (OCD)	60
2.8.5.2	Subchondrale Zysten.....	61
2.8.6	Osteoarthrose	62
2.8.7	Frakturen und Fissuren	64
2.8.8	Luxation und Subluxation.....	67
3	Material und Methode.....	69
3.1	Probandengut.....	69
3.1.1	Probandengruppen	69
3.2	Klinische Untersuchungen.....	70
3.2.1	Klinische Allgemeinuntersuchung und Exterieur	70
3.2.2	Klinische Lahmheitsuntersuchung	70
3.2.3	Klinische Hals- und Rückenuntersuchung	70
3.2.4	Neurologische Untersuchung.....	72
3.3	Bildgebende Untersuchung	79
3.3.1	Röntgenologische Untersuchung	79
3.4	Ultrasonographische Untersuchung	83
3.5	Computertomographische Untersuchung	84
3.6	Auswertung	86
3.6.1	Befundung.....	87
3.6.1.1	Ultrasonographie	88
3.6.1.2	Röntgen.....	88
3.6.1.3	Computertomographie.....	88
3.6.2	Messungen	89
3.6.2.1	Latero-laterale Röntgenaufnahmen und sagittale CT-Schnittbilder	89



3.6.2.2	Tangentiale Röntgenaufnahmen und CT-Schnittbilder	92
3.6.2.3	Transversale CT-Schnittbilder	93
3.7	Statistische Auswertung	94
3.7.1	Patientendaten	94
3.7.2	Klinische Untersuchung	94
3.7.3	Befundungsscore	94
3.7.4	Messungen	95
4	Ergebnisse	97
4.1	Klinische Gruppen	97
4.2	Alter, Geschlecht und Rasse	97
4.3	Exterieur, Halsung, Stockmaß und Körpergewicht	99
4.4	Klinische Untersuchungen	100
4.4.1	Klinische Allgemeinuntersuchung	100
4.4.2	Klinisch Halsuntersuchung	100
4.4.3	Neurologischen Untersuchung	102
4.5	Pathoanatomische und histologische Untersuchung	104
4.6	Bildgebende Verfahren	105
4.7	Befundungsscore	107
4.7.1	Befundungsscore als Mittelwert	107
4.7.1.1	Inter- und Intra-Untersucher-Übereinstimmung	108
4.7.1.2	Seitenvergleich des Befundungsscores	110
4.7.1.3	Befundungsscore im Bezug zur Lokalisation und dem Verfahren	111
4.7.1.4	Score der tangentialen Röntgenprojektionen und der CT	113
4.7.1.5	Befundungsscore in Abhängigkeit von der Gruppe	114
4.7.2	Maximale Befundungsscore	114
4.8	Ergebnisse der Messungen	115
4.8.1	Intra- und Inter-Untersucher-Übereinstimmung	115
4.8.2	Röntgenologische Messungen	116
4.8.3	CT-Messungen	120
4.8.4	Vergleich der Messungen in der Röntgen- und CT-Untersuchung	122
4.8.5	Verhältnisse in der Röntgen- und CT-Untersuchung	124
4.9	Korrelation der Messungen und des Befundungsscores	126
4.9.1	Bezug der absoluten Messungen zu den Befundungsscore	126
4.9.2	Korrelation des Scores und der Verhältnisse	126



4.9.3	Korrelation des maximalen Befundungs- und des klinischen Scores..	126
4.10	Messungen der transversalen CT-Schnittbilder.....	127
4.10.1	Inter- und Intra-Untersucher-Übereinstimmung	127
4.10.2	Messungen im Bezug zur anatomischen Lokalisation	128
4.10.1	Messungen im Bezug zur klinischen Gruppe.....	129
4.10.2	Verhältnisse im Bezug zur klinischen Gruppe	130
4.10.3	Bezug zwischen Befundungsscore und Messungen.....	130
5	Diskussion	132
5.1	Material	133
5.1.1	Rassen.....	133
5.1.2	Gruppen.....	133
5.1.3	Alter	134
5.1.4	Geschlechtsverhältnis	135
5.1.5	Exterieur.....	136
5.2	Methode	136
5.2.1	Klinische Halsuntersuchung.....	136
5.2.2	Neurologische Untersuchung.....	137
5.2.3.1	Röntgenologische Untersuchung	138
5.2.3.1.1	Röntgenmarker	140
5.2.3.1.2	Qualität der Röntgenaufnahmen	141
5.2.3.2	Ultrasonographische Untersuchung	141
5.2.3.3	Computertomographische Untersuchung	142
5.3	Diskussion der Ergebnisse	143
5.3.1	Subjektive Befunderhebung (Befundungsscore).....	143
5.3.2	Korrelation der Befunde mit der Pathologie	146
5.3.3	Korrelation des Scores mit den klinischen Symptomen	147
5.3.4	Objektive Befunderhebung (Messungen).....	149
5.3.5	Korrelation der absoluten Messungen mit den Symptomen.....	151
5.3.6	Korrelation der Verhältnisse mit den klinischen Symptomen	152
5.3.7	Vergleich der Messungen im Röntgen und CT	153
5.3.8	Transversale CT-Messungen.....	154
5.3.9	Korrelation der Messungen mit dem Befundungsscore	155
5.3.10	Korrelation der Bildgebung mit den klinischen Symptomen.....	155
6	Zusammenfassung	159



Inhaltsverzeichnis

7	Summary	161
8	Literaturverzeichnis	163
9	Anhang	193
10	Danksagung.....	199

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	Grad
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
C1 bis C7	1. bis 7. Halswirbel (Cervical Vertebra)
ca.	circa
cm	Zentimeter
Cn	Nervus Cervicalis
CSS	Cervicale Statische Stenose
CVI	Cervicale Vertebrale Instabilität
CVM	Cervicale Vertebrale Malformation
evtl.	eventuell
FW	Flexionswinkel
G	Gaugen
ggr.	geringgradig
hgr.	hochgradig
HU	Hounsfield-Einheiten
HWS	Halswirbelsäule
inkl.	inklusive
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
kV	Kilovolt
Lig.	Ligamentum
mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekundeprodukt
Max.	Maximum
MDF	Minimaler Diameter Flexion
MSD	minimale sagittale Durchmesser
mg	Milligramm
mgr.	mittelgradig
MHz	Megahertz



Abkürzungsverzeichnis

Min.	Minimum
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
ms	Millisekunde
MW	Mittelwert
MZP	Messzeitpunkt
n	Anzahl
N.	Nervus
n.s.	nicht signifikant
Nr.	Nummer
OAAM	Okzipitoatlantoaxiale Malformation
obB	ohne besonderen Befund
OC	Osteochondrose
OCD	Osteochondrosis dissecans
Proc.	Processus
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
Th 1	1. Brustwirbel (thoracis vertebrae)
v.a.	vor allem
z.B.	zum Beispiel
κ	Kappa
ρ	Rho
τ	Tau



1 Einleitung

Indikationen für die bildgebende Diagnostik an der equinen Halswirbelsäule (HWS) stellen beispielsweise abnorme Kopf-Hals-Haltungen, Rittigkeitsprobleme, spinale Ataxien oder Traumata dar (WHITWELL u. DYSON 1987; DYSON 2011; GERHARDS et al. 2011; BUTLER et al. 2017).

Zur bildgebenden Routinediagnostik im Bereich der Halswirbelsäule werden latero-laterale Röntgenaufnahmen erstellt (WHITWELL u. DYSON 1987; BUTLER et al. 2017). Bei nicht eindeutigen Befunden auf den Standardaufnahmen können zusätzlich Tangentialaufnahmen der Halswirbelsäule angefertigt werden (UELTSCI 2004; LAUTENSCHLÄGER et al. 2009; WITHERS et al. 2009a). Auch die ultrasonographische Untersuchung der Halswirbelsäule ist beschrieben und dient als Ergänzung zur röntgenologischen Diagnostik (PLÄTZER 1998; BERG et al. 2003; LAUTENSCHLÄGER 2007). In den vergangenen Jahren hat die computertomographische Untersuchung in der Pferdemedizin zunehmend an Bedeutung gewonnen (PUCHALSKI 2007). Limitierender Faktor für die computertomographische Untersuchung der Halswirbelsäule adulter Pferde war bisher vornehmlich der Durchmesser der Gantry des Computertomographen, der es lediglich ermöglichte die kraniale Halswirbelsäule des Pferdes zu untersuchen (TIETJE 1996; VAN BIERVLIET et al. 2006; VAN BIERVLIET 2007). Durch den technischen Fortschritt stand der vorliegenden Studie ein Computertomograph mit einem Gantrydurchmesser von 85cm (Philips Brilliance Big Bore) und einem Tisch zur Lagerung von schweren Patienten zur Verfügung, welcher eine Untersuchung der gesamten Halswirbelsäule erlaubte.

Knöcherne Veränderungen der zervikalen Facettengelenke können beim Pferd sehr vielseitig sein, müssen jedoch nicht zwingend mit einer klinischen Symptomatik einhergehen (WHITWELL u. DYSON 1987; HUGHES 2007; DOWN u. HENSON 2009). Daher ist die Interpretation der radiologischen Befunde der Halswirbelsäule schwierig, weil die klinische Bedeutung der Befunde häufig unklar bleibt und der Kenntnisstand über die übliche Beschaffenheit der knöchernen Halswirbelsäule bisher gering ist. In vorangegangenen Studien wurden einige Messtechniken und Referenzwerte zur Objektivierung von röntgenologischen Befunden etabliert. Diese wurden jedoch nicht validiert. Für die computertomographische Untersuchung



wurden bisher insgesamt nur wenige Studien veröffentlicht. Erste computertomographische Messungen bei adulten, lebenden Pferden wurden im Bereich des dritten und vierten Halswirbels durchgeführt und Standardwerte beschrieben (SCHÖNGART 2017).

Ziel der vorliegenden Studie war es, einen Vergleich zwischen der röntgenologischen, der ultrasonographischen und der computertomographischen Untersuchung der Halswirbelsäule mittels einer Graduierung der knöchernen Befunde einerseits und andererseits mittels Messwerten zu erstellen und diese Ergebnisse in Bezug zur klinischen Symptomatik zu stellen. Dazu wurden die radiologischen Befunde von klinisch gesunden Pferden sowohl mit den Befunden von orthopädisch erkrankten Pferden als auch mit denen von Pferden mit spinaler Ataxie verglichen.

Vergleichende Studien über die diagnostische Aussagekraft dieser drei bildgebenden Verfahren liegen für die Halswirbelsäule des Pferdes bisher nicht vor. Des Weiteren sollen die etablierten röntgenologischen Messmethoden unter Einbeziehung von röntgenologischen Markern und der Computertomographie als Goldstandard validiert und für die computertomographische Untersuchung erste Orientierungswerte für das Warmblutpferd erhoben werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie des Pferdehalses

2.1.1 Knochen der Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule (HWS) des Pferdes wird durch sieben knöcherne Wirbel (*Vertebrae cervicales*) (C1 bis C7) gebildet. Die ersten beiden Halswirbel -Atlas und Axis- unterscheiden sich im Aufbau von den kaudal folgenden Wirbeln, welche eine sehr ähnliche Grundstruktur aufweisen (WISSDORF et al. 2010) (siehe Abb. 1).

Der knöcherne Grundbau der Wirbel besteht aus dem Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*), dem Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*) sowie den verschiedenen Wirbelfortsätzen (*Processus vertebrae*) (WISSDORF et al. 2010).

Der Axis ist der längste Halswirbel. Die Länge der Wirbelkörper von C3 bis C7 ist von kranial nach kaudal hin abnehmend (NICKEL et al. 2004a; LIEBICH u. KÖNIG 2012) (siehe Abb.2).

Die unterschiedlichen Wirbelfortsätze dienen der Artikulation mit den benachbarten Wirbeln und bieten diversen Bändern und Muskeln eine Ansatzfläche (LIEBICH u. KÖNIG 2012). Die Dornfortsätze sind an der Halswirbelsäule nur rudimentär ausgebildet. Lediglich am 7. Halswirbel ist ein kurzer *Processus spinosus* vorhanden (NICKEL et al. 2004a), welcher in seiner Form unterschiedlich ausgeprägt sein kann (SANTINELLI et al. 2016). Die Querfortsätze (*Processus transversi*) bestehen aus zwei Anteilen; den nach kranial gerichteten *Tubercula ventrales* und den *Tubercula dorsales*, welche nach kaudal ausgezogen sind (NICKEL et al. 2004a). Als Besonderheit des sechsten Halswirbels ist die *Lamina ventralis* zu erwähnen, die sich als zusätzliche Verdickung kaudo-ventral am Wirbelkörper befindet (WISSDORF et al. 2010) (siehe Abb.1). Am siebten Halswirbel kann es zu einer Transposition der *Lamina ventralis* des sechsten Halswirbels kommen (SANTINELLI et al. 2016). Auch eine Apposition der *Lamina ventralis* des Wirbels C6 ist beschrieben (WITHERS et al. 2009a).

Zur Artikulation zwischen den Wirbeln sind die *Processus articulares* beidseits sowohl kranial als auch kaudal angelegt. Diese werden im klinischen



Sprachgebrauch als Facettengelenke bezeichnet (WISSDORF et al. 2010). Die Gelenkfläche, *Facies articularis cranialis*, ist nach dorso-medial und die *Facies articularis caudalis* nach ventro-lateral ausgerichtet (WISSDORF et al. 2010). Des Weiteren werden die kraniale und kaudale Fläche der Wirbelkörper (*Extremitas cranialis* und *Extremitas caudalis*) benachbarter Wirbel mittels einer Zwischenwirbelscheibe spaltfrei verbunden (NICKEL et al. 2004a).

Der dorsale Wirbelbogen bildet zusammen mit dem ventral gelegenen Wirbelkörper das Wirbelloch (*Foramen vertebrale*). Aus der Gesamtheit der Wirbellöcher wird der Wirbelkanal (*Canalis vertebralis*) gebildet, der das Rückenmark und dessen Häute schützt (WISSDORF et al. 2010; LIEBICH u. KÖNIG 2012). Kranial und kaudal des Ursprunges des Wirbelbogens befindet sich lateral eine knöcherne Einkerbung. Diese *Incisura vertebralis cranialis et caudalis* zweier benachbarter Wirbel bilden zusammen das *Foramen intervertebrale*, durch das die Rückenmarksnerven in die Peripherie austreten (LIEBICH u. KÖNIG 2012) (siehe Abb. 1).

Wie erwähnt, weisen der erste und zweite Halswirbel, aufgrund ihrer Funktion als Kopfbeweger, eine andere knöcherne Struktur auf, als die bisher beschriebene Grundform (NICKEL et al. 2004a; WISSDORF et al. 2010).

Der Atlas, welcher auch als Kopfträger bezeichnet wird, hat die Grundform eines knöchernen Ringes. Ihm fehlt der Wirbelkörper und der Ring wird durch einen *Arcus dorsalis* und einen *Arcus ventralis* mit dem *Tuberculum ventrale* gebildet. Als rudimentärer Dornfortsatz fungiert das *Tuberculum dorsale* auf dem *Arcus dorsalis* (NICKEL et al. 2004a; WISSDORF et al. 2010; LIEBICH u. KÖNIG 2012).

Die Querfortsätze des ersten Halswirbels werden als *Alae atlantes* bezeichnet (LIEBICH u. KÖNIG 2012). Sie sind nach ventral gebogen und werden von drei nutritiven Löchern durchbohrt: *Foramen vertebrale laterale*, *Foramen alare* und dem *Foramen transversarium* (NICKEL et al. 2004a). Am Atlas sind kranial und kaudal je eine Fläche zur gelenkigen Verbindung zu finden. Zum einen die *Fovea articularis cranialis*, welche durch die *Fossa synovialis* getrennt wird. Sie dient zur Artikulation mit dem Okziput. Und zum anderen die *Fovea articularis caudalis*, welche ventral in die *Fovea dentis* übergeht und dort mit dem *Dens Axis* in Verbindung steht (NICKEL et al. 2004a).

Der zweite Halswirbel wird auch als Axis, Umdreher oder *Epistropheus* bezeichnet (NICKEL et al. 2004a). Auffällig ist bei diesem Wirbel ein dorsal ausgeprägter kammförmiger *Processus spinosus*, welcher eine kaudale Gabelung aufweist. An der

ventralen Seite schließt sich kaudal die *Facies articularis caudalis* für die Artikulation mit dem dritten Halswirbel an (NICKEL et al. 2004a). Kranial des langen Wirbelkörpers ist ein schaufelförmiger Zapfen, der *Dens Axis*, an dessen Seiten sich transversal die *Facies articulares craniales* angliedern, ausgebildet (NICKEL et al. 2004a; WISSDORF et al. 2010). Darüber nimmt der Axis Verbindung zum Atlas auf (NICKEL et al. 2004a). Die Querfortsätze des Axis sind nur sehr kurz ausgebildet und werden kranial an der Basis vom *Foramen vertebrale laterale* durchbohrt, durch welches Nervenfasern aus dem Rückenmark in die Peripherie durchtreten (NICKEL et al. 2004a).

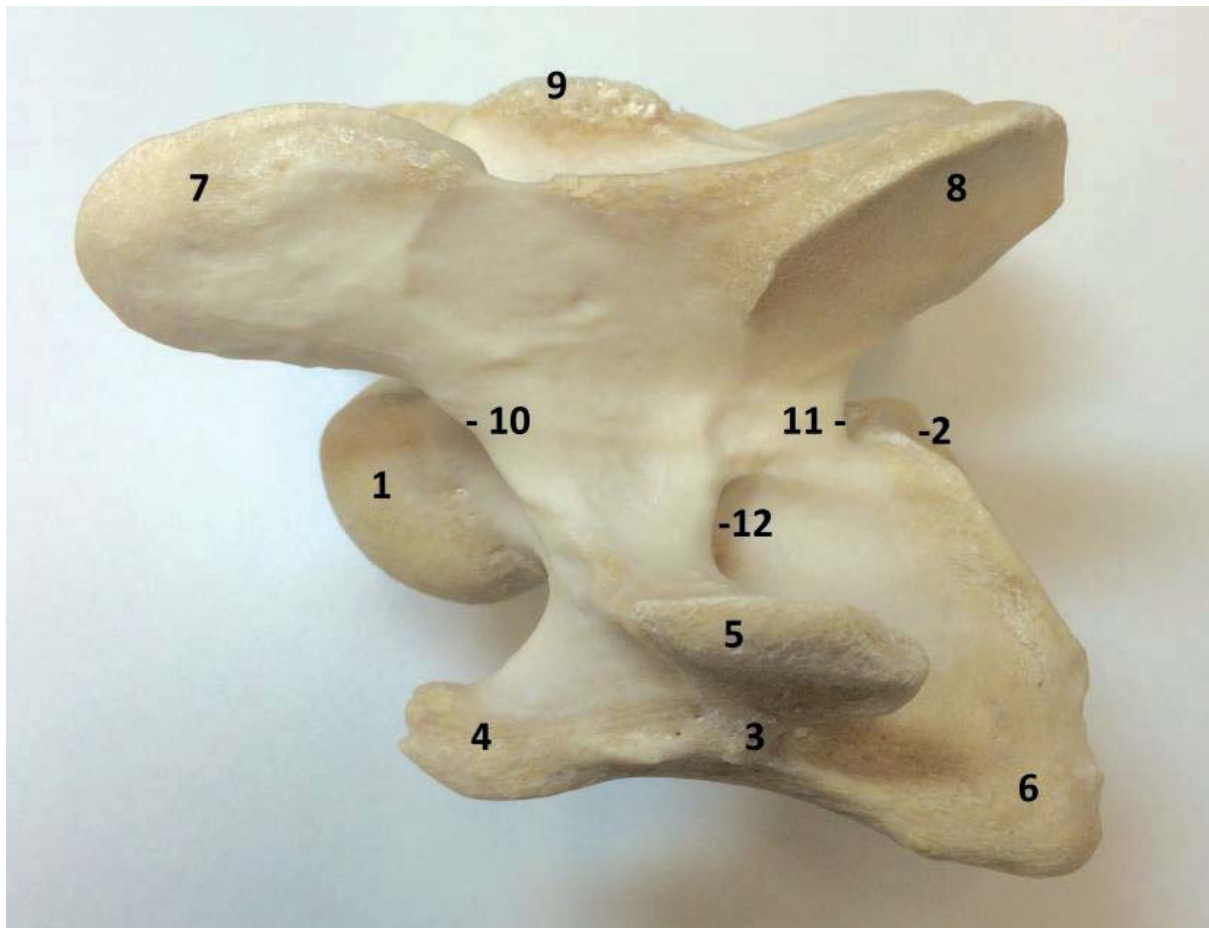


Abbildung 1: anatomisches Präparat des sechsten Halswirbels; Ansicht von lateral

1: Extremitas cranialis 2: Extremitas caudalis 3: Processus transversus 4: Tuberculum ventrale
5: Tuberculum dorsale 6: Lamina ventralis 7: Processus articularis cranialis 8: Processus articularis caudalis 9: rudimentärer Processus spinosus 10: Incisura vertebralis cranialis 11: Incisura vertebralis caudalis 12: Foramen transversarium



2.1.2 Gelenke der Halswirbelsäule

Einerseits erfolgt die Verbindung der einzelnen Wirbel mittels sogenannter Zwischenwirbelfugen (*Symphyses intervertebrales*) und andererseits durch die dorsal ausgebildeten synovialen Facettengelenke (NICHEL et al. 2004b).

Die Verbindung zwischen der *Extremitas cranialis (Caput vertebrae)* und der *Extremitas caudalis (Fossa vertebrae)* zweier aufeinanderfolgender Wirbelkörper wird durch eine Zwischenwirbelscheibe (*Discus intervertebralis*) vermittelt. Diese besteht aus einem zentral gelegenen Gallertkern (*Nucleus pulposus*) und einem peripheren faserknorpeligen *Anulus fibrosus* (NICHEL et al. 2004b; LIEBICH u. KÖNIG 2012). Die dorsalen synovialen Intervertebralgelenke werden auch Facettengelenke genannt, welche von den *Processus articulares craniales et caudales* gebildet werden. Es sind Schiebegelenke mit weiter Gelenkkapsel, die eine große Bewegungsmöglichkeit zulassen (WISSDORF et al. 2010).

Aufgrund der unterschiedlichen anatomischen Grundformen und der unterschiedlichen Funktionen, sind die ersten beiden Gelenke anders aufgebaut als die nachfolgenden Gelenke (NICHEL et al. 2004b).

2.1.2.1 Atlantookzipitalgelenk

Die *Articulatio atlantooccipitalis* verbindet die Kondylen des Hinterhauptsbeins in je einer eigenen Gelenkkapsel mit der *Fovea articularis cranialis* des ersten Halswirbels (NICHEL et al. 2004b; WISSDORF et al. 2010). Im Alter können diese beiden Kapseln eine Verbindung aufweisen (NICHEL et al. 2004b). Das erste Kopfgelenk umfasst somit zwei Ellipsoidgelenke und ermöglicht die Streckung und Beugung des Kopfes bei einer gleichzeitig eingeschränkten Möglichkeit für Rotations- und Seitwärtsbewegungen (NICHEL et al. 2004b).

Die unterstützenden Gelenkbänder sind neben den *Ligamenta lateralia*, die von dem *Processus paracondylaris* des Okziput zu den Atlasflügeln verlaufen, die *Membrana atlantooccipitalis ventralis* und die *Membrana atlantooccipitalis dorsalis*. Diese überspannen das *Spatium atlantooccipitalis* und vereinigen sich mit der Gelenkkapsel (NICHEL et al. 2004b; WISSDORF et al. 2010).