

H. Biedermann · R. Sacher · Antwerpen

Formvarianten des Atlas als Hinweis auf morphologische Abweichungen im Lenden-, Becken- und Hüftbereich

Zusammenfassung

Durch den Vergleich von HWS-Aufnahmen mit Bildern der Lenden-Becken-Hüft-Region wurde deutlich, dass sich eine Vergesellschaftung von Formvarianten des Atlas wie Hypoplasien des Arcus dorsalis oder Bogenschlussstörungen, mit Abweichungen im lumbosakralen Übergang und morphologischen Varianten der Hüftgelenke nachweisen lässt. Die klinische Relevanz dieser Trias – für die der Begriff ALF (Atlas – Lumbal – Femur) vorgeschlagen wird – ist dargestellt.

Schlüsselwörter

Atlas · Formvarianten · Okzipito-zervikaler Übergang · Kopfgelenke · Lumbosacraler Übergang · Fehlstatik · Hüftdysplasie · Funktionelle Röntgenauswertung · ALF

In jüngerer Zeit werden komplexere bildgebende Verfahren wie CT oder MRI immer häufiger als radiologische Mittel der ersten Wahl bei Wirbelsäulenbeschwerden eingesetzt. Es ist gar nicht so selten, dass ein Patient mit chronischen Rückenschmerzen über ein ganzes Arsenal dieser Aufnahmen verfügt, klassische Bilder der Wirbelsäule aber fehlen. Während die tomographischen Verfahren sehr gute Einblicke in die Feinstruktur erlauben, gelingt es mit diesen Bildern aber nicht, sich einen Eindruck von der Statik und Dynamik der Wirbelsäule zu verschaffen. Darüber hinaus erlauben die „alten“ Röntgenbilder nicht selten Zusammenhänge zu erkennen, die sich beim Betrachten von CT oder MRI nicht ergeben.

Die röntgenologische Untersuchung der beiden Wirbelsäulenpole gehört bei entsprechend symptomatischen Patienten unserer konservativ orthopädisch und manualmedizinisch ausgerichteten Praxis zum Standard, wobei wir häufig nur Röntgenbilder der Wirbelsäulenpole anfertigen. Diese Aufnahmen der Halswirbelsäule (HWS) und des Beckengürtels bieten neben den morphologischen Informationen auch einen Einblick in die statische Situation des Patienten. Bei der Aufnahme des Beckenringes im Stehen wird darauf geachtet, die Lendenwirbelsäule möglichst bis L1 darzustellen; dazu wird der 35×40-Film hochkant benutzt. Durch diese Methodik kann der Informationsgehalt der LWS-Aufnahme und der Beckenübersicht in einem Bild gewonnen werden, was einen wichtigen Strahlenschutzfaktor

darstellt. Wir bezeichnen diese Aufnahme als LBH-Bild (Lenden/Becken/Hüfte) [11].

Die beiden Übergangsregionen der Wirbelsäule liegen also nicht selten – zumindest bei Erwachsenen – gleichzeitig zur Auswertung vor und hängen entsprechend nebeneinander am Bildbetrachter.

Schon vor Jahren fiel dabei auf, wie häufig eine Hypoplasie des Arcus dorsalis atlantis mit lumbosakralen Übergangsstörungen und Asymmetrien verbunden war und auch, dass sich darüber hinaus bei diesen Patienten häufig morphologische Besonderheiten der Hüftgelenke fanden, meist einseitig flache Hüftgelenke.

Relativ früh hatte sich praxisintern bewährt, bei diesen Fällen über die obere Zervikalregion hinauszuschauen, um der klinischen Situation besser gerecht zu werden. Beim Untersuchen und vor allem bei der Nachsorge von Patienten, bei denen wir Anhaltspunkte für diese Trias fanden, erwies sich ein Kürzel als hilfreich. Hierfür bot sich der Begriff ALF (Atlas – Lumbal – Femur) an.

Um der Frage nachzugehen, inwieweit dies ein validierbares Phänomen ist, werteten wir 1 Jahr lang systematisch alle Röntgenbilder aus, bei denen eine Hypoplasie des Atlas zu beobachten war.

© Springer-Verlag 2002

Dr. Heiner Biedermann
Victor Jacobslei 18,
B-2600 Antwerpen-Berchem,
E-Mail: hbie@manmed.org

Parallel dazu wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, die aber relativ unergiebig blieb. In den „klassischen“ Standardwerken (z. B. [33, 34]) werden diese Formvarianten kaum zur Sprache gebracht; man konzentriert sich auf die schwereren Abweichungen wie Aplasie, Fusionen etc. Eine Hypoplasie allein wird meist gar nicht als erwähnenswert eingestuft, Wackenheim [35] spricht kennzeichnenderweise von „harmonischer Hypoplasie des Atlas“.

Einer der wenigen direkten Hinweise fand sich bei Köhler und Zimmer: „Man nehme deshalb Befunde, wie schmalen hinteren Atlasbogen oder ähnliches, ernst und kontrolliere eingehend auf weitere röntgenologische Varietäten und Anomalien. Es könnten sonst gering ausgeprägte klinische und neurologische Symptome der Abklärung entgegen“ [15].

Atlashypoplasie: Ermittlung der Ausgangswerte

Um die durchschnittliche Höhe des Arcus dorsalis atlantis einer Querschnittspopulation zu ermitteln, wurden die archivierten Halswirbelsäulen-Röntgenaufnahmen (Aufnahmetechnik nach Gutmann [9]) von 718 Patienten analysiert und darüber hinausgehende Besonderheiten der lumbosakralen Übergangsregion sowie der Hüften – soweit vorliegend – vermerkt. Verwendet wurden Stichproben zweier konservativ tätiger orthopädischer Praxen. In unserer Praxis wurde eine altersspezifische Zufallspopulation (N=550) gezogen und in einer zweiten Praxis (orthopädische Landpraxis, N=168) eine fortlaufende 6-Monats-Stichprobe ausgewertet. Dabei erfolgte eine geschlechtsspezifische Einteilung in 3 Altersgruppen (5–9 Jahre, 10–16 Jahre, über 16 Jahre).

Die Höhe des hinteren Atlasbogens wurde im seitlichen Röntgenbild ermittelt, gemessen an der dünnsten Stelle des Arcus dorsalis atlantis, jedoch nicht in Höhe eines vorhandenen Sulcus arteriae vertebralis. Die Messgenauigkeit wurde aus praktischen Erwägungen auf Millimeter beschränkt und auf volle Millimeter aufgerundet. Röntgenaufnahmen, die eine exakte Messung der Höhe des hinteren Atlasbogens nicht zuließen (Verkipfung unten/oben, Verdrehung, Verprojizierung etc.) wurden nicht berücksichtigt.

Kombinierte Dysplasien (ALF) in einer Stichprobe von 180 Erwachsenen

Auf der Basis der so ermittelten Kriterien für eine Hypoplasie des Arcus dorsalis atlantis erfolgte die Überprüfung derartiger Fälle auf das Vorhandensein kombinierter Dysplasien im Lenden-Becken-Hüft-Bereich anhand einer halbselektierten Zufallsstichprobe der Jahrgänge 1948/49, 1957/58, 1966/67 und 1977/78.

Die Erstdurchsicht aller hier erfassten 180 Fälle (73 männlich, 107 weiblich; jeweils mit vorhandenen Aufnahmen von HWS und LBH) berücksichtigte lediglich die Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule, wobei nach morphologischen Auffälligkeiten (BSS etc.) und/oder dem Vorliegen einer Atlashypoplasie gesucht wurde. Bei positivem radiologischen Befund („A“) erfolgte die weitere Analyse der LBH-Region (Lenden/Becken/Hüftregion, Aufnahmetechnik; [11]). Hier interessierten neben dem Vorliegen von Dysplasien oder Asymmetrien im lumbosakralen Übergang auch klinische Kriterien wie Fehlstatik („L“).

Dabei wurde eine evtl. nicht horizontal verlaufende Tragebene des lumbosakralen Übergangs in Bezug auf den tragenden Hüftkopfschwerpunkt vermessen und so die rechnerisch notwendige Ausgleichsversorgung ermittelt. Fehlstatiken <1 cm wurden als leichte Fehlstatik und jene ≥ 1 cm als deutliche Fehlstatik eingestuft.

Da bei den Voruntersuchungen insbesondere Minusvarianten der Hüftüberdachung auffielen, beschränkten wir hier die Datenerhebung auf die Erfassung des CE-Winkels nach Wiberg. In Anlehnung an die Stadieneinteilung für den AC-Winkel nach Hilgenreiner [26] erfolgte die

Bewertung nicht vorrangig nach klinischen Kriterien, sondern entsprechend der Standardabweichung vom altersspezifischen Mittelwert unter statistischen Gesichtspunkten. An der Grenze der einfachen Standardabweichung besteht somit ein leichtes, zwischen einfacher und doppelter Standardabweichung ein mittleres und außerhalb der doppelten Standardabweichung ein deutliches Hüftüberdachungsdefizit („F“).

Ergaben sich kombinierte Fehlbildungen an beiden Wirbelsäulenpolen wurden diese unter „AL“ aufgelistet. Gleichzeitige Auffälligkeiten von Halswirbelsäule und Hüfte sind unter „AF“ aufgeführt. Lagen derartige morphologische Normabweichungen in allen drei Regionen vor, wurden diese unter „ALF“ zusammengefasst.

Ergebnisse

Definition der Atlashypoplasie

Die durchschnittlichen Höhen des hinteren Atlasbogens ergeben sich aus Tabelle 1. Entsprechend der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ergeben sich geschlechtsspezifische Unterschiede in der durchschnittlichen Höhe des hinteren Atlasbogens (Abb. 1). Die schmalste Stelle des hinteren Atlasbogens war in der Regel in Höhe des Übergangs vom medialen zum dorsalen Drittel der Atlaslänge zu finden. Dabei erscheint der 1. HWK beim männlichen Geschlecht deutlich kompakter. Mit zunehmendem Alter wird diese Diskrepanz noch deutlicher. Lag die Differenz bei Jungen und Mädchen bis zum 9. Lebensjahr noch bei 0,5 mm, so ergibt sich in der Erwachsenengruppe eine Diskrepanz von 1 mm. Ursache hierfür dürften das unter-

Tabelle 1
Höhe des Arcus dorsalis einer Stichprobe (N=718)

	Anzahl Fälle	Höhe Arcus dorsalis in mm							Durchschnitt	
		2	3	4	5	6	7	8		9
Männlich 5–9 Jahre	98		7	20	49	19	3		4,9	
Weiblich 5–9 Jahre	78	1	5	38	27	6	1		4,4	
Männlich 10–16 Jahre	96		3	17	45	21	8	2	5,2	
Weiblich 10–16 Jahre	95	2	9	22	46	16			4,7	
Männlich >16 Jahre	149		1	7	27	79	25	6	4	6
Weiblich >16 Jahre	202	1	18	35	98	37	9	4		5

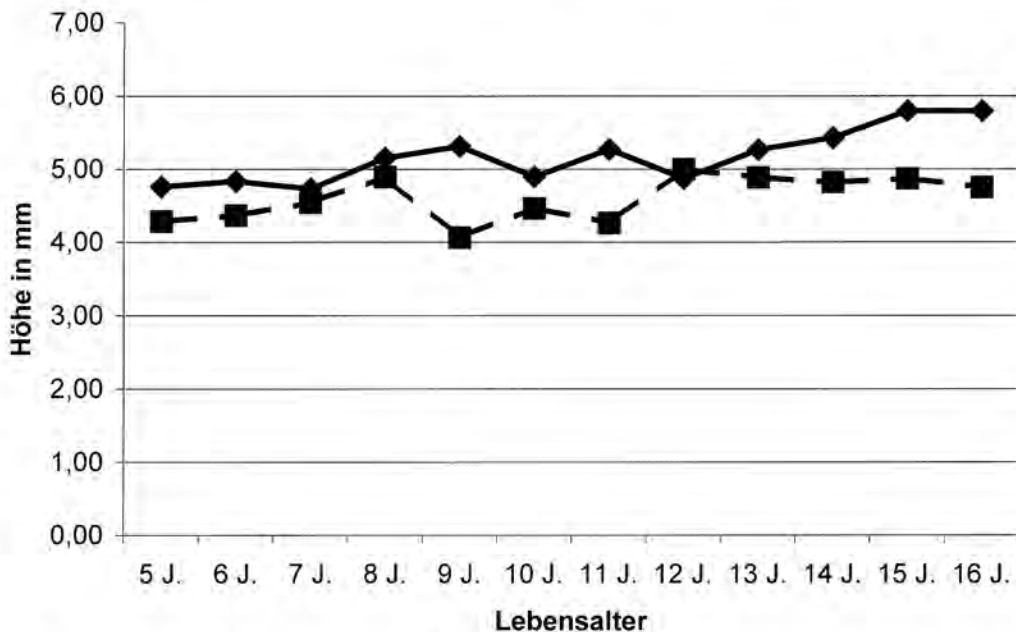


Abb. 1 ▲ Durchschnittliche Atlashöhe (Jungen: ◆, Mädchen: ■)

schiedliche Längenwachstum und die verschiedenen Kopfgrößen sein.

Die Definition der Atlashypoplasie bei schmalen hinteren Atlasbogen erfolgt nach alters- und geschlechtsspezifischen Gesichtspunkten. Dabei wurden neben statistischen Überlegungen auch klinisch-radiologische Erwägungen berücksichtigt. Als zweckmäßig erschien die Einteilung in grenzwertige und ausgeprägte Formen der Atlashypoplasie.

Entsprechend der Normalwerte ergibt sich folgende Definition der Atlashypoplasie:

- ▶ Kinder von 5–16 Jahren:
 <4 mm = grenzwertig,
 <3 mm = ausgeprägt;
- ▶ Frauen über 16 Jahre:
 <4 mm = grenzwertig,
 <3 mm = ausgeprägt;
- ▶ Männer über 16 Jahre:
 <5 mm = grenzwertig,
 <4 mm = ausgeprägt.

Aufgrund der statistischen Verteilung der Atlashöhen bei Mädchen unter 9 Jahren wurde auf die Einteilung in grenzwertige Atlashypoplasie verzichtet. Nach dieser Definition ergeben sich bei 175 Fällen grenzwertige oder ausgeprägte Atlashypoplasien (82 männlich und 93 weiblich). Der Anteil von ausgeprägten Atlashypoplasien am untersuchten Gesamtkollektiv beträgt 7,5%.

Hintere Bogenschlussstörungen des Atlas (N=33) fanden sich in 4,6% aller Fälle, bei 5 männlichen und 8 weiblichen Probanden waren diese mit einer Atlashypoplasie kombiniert. In der Altersgruppe der 5- und 6-jährigen (N=76) bestanden in 3 Fällen derartige dysraphische Besonderheiten. Jüngste Kinder mit einer Spina bifida atlantis waren zwei 6-Jährige und ein 5-Jähriger. Die Häufigkeit von hinteren Bogenschlussstörungen wird in der Literatur unterschiedlich angegeben. In röntgenologischen Studien schwanken die diesbezüglichen Angaben zwischen 0,84% [36] und 7,25% [38].

Kirschbichler beschrieb die hintere Bogenschlussstörung bei jungen Kindern als physiologisch, nach seiner Auffassung erfolgt der Bogenschluss erst im Alter von 4–6 Jahren [13]. Im Widerspruch dazu stehen unsere Untersuchungsergebnisse, wobei in der Altersgruppe der 5- und 6-Jährigen lediglich 4% derartige dysraphische Zeichen aufwiesen und damit im Durchschnitt einer Querschnittspopulation liegen.

Formvarianten der beteiligten anatomischen Strukturen

Atlas

Die Atlashypoplasie lässt sich in 2 Formen differenzieren [15, 34]:

- ▶ Hypoplasie des vorderen Atlasbogens, die nicht selten mit „kompensatorischer“ Hypertrophie des hinteren Atlasbogens einhergeht;
- ▶ Atlashypoplasie mit schmalen hinteren Atlasbogen, die gelegentlich mit Hypertrophie des Arcus ventralis kombiniert ist.

Über kombinierte Hypoplasien der vorderen und hinteren Atlaspange liegen unseres Wissens keine Berichte vor. Berücksichtigt man jedoch Fälle mit kompletter Agenesie des 1. Halswirbels, so ist die Existenz einer solchen Dysplasie durchaus wahrscheinlich.

Der hintere Atlasbogen kann ein- oder beidseits hypoplastisch sein [16]. Andere Autoren sehen ausgeprägte Formen der Hypoplasie des posterioren Bogenschlenkels als graduelle Vorstufe der Atlashypoplasie an [32] und verweisen auf darüber hinausgehende Fehlbildungen wie eine Kombination mit einem Os odontoideum.

Bogduk [2] sowie Riedel et al. [29] vertreten die Ansicht, dass derartige Anomalien die zervikale Statik stören können und so zur Ursache von Kopfschmerzen werden. Unserer Erfahrung nach ist es aber in der Regel effektiver, die – klinisch oft schwer feststellbare – lumbale Fehlstatik mit in die Überlegungen einzubeziehen.

Zur Aufdeckung begleitender ligamentärer Instabilitäten sollten bei ent-

sprechender Klinik Funktionsaufnahmen durchgeführt wurden. Bei erfolgreicher Therapie – d. h. Beseitigung etwaiger Funktionsstörungen und Haltungshygiene mittels Schrägpult – kann meist auf eine weiterführende Diagnostik verzichtet werden [10]. Der Begriff Atlashypoplasie in Bezug auf zervikale Myelopathien [12, 22, 24, 27, 37] bezieht sich eher auf kurze hintere Atlasbögen, die möglicherweise mit hypoplastischen vorderen Atlasbögen und umgekehrt einhergehen und so zur Kompression der nervalen Strukturen führen.

Lumbosakraler Übergang

Die Formvarianten am lumbosakralen Übergang weisen ein sehr vielfältiges Bild auf. Neben den reinen Asymmetrien – d. h. morphologisch unauffälligem präsakralen Wirbel und schiefer sakraler Trageebene – finden sich zahlreiche weitere Varianten. Die häufigsten sind Bogenschlussstörungen der beteiligten Wirbel (d. h. LWK5 und S1) sowie Lum-balisation/Sakralisation in allen Übergangsformen. Dabei können diese dann mit einer Fehlstatik verbunden sein. Es gibt aber auch Fälle, bei denen sich diese Übergangsstörung symmetrisch ausgebildet hat. Dabei ist als zusätzlicher Aspekt die Artikulation zwischen dem verplumpten Querfortsatz mit dem Ilium zu überprüfen. Dies führt – vor allem bei einseitiger Ausbildung – zu einer deutlichen Veränderung der Biomechanik in diesem Bereich.

Bei symmetrischer Ausbildung führt dies nicht zu den überregional wirksamen Störungen einer Fehlstatik, sondern „nur“ je nach Ausbildung dieser Übergangsvariante zu einer mehr oder weniger starken Labilisation des lumbosakralen Scharniers.

Hüftregion

Ähnlich wie am lumbosakralen Übergang finden sich bei der Beurteilung der Hüftregion 2 Grundtypen: zum einen rein statisch relevante Veränderungen – d. h. Beinlängendifferenzen – zum anderen morphologische Varianten mit und ohne Auswirkungen auf die Statik.

Die Implantation des Femurkopfes im Becken ist sehr variabel und im Wesentlichen durch die Einbautiefe des Hüftkopfes charakterisiert. Ein nicht ausreichend tiefer Einbau des Femurkopfes

führt zu einer ungünstigeren Kraftübertragung zwischen Bein und Becken und damit zu einer Fehl- bzw. Überbelastung der betroffenen Strukturen. Dies ist meist als Erstes an einer Verstärkung der Kalksalzdichte in der Belastungszone des Femurkopfes sichtbar. Die Pfannendachsklerosierung ist für sich allein noch kein klinisch relevanter Befund, sollte aber bei der Untersuchung die Aufmerksamkeit auf das betroffene Hüftgelenk und die zugehörigen Kennmuskeln lenken. Lokal findet sich bei mangelhaft überdachten Hüften in der kompensierten Phase meist eine Überbeweglichkeit, vor allem bei der Prüfung der Innenrotation. Diese mündet nicht selten bei Einsetzen der Überbelastungsbeschwerden in ein Beweglichkeitsdefizit. So ist es ohne röntgenologische Untersuchung in beiden Fällen fast unmöglich, zwischen rein funktionellen und kombinierten morphologischen Befunden zu unterscheiden. In diesen Fällen empfiehlt es sich, relevante Muskelgruppen wie die Adduktoren, den Iliopsoas und die am Trochanter ansetzenden Muskeln genau zu überprüfen.

Neben diesen regionalen Effekten kann eine nicht optimale Funktion eines oder beider Hüftgelenke auch Beschwerden im lumbosakralen Übergang unterhalten und in Einzelfällen sogar auslösen [11]. Darüber hinaus können auch überregionale Beschwerden durch eine Fehlstatik verursacht werden.

Pathogenetischer Stellenwert der Formvarianten des Atlas

Die Frage, inwieweit die Formvarianz des Atlas selbst Ursache klinisch relevanter Beschwerden ist, wird seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert [8, 10]. Als ein Beispiel unter vielen mag die Beurteilung des Foramen retroarticulare atlantis (Foramen arcuale) dienen, einer Formvariante, bei der die auf dem Arcus dorsalis liegende A. vertebralis knöchern umschlossen wird. Während sich in den 70er und 80er Jahren vor allem französische Autoren mit diesem Thema beschäftigten, kamen in den letzten Jahren einige Arbeiten aus China, die – mit z. T. kleinen Fallzahlen – über eine operative Resektion als erfolgreiche Therapie bei Schwindel berichteten [14, 19, 20, 28, 31]. Auch wenn der klinische Stellenwert nicht klar zu sein scheint, sollte ein solches Foramen arcuale zumindest die

Vorsicht des Behandelnden erhöhen, da schwere Komplikationen nach HWS-Manipulation bei diesen Patienten wahrscheinlicher zu sein scheinen [3].

Diskrete Formvarianten im Bereich des atlantodentalen Gelenkes haben große Auswirkungen auf die Belastbarkeit des Kopf-Hals-Aggregates, hier insbesondere in der Saggittalebene [10]. Der Anteflexions-Schulkschmerz bei Insuffizienz der atlantodentalen Verbindung ist eines der häufigsten Probleme.

In einem ersten Schritt beschäftigten wir uns mit den Formvarianten des hinteren Atlasbogens einer Querschnittspopulation, um so alters- und geschlechtsspezifische Verteilungen der Höhe des hinteren Atlasbogens zu ermitteln und Normalwerte zu definieren.

Wenn man bei diesen Fällen über die obere Zervikalregion hinausschaut, stößt man immer wieder auf das gleichzeitige Auftreten von Atlasminusvarianten, lumbosakralen Übergangsstörungen und flachen bzw. dysplastischen Hüftgelenken. Dass dieser Zusammenhang bisher in der Literatur nicht wieder gefunden werden konnte, dürfte damit zusammenhängen, dass bei vielen Kollegen die entsprechenden Röntgenbilder nicht gleichzeitig vorlagen. Die Aufnahmen der Lendenwirbelsäule – wenn sie denn überhaupt im Stehen gemacht sind – bilden darüber hinaus oft nicht die Hüftgelenke ab, wodurch eine differenzierte Beurteilung der Statik kaum möglich erscheint. Nicht zuletzt sei auf die Unsitte der „Strahlenschutzkalotte“ verwiesen. Selbst von Röntgenprüfungskommissionen wird immer wieder darauf gedrungen, diese physikalisch sinnlose Maßnahme anzuwenden, die wiederum in vielen Fällen den lumbosakralen Übergang abdeckt.¹

Eine komplexe Fehlstatik – z. B. bei einer Bein-Minderlänge in Kombination mit einer gegenläufigen Sakrumasymmetrie – entzieht sich häufig der

¹ Die biologisch relevante Strahlung ist nicht die Primärstrahlung (diese könnte durch die Kalotte von den Ovarien ferngehalten werden), sondern die sekundäre, d. h. die durch die Interaktion zwischen strahlendichtem Gewebe und Primärstrahlung entstehende Bremsstrahlung. Diese diffuse Strahlung kann nur durch die Hodenkapsel sicher reduziert werden. Der einzig sinnvolle Schutz der weiblichen Gonaden ist das sparsame Röntgen.

Tabelle 2

**Auffälligkeiten im kraniozervikalen Übergang
(N=180; männlich=73; weiblich=107)**

	Männlich	Weiblich
Ausgeprägte Atlashypoplasie	6	12
Grenzwertige Atlashypoplasie	13	22
Sonstige Dysplasie (BSS C1)	1	1
Gesamt N=55	20	35

rein klinischen Diagnose, wenn man nicht durch eine entsprechende Veränderung auf der HWS-Aufnahme sensibilisiert ist. So kann bei sportlich sehr trainierten (Tänzer, Sportler, Polizisten, Soldaten) oder adipösen Patienten die inspektorische Prüfung täuschen; auch die hierbei eingesetzte Wasserwaage verbessert die Untersuchungsgenauigkeit kaum. Da vor allem bei Jugendlichen die Lenden-Becken-Hüft-Region nicht routinemäßig röntgenologisch untersucht wird, fehlt der durch diese Aufnahme gegebene Anstoß, sodass eine sichere Beurteilung der präsakralen Tragebene nur schwer möglich ist.

Aufgrund des Wissens um die Verbindung von diskreten morphologischen Störungen im Niveau C1 mit lumbosakralen Asymmetrien ergab sich daher eine etwas weiter gefasste Indikation für Lenden-Becken-Hüft-Aufnahmen bei Jugendlichen, bei denen wir sonst diese Bilder wegen des Gonadenschutzes nur sehr restriktiv verordnen.

Die dezenten morphologischen Abweichungen sind klinisch nicht erfassbar. So können weder in der Anamnese noch durch den palpatorischen Befund Marker angegeben werden, die es ermöglichen „Risikogruppen“ zu definieren, bei denen dann eine Röntgenuntersuchung indiziert wäre oder umgekehrt Patientengruppen auszuschließen, bei denen auf eine Röntgenuntersuchung vor eventueller Manipulation verzichtet werden könnte. Selbst Blockwirbel können nicht durch eine Palpationsuntersuchung ermittelt werden.²

² Bei einem Versuch am Rande einer Fortbildung wurden mehrere Patienten von ausgewiesenen Fachleuten untersucht und die Befunde verglichen. Keiner der beiden Patienten mit Blockwirbel wurde dabei erkannt (Lewit 1980, persönliche Mitteilung)

Gleiches gilt für stärkere und stärkste funktionelle Störungen, z. B. Dasymmetrisierungen im OC-Übergang. Der Palpationsbefund weist in aller Regel eher auf eine schmerzhafte Verspannung der in der Nähe einer Blockierung liegenden kurzen Muskeln hin als auf eine primäre Bewegungseinschränkung. Diese ist meist im Rahmen jahrzehntelanger Anpassungen so weit kompensiert, dass sich auch aus der Gesamtbeweglichkeit kein Anhalt dafür ableiten ließe. Neben den Kontraindikationen, die sich aus solchen Befunden ergeben können, sind es auch die Indizien für eine angepasste Behandlungstechnik, die solch eine Aufnahme wertvoll für den Behandler machen. Eine wissenschaftliche Evaluierung eines Befundes bzw. eine präzise geplante Manipulation im OC-Übergang ist nur dann präzise genug möglich, wenn diese Störungen bestmöglich ausgeschlossen werden können oder in die Planung der entsprechenden Behandlung mit einfließen.

In diesem Zusammenhang kann nicht erschöpfend auf die vielfachen morphologischen und funktionellen Störungen im OC-Übergang und deren Auswirkung auf eine eventuelle Behandlung eingegangen werden. Es genügt anzumerken, dass eine isolierte Hypoplasie des dorsalen Atlas an sich keine Berücksichtigung bei der Wahl der Behandlungstechnik zu finden braucht. Sie hat auf die mechanische Belastbarkeit keinen so großen Einfluss, dass dies relevant wäre und eine über die ohnehin geübte Vorsicht hinausgehende Zurückhaltung erforderte.

Anders ist es mit den durch diese Arbeit nachgewiesenen Zusammenhängen zwischen solch einer Hypoplasie und einer lumbosakralen Fehlstatik. Wenn bei einer Routineaufnahme diese Hypoplasie erkennbar ist, hat das eine erhöhte Aufmerksamkeit für eventuelle

statische Komponenten der geschilderten Beschwerden zur Folge. Daraus resultiert bei Kindern und Heranwachsenden die Notwendigkeit, eine entsprechend vertiefte Anamnese zu erheben und entsprechende klinische Kontrollen zu veranlassen. Bei Erwachsenen ergibt sich eine relative Indikation für eine Routineuntersuchung des Lenden-Becken-Hüft-Bereiches, um hier – in der Regel durch 2 Aufnahmen im Stehen [11] – eine Aussage über die Statik und zumindest ansatzweise über die Morphologie der Hüftgelenke machen zu können.

Dadurch kann eine Beeinflussung einer primär zervikogenen Störung durch die schiefe präsakrale Tragebene und/oder eine einseitig eingeschränkte Hüftfunktion mit in die Diagnostik und Behandlungsplanung einbezogen werden. Besonders bei migränoiden Kopfschmerzen ist die Beeinflussung durch statische Probleme seit Jahrzehnten bekannt [21].

Die ALF Trias

Nachdem Kriterien für das Vorliegen einer Atlashypoplasie definiert wurden, erfolgte die Auswertung der kombiniert vorliegenden Röntgenbilder von 180 erkrankten Patienten (Tabelle 2).

Darüber hinausgehende dysplastische Formen der Halswirbelsäule wie Densdysplasien oder Dysplasien im Segment C2/C3 fanden sich bei je einem Probanden mit ausgeprägter bzw. grenzwertiger Atlashypoplasie sowie 2 Patientinnen mit grenzwertiger Verschmälerung des hinteren Atlasbogens. Bei 51 Fällen ergaben sich kombinierte Auffälligkeiten im kraniozervikalen Übergang sowie der Lenden-Becken-Hüft-Region (Tabellen 3, 4). Interessant an diesen Tabellen ist auch, dass ein vereinzelt Vorkommen (also A, L oder F) deutlich seltener war, als die Kombination. Unsere Erhebungen wiesen immer wieder das gemeinsame Vorkommen als die Normalsituation auf.

Von 18 Patienten mit ausgeprägter Atlashypoplasie wiesen 15 darüber hinausgehende morphologische Besonderheiten der lumbosakralen Übergangsregion wie (Teil-)Lumbalisation S1, (Teil-)Sakralisation L5, Verplumpung der Querfortsätze L5, lumbosakrale Asymmetrien, Bogenschlussstörung etc. auf. Bei 12 dieser Patienten bestand eine leichte (3 Fälle) oder deutliche Fehlstatik (9 Fälle).

Tabelle 3

Kombinierte Auffälligkeiten bei Patienten mit ausgeprägter Atlashypoplasie einer Erwachsenenstichprobe (N=180; männlich=73; weiblich=107)

	A	AL	AF	ALF
Männlich 6	1	1	0	4
Weiblich 1	1	2	1	8
Gesamt 18	2	3	1	12

Tabelle 4

Kombinierte Auffälligkeiten bei Patienten mit mäßiggradiger Atlashypoplasie einer Erwachsenenstichprobe (N=180; männlich=73; weiblich=107)

	A	AL	AF	ALF
Männlich 13	1	2	1	9
Weiblich 22	1	4	0	17
Gesamt 35	2	6	1	26

Hüftüberdachungsdefizite wurden in 13 Fällen beobachtet. Diese traten 8-mal beidseitig und in 5 Fällen einseitig auf. Dabei fanden sich 7 mittlere und 3 schwere Hüftüberdachungsdefizite. Betroffene Hüften wiesen im Durchschnitt einen CE-Winkel von 26,7° auf.

Von 35 Probanden mit mäßiggradiger Atlashypoplasie wiesen 32 (d. h. 91%) oben genannte morphologische Besonderheiten der lumbosakralen Übergangsregion auf. Bei 24 dieser Patienten bestand eine leichte (10-mal) oder deutliche Fehlstatik (14-mal). Ein Patient mit lumbosakraler Dysplasie und leichter Fehlstatik zeigte eine gegenläufige Beinlängendifferenz von über 1 cm. Hüftüberdachungsdefizite wurden bei 27 Fällen beobachtet. Diese traten 20-mal beidseitig und in 7 Fällen einseitig auf. Dabei fanden sich 23 mittlere und 6 schwere Hüftüberdachungsdefizite.

Betroffene Hüften wiesen im Durchschnitt einen CE-Winkel von 26,1° auf.

Von 53 Patienten mit grenzwertiger oder ausgeprägter Atlashypoplasie wiesen 12 ein- oder beidseitige Hüftüberdachungsdefizite mit CE-Winkeln zwischen 20° und 25° auf, in 4 Fällen lagen diese noch darunter. Insgesamt wurden an 21 Hüften CE-Winkel zwischen 20°–25° gemessen, bei 4 Hüften ergaben sich Werte unter 20°.

Die Auswertung der Röntgenbilder eines männlichen Patienten mit Bogenchlussstörung bei C1 und ohne Atlashypoplasie erbrachte darüber hinausgehende Auffälligkeiten im LSÜ (Asymmetrie L4/L5 mit ausgeprägter linkskonvexer Skoliosierung und rechnerischer Fehlstatik von 3 cm) und bei der Hüftüberdachung, bei einer Patientin mit gleicher hochzervikaler Dysplasie bestand eine BSS L5 mit Verplumpung der Querfortsätze.

Die röntgenologische Kontrolle der anatomischen Hüftverhältnisse wies auf eine Reduzierung der Hüftüberdachung hin. Da der CE-Winkel nach Wiberg [30] für derartige Besonderheiten der Hüftkonfiguration gut untersucht und sein Einsatz in der orthopädischen Praxis weit verbreitet ist, konzentrierten wir uns hierauf [6]. Der CE-Winkel gilt als annäherndes Maß für die Ausnutzung der Hüftpfanne durch den Hüftkopf und erfasst somit auch die Größe der jeweiligen Hüfttragfläche bzw. Hüftkopfüberdachung. Dieser Wert ist an unseren Aufnahmen hinreichend genau zu ermitteln und vermittelt so einen ersten Eindruck von der Hüftgelenksbelas-

tung. Die Schwierigkeiten der Auswertung dieser Werte sind dabei aber nicht zu unterschätzen [23, 25, 26]. Insbesondere bei Beinlängendifferenzen mit entsprechender Beckenkipfung in der Frontalebene, aber auch bei Hüftkopfentrundungen entstehen schnell Fehlbeurteilungen.

Von 55 Patienten mit Auffälligkeiten im kraniozervikalen Übergang wiesen 41 (75%) Hüftüberdachungsdefizite auf, in 28 Fällen wurden diese beidseitig beobachtet. Schwere Hüftüberdachungsdefizite bestanden bei 9 Hüften, 30 Hüftgelenke wurden als mäßiggradige Minusvarianten der Hüftüberdachung eingestuft.

Die von uns gewählte überwiegend statistische Beurteilung der Hüftgelenksituation im Zusammenhang mit dem Auftreten von Atlashypoplasien diente vorrangig der Beschreibung anatomischer Besonderheiten dieser Region. Unter klinischen Gesichtspunkten erlangen Hüftüberdachungsdefizite mit CE-Winkel unter 26° besondere Bedeutung [7]. Minusvarianten von unter 20° gelten als pathologisches Kriterium für eine Dysplasie des Azetabulums bzw. Dislokation des Femurkopfes.

Selbst unter diesen eher restriktiven klinischen Kriterien fanden sich deutliche Auffälligkeiten in Bezug auf eine defizitäre Hüftüberdachung bei von uns eingestuftem Patienten mit Atlashypoplasie.

Bei knapp einem Drittel dieser Probanden ergaben sich ein- oder beidseitige CE-Winkel unter 26°. Azetabulumdysplasien mit CE-Winkeln unter 20°

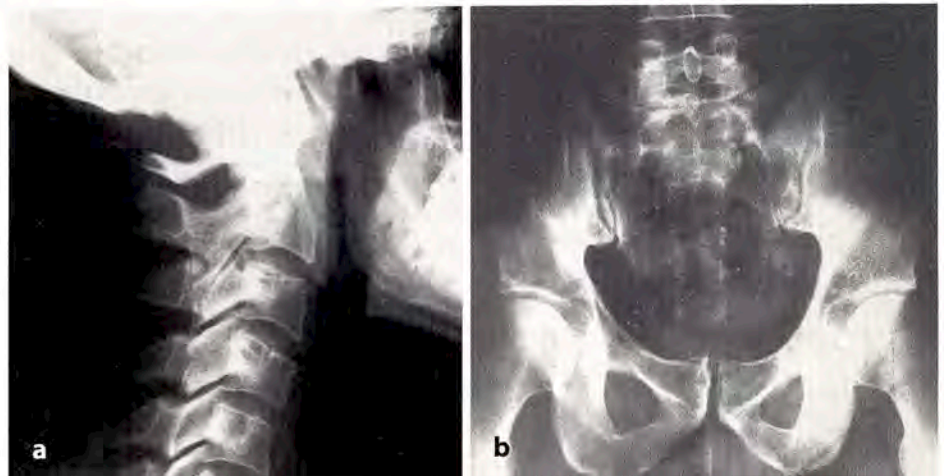


Abb. 2 ▲ a Auf dieser Aufnahme ist die Hypoplasie des Arcus dorsalis atlantis deutlich; b die Übergangsstörung samt Fehlstatik und flachem Einbau der Hüftköpfe



Abb. 3 ▲ a Auf der seitlichen HWS-Aufnahme wirkt der Arcus dorsalis atlantis auf den ersten Blick normal dick, da sich die beiden Hälften durch leichte Kippung auseinanderprojizieren. Man erkennt aber deutlich das Lumen als linsenförmige dunklere Struktur zwischen den beiden Schenkeln des Arcus dorsalis; b auf der LBH-a.-p. Aufnahme sind die unterschiedlich flachen – aber beidseits nicht normgerechten – Hüftgelenke ebenso erkennbar wie die verplumpten Querfortsätze L5 (bzw. S1)

wurden in 4 Fällen ermittelt. Ihre Prävalenz liegt über 7,5% und somit deutlich über vergleichbaren Statistiken für Querschnittpopulationen (1,1% in Hongkong [18], 1% in England [5], 1,8% in Korea [4]).

Mögliche Ursachen

Nachdem wir die geschilderten Zusammenhänge immer wieder gefunden hatten (und jetzt auch anhand der vorgelegten Untersuchung bestätigen konnten) lag die Frage nahe, welche embryologischen Mechanismen derartige kombinierte Dysplasien hervorrufen. Dabei konnte bisher weder durch eine Literaturrecherche noch durch Nachfrage bei Anatomen/Embryologen eine plausible Erklärung gefunden werden.

Bei unserem Patientenkollektiv zeichnet sich ab, dass eine starke familiäre und geschlechtsspezifische Komponente vorliegt. So konnten wir zahlreiche Fälle dokumentieren, bei denen

gleichgeschlechtliche Familienmitglieder vergleichbare Röntgenbefunde aufwiesen. Da sich diesbezügliche systematische Studien aus ethischen Gründen verbieten, ist diese Frage im Rahmen der Auswertung unseres Archivs nicht statistisch zu beantworten. Vereinzelt Hinweise in der Literatur bestätigen aber die familiäre Häufung von Wirbelsäulen-Formvarianten [2, 17].

In der praktischen Arbeit hat das für uns die Konsequenz, dass wir in Fällen bekannter familiärer Belastung mit Fehlstatik und/oder Atlasformvarianten die Indikation für die Lenden-Becken-Hüft-Aufnahme relativ weit stellen, während diese Aufnahme vor Abschluss des Wachstums sonst nur in unter 20% unserer Fälle angefertigt wird.

Aufgrund der immer häufigeren Verlaufsbeobachtungen, die wir bei Patienten durchführen können, deren erste Röntgenuntersuchung im Säuglings- oder Kleinkindalter erfolgte, scheint sich anzudeuten, dass die Entwicklung

des OC-Überganges mehr als ursprünglich gedacht dynamisch und belastungsabhängig ist. Hatten wir noch vor 20 Jahren vermutet, dass beispielsweise ein Dens recurvatus eine schicksalhaft eintretende Entwicklung sei [9], so können wir in den letzten Jahren immer wieder beobachten, dass sich relativ ungünstige Situationen bei kleineren Kindern nach adäquater Therapie gut normalisieren.

Das bedeutet, dass man beim Erkennen einer Minusvariante der Kopfgelenkmorphologie auf eine möglichst optimale funktionelle Situation achten sollte, um so im Rahmen des Erreichbaren einen „normalen“ Endzustand nach Abschluss des Wachstums anzustreben.

Kasuistische Beispiele

Anhand von 3 Beispielen soll erläutert werden, wie die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge hilft, die klinische Tätigkeit effektiver zu gestalten.

Fall 1

Dieser 44-jährige Sportlehrer kam wegen „wandernder“ Rückenschmerzen, die sich nicht genau regional eingrenzen



Abb. 4 ▲ Röntgenaufnahme der Zervikalregion: eine Bogenschlussstörung C1 mit asymmetrisch angelegter Hypoplasie der hinteren Atlaspange

ließen und belastungsabhängig auftraten. Neben dem Ansatz des M. levator scapulae links war im kranialen Anteil des rechten ISG eine Insertionstendinose tastbar und schmerzhaft. Neurologische Zeichen bestanden nicht, die Statik war inspektorisch ohne Befund, es bestanden diskrete Unterschiede bei der Innenrotation der Hüftgelenke ohne endgradige Schmerzen. Darüber hinaus fand sich eine Kopfgelenksblockierung links in Höhe Co/C1.

Nach Beseitigung der hochzervikalen Störung wurde eine deutliche Besserung angegeben, die aber nicht länger als 6 Wochen anhielt. Da auf der HWS-Aufnahme (Abb. 2) die Atlashypoplasie deutlich war, wurde bei der Wiedervorstellung die LBH-Region geröntgt, obwohl sich rein klinisch keine Anhaltspunkte ergeben hatten. Die dabei zutage tretende Fehlstatik war relativ gering (1,5 cm umgerechnet auf die Unterstützungsfläche), reichte aber in Kombination mit der Lumbalisation S1 und der diskreten Hüftüberdachungsstörung aus, um die Irritation zu unterhalten; die Bogenschlussstörung im Übergangswirbel komplettierte das morphologische Bild, ist aber selber klinisch nicht relevant.

Therapie. 5-mm-Sohlen-Einlage in den linken Schuh sowie dringendes Abraten von Squashspielen (Gelenkbelastung). Beschwerdefrei seit 7 Jahren.

Fall 2

Diese junge Frau war zum Behandlungszeitpunkt 29 Jahre alt und gab Kopf-

schmerzen an. Die Anamnese war relativ unergiebig, insbesondere da sie jede Frage nach „Wann ist es besonders schlecht?“ mit „immer“ beantwortete. Andere Modalitäten (Wetter, Periode, Belastung) verstärkten die Beschwerden.

Klinisch fand sich neben einer hochzervikalen Irritation (C2/C3) eine submandibuläre Insertionstendinose als Zeichen einer temporomandibulären Komponente. Keine Schwangerschaften, keine radiologischen oder sonstigen Gelenkauffälligkeiten, es bestand lediglich ein diskreter Druckschmerz im Bereich des oberen ISG beidseits.

Auch hier brachte die Behandlung im oberen WS-Abschnitt eine vorübergehende Besserung für ca. 6 Wochen. Bei der Kontrolle 2 Monate später waren die Kopfschmerzen wieder häufiger aufgetreten, wenn auch schwächer. Jetzt war der suprahyoidale und infrahyoidale Bereich unauffällig.

Da wir auf der HWS-Aufnahme (Abb. 3) die Atlashypoplasie schon gesehen hatten lag es nahe, im nächsten Schritt die LBH-Region zu kontrollieren. Hier fand sich eine Beinlängendifferenz, die in der präsakralen Tragebene (teilweise) wieder kompensiert war. Weiterhin fiel eine Asymmetrie der Querfortsätze von L5 auf, es bestand eine Artikulation des linken Querfortsatzes mit dem Ilium. Durch diese Kombination kam es zu einer verstärkten Fehlhaltung im Sitzen gegenüber dem Stand (da hier die kompensierende Beinlängendifferenz fehlt) und zu einer Rotationsbelastung bei Vorbeuge, was sich beim Beruf der Patientin (Zahnärztin) wohl recht häufig ereignet.

Therapie. Sitzkissen bzw. angepasster Sitz beim Assistieren am Stuhl, Physiotherapie zur besseren muskulären Stabilisierung im lumbosakralen Übergang. Nur noch selten Kopfschmerz (meist in Verbindung mit Menses); Beobachtungszeitraum 2 Jahre.

Fall 3

Der 21-jährige Patient stellte sich wegen persistierender Beschwerden im unteren LWS-Bereich bei bekannter beidseitiger Hüftdysplasie (rechts > links) vor und brachte Fremdaufnahmen der Beckenregion mit. Anamnestisch ist eine Umstellungsosteotomie der rechten Hüftregion im Alter von 17 Jahren bekannt, danach haben sich allerdings die Hüftbeschwerden verstärkt. Die lumbosakrale Übergangsstörung mit vermutlicher (asymmetrischer) Lumbalisation von S1 (LWS nicht dargestellt) und möglicher Bogenschlussstörung S2 war dem Patienten bisher nicht bekannt.

Weil die Untersuchung keinen Anhalt für eine Fehlstatik erbrachte und der Patient einer erneuten radiologischen Kontrolle der LWS ablehnend gegenüber stand verzichteten wir hier vorerst auf ein weiteres Röntgenbild. Da jedoch darüber hinaus wiederkehrende Verspannungen der Schulter-Nackensmuskulatur bestanden, erfolgte eine röntgenologische Kontrolle der Zervikalregion (Abb. 4). Hier fand sich radiologisch eine Bogenschlussstörung C1 mit asymmetrisch angelegter Hypoplasie der hinteren Atlaspange. Der Palpationsbefund im Kau-Kiefer-Bereich mit ausgeprägter Verspannung der infra- und suprahyoidalen Muskulatur passte zu einer temporomandibulären Kompo-

nente. Therapeutisch bot sich die manuelle Behandlung der periartikulären Hüftmuskulatur mit postisometrischer Relaxation sowie Mobilisation beider Fibulaköpfchen an.

Nachbemerkung. Die Kasuistiken legen nahe, bei derartigen Fällen gleich beim ersten Mal die LBH-Aufnahme anzufertigen. Diese Vorgehensweise erfolgt bei uns nur in Ausnahmefällen, da es sinnvoller ist, erst die funktionelle Komponente im Sinne der zervikolumbalen Steuerung [1] bestmöglich zu therapieren. Dadurch kann man bei den zum Kontrolltermin angefertigten Bildern meist besser die rein anatomische Komponente sehen, was die Beurteilung gerade bei komplexen Fällen, wie in unserem zweiten Beispiel gezeigt, erleichtert.

Fazit für die Praxis

Die durch die Auswertung unseres Röntgenarchivs gefundenen Zusammenhänge zwischen der Hypoplasie des Arcus dorsalis atlantis einerseits und einer lumbosakralen Asymmetrie bzw. Übergangsstörung mit einseitig flach ausgebildeter Hüftgelenkpfanne andererseits, konnten statistisch belegt werden. Dabei sollten die ermittelten umfangreichen Daten an anderen – möglichst unausgewählten – Patienten verifiziert werden. Eine schlüssige Erklärung im Hinblick auf die mögliche kausale Verbindung ist unseres Kenntnisstandes nach noch nicht gefunden. Vorschläge für die praktische Umsetzung dieser Zusammenhänge werden gegeben und sollten anhand der Erfahrungen anderer ggf. modifiziert werden. Darüber hinaus bestehen wahrscheinlich Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Atlashypoplasien und Auffälligkeiten im stomatognathen System. Hierzu wird z. Z. eine Datensammlung durchgeführt.

Literatur

- Biedermann H (1992) Zur Diskussion gestellt: Die Zervikolumbalgie. *Man Med* 30:20–25
- Bogduk N, Twomey LT (1987) *Clinical anatomy of the lumbar spine*. Churchill Livingstone, Melbourne
- Cellerier P, Georget AM (1984) [Dissection of the vertebral arteries after manipulation of the cervical spine. Apropos of a case]. *J Radiol* 65:191–196
- Chang-Dong H et al. (1998) Radiographic Parameters of Acetabulum for Dysplasia in Korean Adults. *Yonsei Med J* 39:404–408
- Croft P et al. (1991) Osteoarthritis of the hip and acetabular dysplasia. *Ann Rheum Dis* 50:308–310
- Dihlmann W, Hopf A (1971) Das Wiberg-Zeichen, ein Hinweis auf gestörte Hüftgelenkmechanik. *Rö Fo* 115:572–581
- Fredensborg N (1976) The CE angle of normal hips. *Acta Orthop Scand* 47:403–405
- Gutmann G (1983) Die funktionsanalytische Röntgendiagnostik der Halswirbelsäule. In: Gutmann G, Biedermann H (Hrsg) *Funktionelle Pathologie und Klinik der Wirbelsäule*, Bd 1/2. Fischer, Stuttgart
- Gutmann G (1981) Funktionelle Pathologie und Klinik der Wirbelsäule. Bd 1/1: Funktionsanalytische Röntgendiagnostik der Halswirbelsäule und Kopfgerne. Fischer, Stuttgart
- Gutmann G, Biedermann H (1984) Die Halswirbelsäule. In: Gutmann G, Biedermann H (Hrsg) *Allgemeine funktionelle Pathologie und klinische Syndrome*, Teil 2. Fischer, Stuttgart
- Gutmann G, Biedermann H (1990) Funktionelle Röntgenanalyse der Lenden-Becken-Hüft-Region. Fischer, Stuttgart
- Inomata N, Hoshino R, Nishimura G (1998) Intractable apneic spells due to hypoplasia of the atlas in a patient with unclassifiable short-rib dysplasia. *Am J Med Genet* 76:276–278
- Kirschbichler T (1969) die atlanto-okzipitale Dysplasie (Pathogenese, Röntgendiagnostik und klinischer Verlauf). *Fortschr Geb Röntgenstr Nuklearmed* 111:674–683
- Klausberger EM, Samec P (1975) Foramen retroarticulare atlantis und A.vertebralis-angiogramm. *MMW Munch Med Wochenschr* 117:483–486
- Köhler A, Zimmer EA (1967) Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts. Thieme, Stuttgart
- Komatsu Y et al. (1993) Atlas hypoplasia as a cause of high cervical myelopathy. Case report. *J Neurosurg* 79:917–919
- Lang J (1983) Funktionelle Anatomie der Halswirbelsäule und des benachbarten Nervensystems. In: Hohmann D (Hrsg) *Neuro-Orthopädie*. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 1–118
- Lau E et al. (1995) Hip osteoarthritis and dysplasia in Chinese men. *Ann Rheum Dis* 54:965–969
- Li S, Li W, Sun J (1995) Operative treatment for cervical vertigo caused by foramen arcuale. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 33:137–139
- Limousin CA (1980) Foramen arcuale and syndrome of Barre-Lieou. Its surgical treatment. *Int Orthop* 4:19–23
- Maex L (1970) La Migraine et le Syndrome Cervicale comme Symptomes d'un Syndrome de la Statique. *Belg Tijdschr Rheum* 5, vol 5
- May D, Jenny B, Faundez A (2001) Cervical cord compression due to a hypoplastic atlas. Case report. *J Neurosurg* 94:133–136
- Mladenov K et al. (2002) Natural history of hips with borderline acetabular Index and acetabular dysplasia in infants. *J Pediatr Orthop* 22:607–612
- Nishikawa K et al. (2001) Cervical myelopathy and congenital stenosis from hypoplasia of the atlas: report of three cases and literature review. *Spine* 26:80–86
- Omeroglu H et al. (2002) Analysis of a radiographic assessment method of acetabular cover in developmental dysplasia of the hip. *Arch Orthop Trauma Surg* 122:334–337
- Omeroglu H et al. (2002) Measurement of center-edge angle in developmental dysplasia of the hip: a comparison of two methods in patients under 20 years of age. *Skeletal Radiol* 31:25–29
- Phan N et al. (1998) Cervical myelopathy caused by hypoplasia of the atlas: two case reports and review of the literature. *Neurosurg* 43:629–633
- Piper HF, Bastian GO, Warecka K (1979) Drehnystagmus und Hypoplasie des N. opticus in Kombination mit fehlendem septum pellucidum. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 174:663–675
- Riedel E, Biedermann F (1988) X-ray diagnosis of occipitocervical malformations. III. Atlas and axis malformations, segmentation disorders of the upper cervical spine. *Radiol Diagn* 29:581–593
- Rott Z (1967) Der CE-Winkel und seine Messung. *Z Orthop Grenzgeb* 102:461–463
- Sun JY (1990) Foramen arcuale and vertigo. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 28:592–594, 636–637
- Torklus D von, Gehle D (1970) Die obere Halswirbelsäule. Thieme, Stuttgart
- Wackenheim A (1989) *Imagerie du Rachis Cervical*. Springer, Paris
- Wackenheim A (1975) *Roentgen Diagnosis of the Cranio-Vertebral Region*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Wackenheim A (1983) *Roentgendiagnostik der Wirbel des Erwachsenen*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Walter R, Went H (1957) Zum röntgenologischen Nachweis der Atlasbogendefektbildungen. *Fortschr Rö* 87:496
- Yamashita K, Aoki Y, Hiroshima K (1997) Myelopathy due to hypoplasia of the atlas. A case report. *Clin Orthop* 338:90–93
- Zimmer E (1937) Die röntgenologische Untersuchung der Atlaspaltbildung. *Acta Radiol* 18:842