

Cephalometric Analysis in Patients with Obstructive Sleep Apnea Part I: Diagnostic Value

Die Röntgenkephalometrie bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe Teil I: Die diagnostische Wertigkeit

Edmund C. Rose¹, Richard Staats², Martin Lehner¹, Irmtrud E. Jonas¹

Abstract

Background: Morphological soft-tissue and skeletal anomalies of the upper extrathoracic airways are considered to be an etiological cofactor of nocturnal obstructive respiratory disorders.

Patients and Method: In this study 106 patients with a mean age of 56.1 ± 8.4 years and a polysomnographic diagnosis of obstructive sleep apnea (OSA) were evaluated roentgenocephalometrically for soft-tissue and skeletal anomalies. Using cluster analysis and multivariate regression analysis, 18 skeletal variables, six pharyngeal variables and five hyoid variables were evaluated as predictor variables under the criterion variable "severity of the disorder". The body mass index (BMI), as a recognized risk factor of OSA, was taken separately into account.

Results: No direct correlation was found between the skeletal cephalometric findings and severity of OSA. Only the position of the hyoid as an expression of a probably adaptive alteration to a changed head posture and tongue position was found to be a significant parameter correlating with the severity of OSA.

Conclusion: Whether cephalometric radiography is of direct diagnostic relevance in the diagnosis of OSA seems questionable in the light of the results of the present study.

Key Words: Obstructive sleep apnea · Lateral cephalogram · Cephalometrics · Mandibular protrusive appliances · Diagnostic value

Zusammenfassung

Hintergrund: Morphologische Weichteil- und Skelettauffälligkeiten der oberen extrathorakalen Luftwege werden als ein Kofaktor in der Ätiologie von nächtlichen obstruktiven Atemstörungen angesehen.

Patienten und Methode: In dieser Studie wurden 106 Patienten im durchschnittlichen Alter von $56,1 \pm 8,4$ Jahren mit der polysomnographisch gestellten Diagnose einer obstruktiven Schlafapnoe (OSA) röntgenkephalometrisch auf das Vorliegen von Weichteil- und Skelettanomalien untersucht. In einer Cluster-Analyse und einer multivariaten Regressionsanalyse wurden unter der Kriteriumsvariable des Schweregrades der Erkrankung 18 skelettale Variable, sechs Variable aus der Analyse des Pharynx und fünf Variable aus der Analyse des Hyoids als Prädikatorvariable ausgewertet. Der Bodymass-Index (BMI) als ein anerkannter auslösender Faktor der OSA wurde gesondert berücksichtigt.

Ergebnisse: Ein eindeutiger Rückschluss von skelettalen kephalometrischen Befunden auf den Ausprägungsgrad der OSA konnte nicht gefunden werden. Lediglich die Stellung des Hyoids, als Ausdruck einer wahrscheinlich adaptativen Position auf eine veränderte Kopfhaltung und Zungenlage, bildet einen signifikanten Parameter, der mit dem Schweregrad der Erkrankung in Beziehung steht.

Schlussfolgerung: Eine Indikation für eine Fernröntgenseitenaufnahme des Schädels zur Diagnostik der OSA erscheint aufgrund des Ergebnisses der Untersuchung unter dem Aspekt der unmittelbaren diagnostischen Relevanz fragwürdig.

Schlüsselwörter: Obstruktive Schlafapnoe · Fernröntgenseitenbild · Röntgenkephalometrie · Intraorale Protrusionsgeräte · Diagnostische Wertigkeit

¹Department of Orthodontics, and

²Department of Pneumology, Sleep Laboratory, Robert-Koch-Clinic, University of Freiburg i. Br., Germany.

Received: October 27, 2000; accepted: November 21, 2001

J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop 2002;63:143–53

DOI 10.1007/s00056-002-0057-x

Introduction

Obstructive sleep-disordered breathing is characterized by repeated obstruction of the extrathoracic airways. Intermittent obstruction of the upper airways results in a deterioration in the respiratory parameters with consecutive hypoxemia and hypercapnia. The drop in circulating oxygen saturation leads to frequent nocturnal arousals with a decrease in sleep efficiency and in the amount of slow wave and rapid eye movement sleep. In nocturnal sleep registration, the cyclic physiological sleep pattern is characteristically fragmented. If the disorder persists, patients are exposed to an increased risk of cardiovascular and cerebrovascular morbidity. Additional symptoms such as excessive daytime fatigue, morning headache, decreased libido, and increased mortality are associated with the disorder [27, 37].

In addition to clinical evaluation, the diagnosis of obstructive sleep apnea (OSA) and the assessment of its severity are based on polysomnographic registrations in a sleep laboratory. This investigation registers changes in oronasal flow, sleeping position, snoring, and neurologic parameters to distinguish between the different sleep stages [1, 2].

In etiological terms, there is sleep-induced loss of the muscle tone normally stabilizing the pharynx while the central breathing stimulus is not affected. Other pathognomonic factors published in the literature include an anatomic narrowing of the airway, the Bernoulli effect, sleep posture, age, male gender, body mass index (BMI), adipose tissue in the pharynx, and craniofacial deformities [14, 33, 36]. A correlation between various craniofacial anomalies and OSA has been postulated in numerous publications [3, 6, 8, 11, 12, 17, 18, 21]. Against this background, the extent of such anomalies is used as a diagnostic predictor in assessing the severity of OSA [3, 28, 34]. However, the anatomic anomalies in the lateral cephalogram reported in the literature show a lack of uniformity. Skeletal analysis frequently reveals a posterior position of the entire craniofacial region, a retrognathic mandible, a skeletal Class II with fault in the mandible, a micrognathia, and a vertical craniofacial growth pattern. In the soft-tissue analysis, a narrowing of the pharyngeal airway space (PAS) and a downward and forward position of the hyoid are considered to be pathognomonic and of diagnostic relevance with respect to the severity of the disorder [6, 19, 21, 36].

The impetus for the present investigation was our clinical finding of an increased incidence of patients suffering from OSA and a prognathic malocclusion, aspects not conforming with the criteria of the anomalies described in the literature. The skeletal and soft-tissue cephalometric parameters influencing the severity of the disorder were analyzed in patients enrolled at the Department of Orthodontics of the University of Freiburg i. Br.

Einleitung

Nächtliche obstruktive Atemregulationsstörungen sind durch wiederkehrende Verlegungen der extrathorakalen Luftwege charakterisiert. Aus der passageren Verengung der oberen Atemwege resultiert eine Verschlechterung der respiratorischen Parameter mit einer konsekutiven Hypoxämie und Hyperkapnie. Der Abfall der Sauerstoffsättigung im Blut führt zu häufigen nächtlichen Weckreaktionen mit Verminderung der Schlafeffizienz und des Tiefschlaf- und Traumschlafanteils. Das zyklisch verlaufende physiologische Schlafmuster ist in der nächtlichen Aufzeichnung charakteristisch fragmentiert. Bei Fortdauern der Erkrankung tragen die Patienten ein erhöhtes kardio- und zerebrovaskuläres Risiko. Als weitere Zeichen sind eine exzessive Tagesmüdigkeit, morgendlicher Kopfschmerz, Libidoverlust und eine erhöhte Mortalität der Patienten bei dem Krankheitsbild beschrieben worden [27, 37].

Die Diagnosestellung einer obstruktiven Schlafapnoe (OSA) und die Bestimmung des Schweregrades der Erkrankung erfolgen neben der klinischen Befunderhebung mittels polysomnographischer Untersuchung im Schlaflabor. Bei dieser Registrierung werden Veränderungen des oronasalen Luftstroms, der Schlafposition, des Schnarchgeräuschs und der neurologischen Parameter zur Differenzierung der verschiedenen Schlafphasen aufgezeichnet [1, 2].

Ätiologisch kommt es bei Fortbestehen des zentralen Atemantriebs zu einem schlafinduzierten Verlust des den Pharynx stabilisierenden Muskeltonus. Daneben werden in der Literatur als pathognomonische Faktoren eine anatomische Einengung im Bereich der Luftwege, der Bernoulli-Effekt, die Schlafposition, das Alter, männliches Geschlecht, der Bodymass-Index (BMI), Fetteinlagerung im Bereich des Pharynxgewebes und kraniofaziale Deformationen genannt [14, 33, 36]. Ein Zusammenhang zwischen verschiedenen kraniofazialen Anomalien und der OSA wird in zahlreichen Veröffentlichungen postuliert [3, 6, 8, 11, 12, 17, 18, 21]. Auf diesem Hintergrund basierend wird das Ausmaß der Anomalien als ein diagnostisches Kriterium zur Abschätzung des Schweregrades der OSA herangezogen [3, 28, 34]. Die in der Literatur aufgeführten anatomischen Auffälligkeiten im Fernröntgenseitenbild (FRS) sind jedoch uneinheitlich. In der skelettalen Betrachtung werden häufig eine Rücklage des gesamten Gesichtsskeletts, ein retrognather Einbau des Unterkiefers, eine skelettale Klasse II mit Unterentwicklung im Unterkiefer, eine Mikrognathie und ein vertikaler Gesichtsschädelaufbau festgestellt. In der Weichteilanalyse gelten eine Einengung im Bereich des pharyngealen Luftraumes (PAS) und eine kaudoventrale Position des Zungenbeines als pathognomonisch und in Bezug zum Schweregrad der Erkrankung als diagnostisch aussagekräftig [6, 19, 21, 36].

Die klinische Beobachtung eines gehäuft auftretens von Patienten mit einer OSA und einer Anomalie des prognathen Formenkreises, die nicht den Kriterien der in der Literatur beschriebenen Auffälligkeiten entsprachen, war An-

Patients and Methods

The lateral cephalograms of 106 consecutive patients diagnosed with mild to severe OSA and referred to the department for treatment with an oral appliance between April 1997 and January 1999 were examined. The patients were recruited from the Sleep Center, Department of Pulmonary Diseases, University of Freiburg i. Br.; the diagnosis of OSA was based on polysomnographic registration. 14 of the patients (13.2%) were female; 92 (86.8%) were male. Patients included in this analysis had to have a stable bilateral dental occlusion in the premolar and molar regions.

At 27.5 kg/m², the mean BMI of the patients was only slightly above normal. On the basis of the BMI, patients were divided into the following three subgroups: 32 patients (30.2%) with an index below 25 kg/m², 50 patients (47.2%) with an index between 25 and 30 kg/m², and 24 patients (22.6%) with an index above 30 kg/m².

The patients were divided into three distinct degrees of severity according to the apnea/hypopnea index (AHI), the apnea index (AI), and the number of oxygen desaturations below 85% during sleep (Table 1). Apnea was defined as suspension of the oronasal flow for more than 10 seconds during the registration period; a reduction in air flow to below 50% of the basal parameter for more than 10 seconds was defined as hypopnea. In patients under 60 years of age, OSA was classified as mild with an AHI of 5–15/h, moderate with an AHI between 16 and 40/h, and severe with an AHI above 40/h. An AHI below 5/h, and for patients over 60 below 10/h, was considered to be a physiological clinical standard value.

An AI below 2/h was regarded as non-pathological. Values between 2 and 10/h were ranked as mild, values between 11 and 20/h as moderate, and values above 20/h as severe OSA. The degrees of OSA are influenced by additional factors recorded during polysomnography, e.g., body position, number of arousals, sleep profile and restless legs, and, as a primary factor, oxygen desaturation. Whenever more than five desaturations below 85% per hour were registered, the OSA was classified as severe, irrespective of the AHI value. In cases of rating mismatches of the different parameters, the parameter with the highest rating of AHI,

lass zu der vorliegenden Studie. Das Patientengut der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Freiburg i. Br. wurde auf kephalometrische Skelett- und Weichteilcharakteristika, die den Schweregrad der Erkrankung beeinflussen, untersucht.

Patienten und Methode

Untersucht wurden die Fernröntgenseitenbilder des Gesichtsschädels von 106 konsekutiven Patienten, die sich mit der Diagnose einer leichten bis schweren OSA im Zeitraum von April 1997 bis Januar 1999 zur Therapie mit einem intraoralen Protrusionsgerät (IPG) vorstellten. Die Patienten waren vom Schlaflabor der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg i. Br., Abteilung Pneumologie, überwiesen worden; die Diagnosestellung erfolgte nach einer polysomnographischen Registrierung. 14 Patienten (13,2%) waren Frauen und 92 (86,8%) Männer. In die Studie eingeschlossen wurden ausschließlich Patienten mit einer gesicherten bilateralen dentalen Abstützung im Seitenzahnbereich.

Der durchschnittliche BMI der Patienten war mit 27,5 kg/m² nur gering erhöht. Entsprechend des BMI konnten die Patienten in folgende drei Untergruppen aufgeteilt werden: 32 Patienten (30,2%) mit einem Index von unter 25 kg/m², 50 Patienten (47,2%) mit einem Index zwischen 25 und 30 kg/m² und 24 Patienten (22,6%) mit einem Index von über 30 kg/m².

Die Patienten wurden entsprechend des Apnoe-/Hypopnoeindex (AHI), des Apnoeindex (AI) und der Anzahl der Sauerstoffsättigungen während des Schlafes unter 85% in drei verschiedene Schweregrade unterteilt (Tabelle 1). Eine Apnoe wurde definiert als ein Sistieren des oronasalen Luftstroms während der Registrierperiode von mehr als 10 Sekunden; war der Luftstrom mehr als 50% im Vergleich zum Ausgangswert für länger als 10 Sekunden reduziert, wurde dieses als Hypopnoe befundet. Die Festlegung des Schweregrades für Patienten in einem Alter unter 60 Jahren erfolgte nach folgenden Kriterien: Bei einem AHI von 5–15/h wurde die OSA als leicht eingestuft, eine mittelschwere OSA wurde bei einem AHI zwischen 16 und 40/h angenommen; AHI-Werte über 40/h wurden als schwere Ausprägung gewertet. Ein AHI von unter 5/h bzw. bei Patienten über 60 Jahren ein AHI von unter 10/h wurde als physiologischer klinischer

	n	AHI [/h]	AI [/h]	pO ₂ basal [%]	pO ₂ min [%]
Mild OSA	35	6.9 ± 3.2	6.9 ± 3.2	97.2 ± 1.3	93.4 ± 4.7
Moderate OSA	45	20.9 ± 6.1	10.0 ± 5.2	93.8 ± 1.7	82.0 ± 6.6
Severe OSA	26	41.9 ± 8.5	41.9 ± 15.5	89.2 ± 2.1	78.2 ± 10.8

Table 1. Patient ranking according to severity of the obstructive sleep apnea (OSA). The mean apnea-/hypopnea index (AHI), mean apnea index (AI), mean basal oxygen saturation (pO₂-basal) and the minimal oxygen saturation (pO₂-min) in each group are listed (n = number of patients).

Tabelle 1. Aufteilung der Patienten entsprechend des Schweregrades der obstruktiven Schlafapnoe (OSA). Der Mittelwert des Apnoe-/Hypopnoeindex (AHI), des Apnoeindex (AI), der basalen Sauerstoffsättigung (pO₂-basal) und der minimalen Sauerstoffsättigung (pO₂-min) in der jeweiligen Gruppe ist angegeben (n = Anzahl der Patienten).

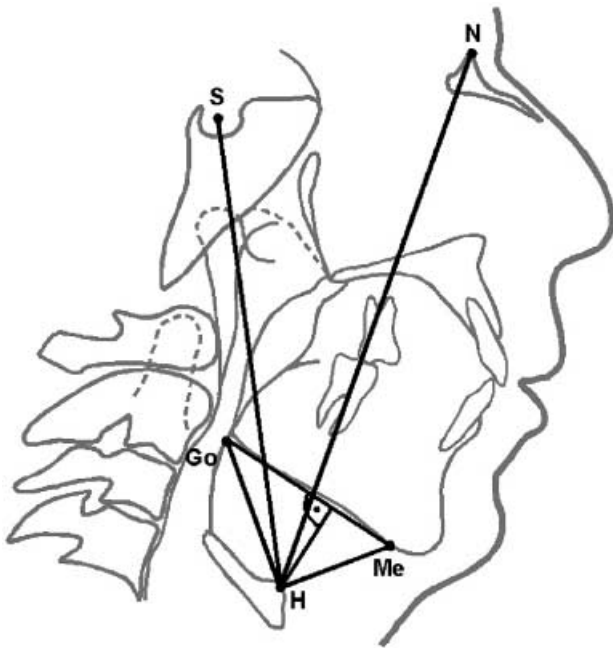


Figure 1. Cephalometric tracing including analysis of the hyoid position (Go: gonion; H: most anterior and cranial point of the hyoid; Me: menton; N: nasion; S: midpoint of the sella).

Abbildung 1. Durchzeichnung eines Fernröntgenseitenbildes mit Einzeichnung der Analyse der Position des Hyoids (Go: Gonion; H: anteriorster kranialster Punkt des Hyoids; Me: Menton; N: Nasion; S: Sellamitte).

AI, and minimal desaturation was the decisive factor [1, 2, 30]. The mean AHI and AI of the patients investigated were $19.4 \pm 13.1/h$ and $9.3 \pm 8.4/h$, respectively.

Radiography was carried out in the lateral plane with the head fixed in a cephalostat with a film-focus distance of 4 m and a midsagittal-to-film distance of 0.1 m. The radiographs were evaluated in accordance with the Freiburg analysis method [29], which comprises nine measurements analyzing the facial skeleton, 13 the jaw base relationship, six the incisor position, and five length of the jaw bases. To determine the skeletal class, the ANB-angle was individualized [26]. In addition a separate analysis of the soft tissue and of the hyoid position was carried out (Figure 1). The position of the most anterior and cranial point of the hyoid (H) was assessed in relation to nasion (N), sella (S), menton (Me), gonion (Go) and to the mandibular plane (MP). The soft-tissue analysis comprised linear analysis of the pharyngeal airway space, uvula, and soft palate; contrast medium was used for enhanced soft-tissue visualization. The dimension of the pharyngeal airway space was assessed at the level of the maxillary plane, the occlusal plane, and the mandibular plane. The length and width of the uvula were also measured (Figure 2).

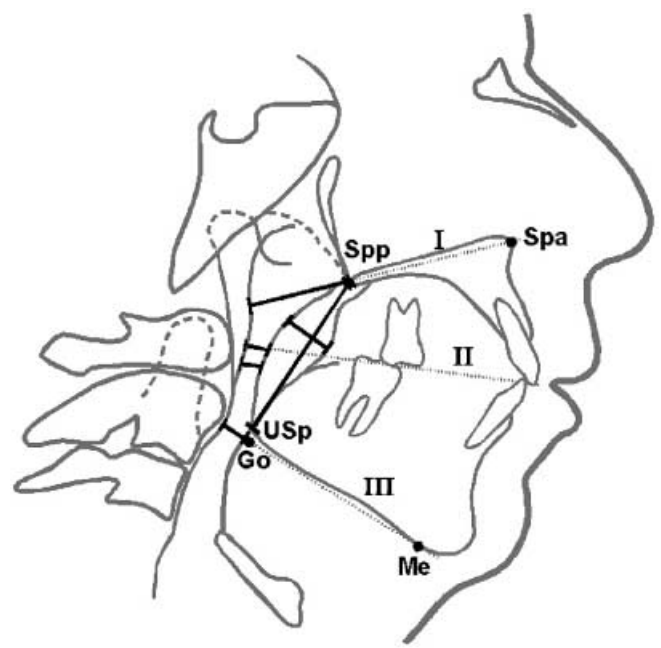


Figure 2. Cephalometric tracing showing the soft-tissue analysis. The uvula was measured in length and width; the pharyngeal airway (PAS) was assessed at the level of the maxillary plane (I), the occlusal plane (II), and the mandibular plane (III), and at the narrowest point (Go: gonion; Me: menton; Spp: posterior nasal spine; Spa: anterior nasal spine; USp: tip of the uvula).

Abbildung 2. Durchzeichnung eines Fernröntgenseitenbildes mit Darstellung der Weichteilanalyse. Die Uvula wurde in der Länge und der Breite vermessen; der pharyngeale Luftraum (PAS) wurde auf der Spina- (I), der Okklusions- (II) und der Unterkieferplanenebene (III) sowie an der engsten Stelle bestimmt (Go: Gonion; Me: Menton; Spp: Spina nasalis posterior; Spa: Spina nasalis anterior; USp: Uvulaspitze).

Richtwert angesehen. Als nicht auffällig wurde ein AI, der unter 2/h lag, beurteilt. Bei Werten von 2–10/h wurde die OSA als leicht, bei Werten zwischen 11 und 20/h als mittelschwer und bei Werten über 20/h als schwer beurteilt. Das Ausmaß des OSA wird durch zusätzliche Befunde in der Polysomnographie wie z.B. die Körperlage, die Häufigkeit von Arousals, die Schlafarchitektur und schnelle Beinbewegungen sowie wesentlich von der Sauerstoffsättigung mitbestimmt. Traten mehr als fünf minimale Entsättigungen pro Stunde Schlaf mit einer Sauerstoffsättigung unter 85% auf, wurde die Ausprägung unabhängig vom AHI als schwer eingestuft. Im Fall der Nichtübereinstimmung der Einteilung innerhalb des Schweregrades war die höchste Einstufung in der jeweiligen Beurteilung des AHI, des AI und der minimalen Sauerstoffsättigung ausschlaggebend [1, 2, 30]. Der durchschnittliche AHI bzw. AI der untersuchten Patienten betrug $19,4 \pm 13,1/h$ bzw. $9,3 \pm 8,4/h$.

Die FRS-Aufnahmen wurden in der Norma lateralis mit einem Kephelostaten bei einem Film-Fokus-Abstand von

Two dental specialists carried out the cephalometric tracings and measurements independently of each other. In the case of deviations of more than 1 mm in the linear analysis and of more than one degree in the angular analysis, a third competent individual was consulted and a decision was made in consensus. Calculation of the method error was based on Dahlberg's formula [5].

Statistical Analysis

The data were statistically evaluated at the Institute of Medical Biometry and Medical Informatics, University of Freiburg i. Br., using the statistical software SAS 6.12 (Statistic Analysis System Institute, Cary, NC, USA). The analysis covered 18 variables from the Freiburg method analysis, six from the pharyngeal analysis, and five from the assessment of the hyoid position. The OSA severity and the BMI were also included in the evaluation. To ascertain any interrelations among the parameters, all parameters were first subjected to cluster analysis. This is a multivariate evaluation procedure detecting data groups based on naturally occurring similarities in an overall group made up of various data; the data within the cluster should be as homogeneous as possible and, outside the cluster, as readily distinguishable from one another as possible.

In the continuing consideration of the diagnostic potential, the severity of the disorder was assessed as a respond variable, using an ordinal logistic regression procedure including the cephalometric data and the BMI as parameters. The "backward elimination" procedure with its greater predictive potential was applied: With the help of multiple regression analysis, an equation is determined to predict a single criterion variable while taking account of various predictor variables. Each predictor variable is subsequently tested to see which one is least valuable in describing that equation. Any variable whose value drops below a given minimum is eliminated from the model. Variables are eliminated progressively in this way until a selected residue of variables with sufficient informative value remains. The standardized estimate indicates the direction of the assessment; negative values indicates an inverse relation.

In general, excess weight is considered a defining predisposing factor in the degree of OSA severity. For this reason the patients were divided into groups with a BMI below 25 kg/m², between 25 and 30 kg/m², and above 30 kg/m². The cephalometric analysis variables of each patient group were analyzed separately with the respond variable of the OSA severity using a logistic regression procedure.

Results

According to the skeletal classification in the sagittal plane, 31 patients (29.2%) had skeletal Class I, 22 pa-

4 m und einem Objekt-Film-Abstand von 0,1 m angefertigt. Die kephalometrische Auswertung der FRS erfolgte nach der Freiburger Methode [29]. Diese umfasst neun den Gesichtsschädelaufbau, 13 den Einbau der Kieferbasen, sechs die Beziehung der Frontzahnstellung und fünf die Metrik beschreibende Messungen. Zur Bestimmung der skelletalen Klasse wurde der ANB-Winkel individualisiert [26]. Zusätzlich wurde eine gesonderte Weichteilanalyse und eine Lagebestimmung des Hyoids durchgeführt (Abbildung 1). Beurteilt wurde die Position des äußersten anterior-kranialen Punktes des Hyoids (H) zu Nasion (N), Sella (S), Menton (Me), Gonion (Go) und zum Unterkieferplanum (MP). Die Weichteilanalyse umfasste die metrische Bestimmung des pharyngealen Luftraumes, der Uvula und des weichen Gaumens. Zur besseren Darstellung der Weichteile wurde in der Untersuchung ein Kontrastmittel verwendet. Die metrische Bewertung des pharyngealen Luftraumes erfolgte auf Höhe der Spinaebene, der Okklusionsebene und der Unterkiefergrundebene. Des Weiteren wurden die Breite und Länge der Uvula ausgemessen (Abbildung 2).

Zwei fachkundige Zahnärzte führten die Durchzeichnung und Auswertung der Fernröntgenseitenbilder unabhängig voneinander durch. Bei Abweichungen von mehr als 1 mm in den linearen Messungen oder von mehr als einem Grad in den angulären Messungen wurde eine dritte Person hinzugezogen und die Bestimmung im Konsens getroffen. Die Berechnung des methodischen Fehlers erfolgte nach der Dahlberg-Formel [5].

Statistik

Die statistische Auswertung wurde im Institut für Medizinische Biometrie und Informatik mit dem Datenverarbeitungsprogramm SAS 6.12 (Statistic Analyse System Institute, Cary, USA) durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte mit 18 Variablen aus der Analyse der Freiburger Methode, sechs Variablen aus der pharyngealen Analyse und weiteren fünf Variablen aus der Bestimmung der Position des Hyoids; ebenfalls wurde der Ausprägungsgrad der OSA und des BMI mit in die Untersuchung aufgenommen. Um mögliche Beziehungen der Parameter untereinander festzustellen, wurden in einer ersten Berechnung alle Variablen einer Cluster-Analyse unterzogen. Die Cluster-Analyse ist ein multivariates Auswertungsverfahren, um aus einer aus unterschiedlichen Daten zusammengesetzten Grundgesamtheit Datengruppen auf der Grundlage natürlich bestehender Ähnlichkeiten herauszufinden; dabei sollen die Werte innerhalb eines Cluster möglichst homogen und außerhalb des Clusters möglichst gut voneinander abgrenzbar sein.

In der fortführenden Betrachtung der diagnostischen Wertigkeit wurde in einer ordinalen logistischen Regressionsanalyse der Schweregrad der Erkrankung als Kriteriumsvariable mit den Parametern der kephalometrischen Analyse und dem BMI in Beziehung gesetzt. Es wurde das aussa-

Parameter	Clinical standard value	Mean ± SD	(S _(i))
NSar (saddle angle) [°]	123 ± 5	121 ± 5.5	0.508
SarGo (articulare angle) [°]	143 ± 6	144 ± 10.5	0.496
ArGoMe (gonial angle) [°]	130 ± 7	124 ± 4.4	0.438
Sum of posterior angle [°]	394	390 ± 9.9	0.433
Go2 (N-Go-ar angle) [°]	70 – 75	74 ± 5.1	0.519
SNA [°]	81	81 ± 4.4	0.459
SNB [°]	79	80 ± 4.7	0.52
ANB [°]	2	0.8 ± 3.4	0.324
Indiv. ANB [°]	0	3.1 ± 1.6	0.421
Pal-OcP [°]	11	9.3 ± 5.7	0.725
Pal-MeGo (basal angle) [°]	14	14.9 ± 4.0	0.552
SN-MeGo [°]	32	30 ± 6.7	0.323
SeN-Pal (Incl. Angle) [°]	85	87 ± 2.8	0.734
NS-Gn (Y-axis) [°]	66	68 ± 6.3	0.214
SGo : NMe x 100 [%]	62 – 65	69.8 ± 5.8	0.892
Length of maxilla [mm]		-1.4 ± 6.8	0.574
Length of mandible [mm]		-2.8 ± 5.7	0.43
Ramus length [mm]		9.8 ± 6.4	0.772
Ph – Pal [mm]		19.9 ± 3.4	0.831
Ph – Ocp [mm]		7.8 ± 2.4	1.375
Ph – UkP [mm]		12.3 ± 3.6	0.625
Narrowest width [mm]		6.3 ± 2.0	0.032
Uvula length [mm]		40.1 ± 4.1	1.774
Uvula width [mm]		9.1 ± 2.3	0.692
H – Menton [mm]		49.8 ± 6.9	0.851
H – MP [mm]		21.7 ± 6.2	0.474
H - Go [mm]		35.3 ± 7.4	0.963
H - N [mm]		139.5 ± 8.6	0.477
H - S [mm]		117.3 ± 9.3	0.518

tients (20.8 %) skeletal Class II, and 53 patients (50%) skeletal Class III. The vertical analysis of the facial skeleton showed 17 patients (16.0%) with neutral, 21 patients (19.8%) with vertical, and 68 patients (64.2%) with a horizontal growth pattern. The data recorded in the patient collective are summarized in Table 2.

The overall group of patients could not be further subdivided statistically in the cluster analysis, i.e., no characteristic individual groups could be distinguished on the basis of the nocturnal respiratory data.

The logistic regression analysis of the data as a whole revealed a correlation between the severity as a criterion variable and the predictor variables BMI and hyoid position; these are expressed in the distances H-MP, H-N, and

Table 2. Descriptive data of the cephalometric analysis. Mean and standard deviations (SD), combined error of methods according to Dahlberg [5] (S_(i)); (n = 106) (N: nasion; S: midpoint of the sella; ar: articulare; Go: gonion; A: A-point; B: B-point; indiv. ANB: individualized ANB [5]; Pal: maxillary plane; OcP: occlusal plane; Me: menton; Se: midpoint of the sella entrance; Ph: dorsal pharyngeal wall; MP: mandibular plane; H: most anterior and cranial point of the hyoid).

Tabelle 2. Deskriptive Angaben der erhobenen röntgenkephalometrischen Daten. Mittelwert und Standardabweichungen (SD), Angabe des kombinierten Methodenfehlers nach Dahlberg [5] (S_(i)); (n = 106) (N: Nasion; S: Sellamitte; ar: Articulare; Go: Gonion; A: A-Punkt; B: B-Punkt; indiv. ANB: individualisierter ANB [5]; Pal: Spina planum; OcP: okklusale Planum; Me: Menton; Se: Mitte des Sellaeingangs; Ph: dorsale Pharynxwand; MP: Mandibularplanum; H: anteriorster kranialster Punkt des Hyoids).

gekräftigere Verfahren der „Backward Elimination“ angewandt. Mit der multiplen Regressionsanalyse wird eine Gleichung zur Vorhersage einer Kriteriumsvariablen bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Prädiktorvariablen bestimmt. Anschließend wird überprüft, welche Prädiktorvariable die geringste Nützlichkeit zur Beschreibung der Gleichung aufweist. Die Variable wird, falls ihre Nützlichkeit einen vorgegebenen Minimalwert unterschreitet, aus dem Modell herausgenommen. Sukzessiv werden so Variable eliminiert, bis schließlich eine selektionierte Restmenge von Variablen mit hinreichender Nützlichkeit für eine Aussage übrig bleibt. Die „Standardized Estimate“ trifft eine Aussage über die Richtung der Bewertung; negative Werte verdeutlichen eine Beziehung in umgekehrter Richtung.

Generell gilt ein erhöhtes Körpergewicht als ein bestimmender prädisponierender Faktor für den Ausprägungsgrad einer OSA. Aus diesem Grund wurde das Patientengut in Gruppen mit einem BMI unter 25 kg/m², zwischen 25 und 30 kg/m² und größer als 30 kg/m² unterteilt. Die Variablen aus der kephalometrischen Analyse der jeweiligen Patientengruppen wurden mit der Zielvorgabe des Schweregrades der OSA in der logistischen Regressionsanalyse gesondert untersucht.

Ergebnisse

Gemäß der skelettalen Einteilung in der Sagittalebene wurde bei 31 Patienten (29,2%) eine skelettale Klasse I, bei 22 Patienten (20,8%) eine Klasse II und bei 53 Patienten (50%) eine Klasse III befundet. Der Gesichtsschädelaufbau in der Vertikalen war bei 17 Patienten (16,0%) neutral, bei 21 Patienten (19,8%) vertikal und bei 68 Patienten (64,2%) horizontal. Die erhobenen Daten des Patientenkollektivs sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Die Grundgesamtheit der Patienten konnte statistisch in der Cluster-Analyse nicht weiter untergruppiert werden; d.h., es ließen sich keine charakteristischen Einzelgruppen unter der Vorgabe der nächtlichen respiratorischen Aus-

H-Me. With an increased severity rating, the hyoid position was found to have assumed a statistically significantly more downward and forward position. The width of the pharynx at the level of the mandibular plane also reached the $p < 0.05$ significance level. In addition, a shortened mandibular ramus was selected by the procedure as a parameter associated with the severity of OSA.

No statistically significant relationship was found between OSA severity and skeletal class, vertical craniofacial growth pattern, metric or linear relations, or sagittal pharyngeal distances at the levels of the maxillary plane or of the occlusal plane. In the interests of clarity, Table 3 shows only those explanatory variables that were not eliminated from the model.

When those patients with a BMI above 30 kg/m^2 were excluded from the procedure, the BMI and the position of the hyoid with the variables H-N and H-Me remained statistically relevant. While the ramus length maintained only slight significance in the model, the width of the pharynx at the mandibular plane was eliminated as a variable (Table 4).

In the subgroup of patients with a BMI below 25 kg/m^2 , no cephalometric parameters relating to the degree of OSA severity could be established.

In the skeletal analysis, the angular measurements were recorded with a mean method error of 0.47° , and the linear measurements with a mean error of 0.59 mm . The Y-axis had the smallest, and the inclination angle the largest method error.

Table 3. Significant parameters in the logistic regression procedure with the response variable "severity of OSA" (BMI: body mass index; H: most anterior and cranial point of the hyoid; Me: menton; N: nasion; MP: mandibular plane; Ph MP: pharyngeal width at the level of the mandibular plane; Ramus length: length of mandibular ramus) ($n = 106$).

Tabelle 3. In der logistischen Regressionsanalyse unter der Zielvorgabe Ausbildungsgrad der OSA signifikante Parameter (BMI: Bodymass-Index; H: anteriorster kranialster Punkt des Hyoids; Me: Menton; N: Nasion; MP: Unterkieferplanum; Ph MP: Pharynxbreite auf Unterkieferplanum; Ramus length: Länge des Ramus ascendens) ($n = 106$)

Selected variables	$pr > \chi^2$	Odds ratio	Standardized estimate
BMI	0.021	4.404	+ 0.25
H – MP	0.028	1.295	+ 0.284
H – Me	0.0112	1.038	- 0.284
H – N	0.0112	1.083	+ 0.382
Ph – MP	0.042	1.134	- 0.225
Ramus length	0.021	0.928	- 0.294

wertungsparameter innerhalb des Patientengutes unterscheiden.

In der logistischen Regressionsanalyse bestand bei der Betrachtung der gesamten Daten eine Beziehung des Schweregrades als Kriteriumsvariable zu den Prädiktorvariablen BMI und Position des Hyoids; diese kommen in den Strecken H-MP, H-N und H-Me zum Ausdruck. Es zeigte sich, dass das Hyoid bei steigendem Schweregrad der Erkrankung statistisch signifikant nach kaudoventral verlagert war. Auf Höhe des Unterkieferplanums wurde die Weite des Pharynx auf dem Signifikanzniveau $p < 0,05$ erfasst. Des Weiteren wurde ein kleiner Ramus ascendens des Unterkiefers als ein mit dem Schweregrad der OSA einhergehender Parameter bei der Prozedur ausgewählt.

Zur skelettalen Klasse, zum Gesichtschädelaufbau, zu den metrischen, linearen Verhältnissen und zu den sagittalen pharyngealen Dimensionen ließen sich auf Höhe des Spinalplanums und des Okklusionsplanums keine statistisch signifikanten Beziehungen zum Schweregrad der Erkrankung feststellen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die in der statistischen Prozedur nicht eliminierten Parameter dargestellt (Tabelle 3).

Wurden die Patienten mit einem BMI über 30 kg/m^2 aus der Prozedur herausgenommen, blieben der BMI und die Position des Hyoids mit den Werten H-N und H-Me statistisch bestehen. Während die Länge des Ramus ascendens in der Prozedur mit einer schwachen Signifikanz erhalten blieb, wurde die Weite des pharyngealen Luftraumes auf Höhe des Unterkieferplanums eliminiert (Tabelle 4).

In der weiteren Untergruppierung der Patienten mit einem BMI unter 25 kg/m^2 ließen sich keine kephalometrischen Parameter ausarbeiten, die in einem Zusammenhang mit dem Schweregrad der Erkrankung standen.

Table 4. Significant parameters in the logistic regression procedure with the body mass index (BMI) taken into account (H: most anterior and cranial point of the hyoid; Me: menton; N: nasion) (patients with a BMI below 30 kg/m^2 , $n = 82$).

Tabelle 4. Signifikante Parameter der logistischen Regressionsanalyse unter Berücksichtigung des Bodymass-Index (BMI) (H: anteriorster kranialster Punkt des Hyoids; Me: Menton; N: Nasion) (Patienten mit einem BMI $< 30 \text{ kg/m}^2$, $n = 82$).

Selected variables	$pr > \chi^2$	Odds ratio	Standardized estimate
BMI	0.0199	1.289	+ 0.288
H – MP	0.0182	1.231	+ 0.458
H – Me	0.0112	0.908	- 0.373
H – N	0.0036	0.908	+ 0.386
Ramus length	0.0203	0.917	- 0.340

Discussion

Skeletal and soft-tissue structures of the upper pharynx can be assessed in lateral cephalograms. Despite the shortcoming of their two-dimensionality and the fact that they are static shots taken with the patient in an upright position, the relevance of cephalometry in diagnosing OSA has been the subject of numerous studies. The results of the present cephalometric investigation of 106 patients revealed no craniofacial anomalies encouraging pharyngeal obstruction, apart from a short mandibular ramus.

A connection between craniofacial anomalies and OSA severity is reported in the literature [18, 28, 36]; such anomalies have led some authors to develop mechanical and surgical forms of therapy claimed to induce structural changes that in turn lead to a reduction in OSA symptoms [12, 16, 31]. A wide range of treatment options is currently being applied with varying degrees of success, e.g. oral appliance therapy, bimaxillary osteotomy, and uvulopalatopharyngoplasty. Oral protrusive appliances induce changes in the position of the mandible, the tongue and the adjacent soft tissue, with the pharynx being widened and muscle tone enhanced to prevent the pharynx from collapsing during sleep [15, 21]. The present study confirms that OSA treatment based on morphological criteria does not necessarily reduce OSA severity, because there is no strict causal relation between those parameters. It can be concluded from this study that the effects induced by an oral appliance, such as improved muscle tone, and tightening and functional stimulation of the muscles of the tongue and of the floor of the mouth, are of greater causal significance than was previously believed.

Cephalometry used as a diagnostic tool involves recording a static image of a patient who is awake and whose head is in an upright position. The body position, including head posture, and the muscle tone stabilizing the pharynx, are not constant but may change within the different sleep stages. A change from supine to upright position entails a change in the oropharyngeal proportions and in the position of the tongue and of the uvula [14, 25]. Craniofacial anomalies in skeletal structures do not depend on body position and can thus be recorded cephalometrically. The most frequent anomalies are micrognathia, a downward and anterior position of the hyoid, an enlarged uvula, an extended soft palate, and a constricted pharyngeal airway. However, data in the literature are inconsistent, so that a meta-analysis of 143 studies evaluating cephalometric anomalies in patients with OSA found no clear-cut morphological characteristics [22]. Although the present study provided statistical confirmation of that finding, it is emphasized that it may not apply to patients with extreme skeletal anomalies such as craniofacial syndromes [32].

Even a differentiated assessment of patients according to the BMI, as carried out in the recent literature [24, 36],

In der skelettalen Analyse wurden die Winkelmessungen mit einem methodischen Fehler von durchschnittlich $0,47^\circ$ und die Streckenmessungen von $0,59$ mm genau bestimmt. Der methodische Fehler war bei der Bestimmung der Y-Achse am geringsten und bei der Bestimmung des Inklinationswinkels am größten.

Diskussion

In der lateralen Röntgenaufnahme des Schädels können sowohl Skelett- als auch Weichteilstrukturen des oberen Pharynx beurteilt werden. Trotz der Einschränkung auf zwei Dimensionen und der statischen Momentaufnahme in aufrechter Position wurde in zahlreichen Untersuchungen der Bedeutung der Röntgenkephalometrie bei der Diagnostik der OSA nachgegangen. Die Ergebnisse der vorliegenden kephalometrischen Untersuchung von 106 Patienten lassen in Bezug auf den Schweregrad der Erkrankung bis auf einen verkürzten Ramus ascendens keine kraniofazialen Auffälligkeiten erkennen, die eine pharyngeale Obstruktion begünstigen.

Ein Zusammenhang zwischen kraniofazialen Auffälligkeiten und dem Schweregrad einer OSA wird in der Literatur beschrieben [18, 28, 36]; einige Autoren leiten daraus mechanische und chirurgische Therapieformen ab, die über Veränderungen der Strukturen eine Verbesserung der Erkrankung bewirken sollen [12, 16, 31]. Eine Vielzahl von differierenden Therapieoptionen, wie z.B. die IPG-Therapie, die bimaxillären Umstellungsosteotomien oder die Uvulopalatopharyngoplastiken, werden derzeit mit unterschiedlichem Erfolg angewandt. Intraorale Protrusionsgeräte bewirken eine Lageveränderung des Unterkiefers, der Zunge und der benachbarten Weichteile. Dabei werden der Pharynx erweitert und der Muskeltonus erhöht, um so einen Kollaps des Pharynx während des Schlafes zu verhindern [15, 21]. Die vorliegende Untersuchung belegt, dass eine therapeutische Veränderung morphologischer Strukturen nicht zwangsläufig mit einer Verbesserung des Schweregrades der OSA einhergehen muss, da diese nicht, wie in dieser Studie nachgewiesen, in jedem Fall direkt kausal mit dem Schweregrad der Erkrankung in Beziehung steht. Aus der Studie kann geschlossen werden, dass der Wirkung der IPG über eine Tonussteigerung der Muskulatur, eine Straffung und einen funktionellen Reiz auf die Mundboden- und Zungenmuskulatur kausal eine größere Bedeutung zukommt, als bisher angenommen wurde.

Die Auswertungsmethode des FRS ist eine statische Momentaufnahme bei aufrechter Kopfhaltung im wachen Zustand des Patienten. Während des Schlafes sind die Körperposition und damit auch die Kopfhaltung und der den Pharynx stabilisierende Muskeltonus nicht konstant, sondern können sich entsprechend der verschiedenen Schlafphasen ändern. Durch den Wechsel von der liegenden in die aufrechte Position ändern sich die oropharyngealen Verhältnisse, die Lage der Zunge und die Position der Uvula [14, 25].

provided no further evidence. Patients with normal body weight displayed no more OSA-associated morphological anomalies than obese patients. The hypothesis of non-obese patients with severe sleep apnea (= AHI above 50/h) having a vertical craniofacial growth pattern could not be confirmed [24].

The downward and forward position of the hyoid to the mandibular plane recorded in the present study has been described in numerous studies regardless of differing cephalometric methods and diverse statistical procedures. There are multifactorial reasons for the change in hyoid position in relation to the mandibular plane in patients with nocturnal respiratory disorders. The hyoid position is influenced by the position of the tongue and the ratio of supra- to infrahyoid muscle groups. A similar downward and forward position of the hyoid was noted in children with enlarged tonsils and adenoids [4]. Apparently an altered postural tongue position is assumed that adapts to the narrowing of the upper airway; this altered tongue position enlarges the posterior airway, reducing the nasopharyngeal resistance [20]. Furthermore, children with an obstruction in the upper airway region adopt a more anterior head position with increased craniocervical stretching [10, 23, 34]. With this altered habitual head posture, the position and the tone of the supra- and infrahyoid muscles are changed; the hyoid adopts a downward and forward position relative to the mandible [9]. The increased initial tension in the musculature, noted in electromyographic investigations [7], might stabilize the hyoid and prevent nocturnal collapse of the pharyngeal airway. A shortening of the mandibular ramus appeared to be a borderline factor. However, as an isolated morphometric parameter, this should not be given too much weight.

Compared with other investigations [17] the number of patients with skeletal Class III was high at 47.2%; this increased incidence can be adequately explained by the fact that the Southern Baden region of Germany has a disproportionately large population with skeletal Class III malocclusion [13]. It has to be stressed that the skeletal class is not predictive of the severity of OSA in the present study. The size of the uvula and of the soft palate is relatively insignificant with regard to the severity of OSA, especially as these parameters cannot be recorded in the lateral cephalogram in their transversal dimension.

Conclusions

Conclusions regarding the role of skeletal and pharyngeal cephalometric parameters in determining OSA severity can only be drawn within very narrow limits when using multidimensional statistical procedures [35]. An indication for lateral radiography of the skull serving as a diagnostic basis in patients with nocturnal obstructive respiratory disorders seems questionable from the aspect of direct diagnostic relevance. The extent to which the diag-

Kraniofaziale Anomalien der skelettalen Strukturen sind nicht lageabhängig und sind mit der FRS-Analyse erfassbar. Zu den am häufigsten beschriebenen Auffälligkeiten zählen eine Mikrognathie, eine tiefe und anteriore Position des Hyoids, eine vergrößerte Uvula, ein verlängerter weicher Gaumen und ein verkleinerter pharyngealer Luftraum. Dennoch sind die Angaben in der Literatur widersprüchlich, sodass in einer Metaanalyse von 143 Studien, die sich mit kephalometrischen Auffälligkeiten bei Patienten mit OSA beschäftigt haben, keine eindeutigen morphologischen Charakteristika herausgestellt werden konnten [22]. Die vorliegende Studie unterstreicht die Erkenntnis statistisch. Es sei aber betont, dass bei extremen Abweichungen, wie z.B. im Rahmen von kraniofazialen Syndromen, sich dieses im Einzelfall anders darstellen kann [32].

Auch eine differenzierte Beurteilung der Patienten entsprechend des BMI, wie sie in der neueren Literatur durchgeführt wurde [24, 36], ergab in dieser Untersuchung keine weiteren Erkenntnisse. Statistisch zeigten normalgewichtige Patienten nicht mehr morphologische Auffälligkeiten als adipöse Patienten. Ein möglicher vertikaler Gesichtsschädelaufbau bei nicht adipösen Patienten mit schwerster Schlafapnoe (AHI über 50/h) konnte nicht verifiziert werden [24].

Die in dieser Studie gefundene kaudoventrale Stellung des Hyoids zum Unterkiefer wird in zahlreichen Studien ungeachtet verschiedener FRS-Analysemethoden und differenter statistischer Verfahren beschrieben. Der Grund für die Positionsänderung des Zungenbeins in Relation zur Unterkieferbasis bei Patienten mit nächtlichen Atemregulationsstörungen ist mehrfaktoriell. Bedingt wird die Stellung des Hyoids durch die Zungenlage und durch das Verhältnis von supra- und infrahyoidaler Muskulatur. Eine ebenfalls kaudoventrale Lage des Hyoids wird bei Kindern mit vergrößerten Tonsillen und Adenoiden beschrieben [4]. Offensichtlich wird adaptativ an die Einengung des oberen Luftraumes eine veränderte Zungenruhelage eingenommen, die den posterioren Luftraum vergrößert und den Atemwegwiderstand reduziert [20]. Des Weiteren nehmen Kinder mit einer Obstruktion im Bereich der oberen Luftwege eine nach anterior ausgerichtete Kopfposition mit verstärkter kraniozervikaler Streckung ein [10, 23, 34]. Mit der veränderten habituellen Kopfhaltung werden die Lage und die Spannung der supra- und infrahyoidalen Muskulatur verändert; relativ zum Unterkiefer gelangt das Hyoid in eine kaudoventrale Lage [9]. Die höhere Vorspannung der Muskulatur, die in elektromyographischen Untersuchungen nachgewiesen werden konnte [7], führt zu einer Stabilisierung des Hyoids und bewahrt den pharyngealen Luftraum vor einem nächtlichen Kollabieren. Grenzwertig stand ein verkleinerter Ramus ascendens mit dem Schweregrad der OSA in Beziehung. Als isolierter morphologischer Parameter sollte dieser nicht überinterpretiert werden.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen [17] war der Anteil von Patienten mit einer skelettalen Klasse III mit

nostic tool used in the present study can provide reliable information on the predicted treatment outcome when using an oral protrusive appliance is the subject of Part II of this study. Any morphologically induced obstructions in the pharyngeal region can be evaluated more reliably by three-dimensional endoscopic and/or tomographic procedures such as magnetic resonance imaging or computed tomography and should therefore be given preference in differential diagnostics.

47,2% hoch; diese Häufung kann hinreichend durch die regionale Besonderheit des südbadischen Raumes mit einem hohen Anteil der skelettalen Klasse III in der Population erklärt werden [13]. Es ist zu betonen, dass in der vorliegenden Untersuchung die skelettale Klasse statistisch keine Aussage über den Schweregrad des OSA zulässt. Die Größe der Uvula und des weichen Gaumens ist für den Schweregrad weniger wichtig, zumal diese Parameter im FRS nicht in ihrer transversalen Dimension erfasst werden können.

Schlussfolgerung

Unter Verwendung von mehrdimensionalen statistischen Verfahren können aus den skelettalen und pharyngealen kephalometrischen Parametern nur sehr begrenzt Rückschlüsse auf den Schweregrad einer OSA gezogen werden [35]. Eine Indikation zur Anfertigung eines FRS als Basisdiagnostik bei Patienten mit nächtlichen obstruktiven Atemregulationsstörungen erscheint unter dem Aspekt der unmittelbaren diagnostischen Relevanz durchaus fragwürdig. Inwiefern die verwendete Analyseform möglicherweise prädikative Informationen zum zu erwartenden Therapieerfolg bei der Anwendung von intraoralen Protrusionsgeräten liefern kann, wird in Teil II dieser Studie dargestellt werden. Etwaige morphologisch bedingte Obstruktionen im Bereich des Pharynx können dreidimensional endoskopisch oder in radiologischen Schichtverfahren, wie der Magnetresonanztomographie und der Computertomographie, verlässlicher erfasst werden und sind deshalb als differentialdiagnostische Verfahren vorzuziehen.

References

- American Sleep Disorders Association. Standards of Practice Committee. Practice parameters for the treatment of snoring and obstructive sleep apnea with oral appliance. *Sleep* 1995; 152:501–10.
- American Sleep Disorders Association. Indication for polysomnography and related procedures. *Sleep* 1997;20:423–87.
- Bacon W, Turlot J, Krieger J, et al. Cephalometric evaluation of pharyngeal obstructive factors in patients with sleep apnea syndrome. *Angle Orthod* 1990;60:115–22.
- Behlfeld K, Lindner-Aronson S, McWilliam J, et al. Dentition in children with enlarged tonsils compared to control children. *Eur J Orthod* 1989;11:416–29.
- Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publication, 1949.
- DeBerry-Borowiecki B, Kukwa A, Blanks R. Cephalometric analysis for diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea. *Laryngoscope* 1988;98:226–33.
- Forsberg CM, Hellsing E, Lindner-Aronson S, et al. EMG activity in neck and masticatory muscles in relation to extension and flexion of the head. *Eur J Orthod* 1985;7:177–84.
- Guilleminault C, Riley R, Powell N. Obstructive sleep apnea and cephalometric roentgenograms. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130:145–6.
- Hellsing E. Changes in the pharyngeal airway in relation to extension of the head. *Eur J Orthod* 1989;11:359–65.
- Hellsing E, Forsberg CM, Linder-Aronson ST, et al. Changes in postural EMG activity in the neck and masticatory muscles following obstruction of the nasal airways. *Eur J Orthod* 1986;8:247–53.
- Hierl T, Hümpfner-Hierl H, Frerich B, et al. Obstructive sleep apnoea syndrome: results and conclusion of a principle component analysis. *J Cranio Maxillofac Surg* 1997;25:181–85.
- Hochban W, Brandenburg U, Schürmann R. Zur Gesichtsschädelmorphologie beim obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom und ihren Einfluß auf die Atemwegsobstruktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:777–82.
- Hübler M. Anomaliehäufigkeitsveränderungen innerhalb der letzten 3 Jahrzehnte auf der Grundlage von 2036 klinischen Behandlungsbögen der kieferorthopädischen Abteilung der Universität Freiburg i. Br. – eine soziographische-epidemiologische Studie. Freiburg i. Br.: Med Diss, 1996.
- Hudgel DW, Hendriks C. Palate and hypopharynx-sites of inspiratory narrowing of the upper airway during sleep. *Am Rev Respir Dis* 1988;138:1542–7.
- Johal A, Battagel J. An investigation into the changes in airway dimension and the efficacy of mandibular advancement appliances in subjects with obstructive sleep apnoea. *Br J Orthod* 1999;26:205–10.
- Lowe AA. Dental appliances for the treatment of snoring and obstructive sleep apnea. In: Kryger MH, Roth T, Dement WC, eds.

- Principles and practice of sleep medicine, 2nd edn. Philadelphia: Saunders, 1994:722–35.
17. Lowe AA, Ono T, Ferguson K, et al. Cephalometric comparison of craniofacial and upper airway structure by skeletal subtype and gender in patients with obstructive apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:653–64.
 18. Lowe AA, Santamaria J, Fleetham J, et al. Facial morphology and obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986; 90:484–91.
 19. Lowe AA, Takashi O, Ferguson K, et al. Cephalometric comparison of craniofacial and upper airway structure by skeletal subtype and gender in patients with obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:1–14.
 20. Lowe AA, Takado K, Yamagata Y, et al. Dentoskeletal and tongue soft-tissue correlates: A cephalometric analysis of rest position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1985;88:333–41.
 21. Mayer G, Meier-Ewert K. Cephalometric predictors for orthopaedic mandibular advancement in obstructive sleep apnoea. *Eur J Orthod* 1995;17:35–43.
 22. Miles P, Vig P, Weyant R, et al. Craniofacial structure and obstructive sleep apnea syndrome – a qualitative analysis and meta-analysis of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109:163–71.
 23. Özbek M, Miyamoto K, Lowe AA, et al. Natural head posture, upper airway morphology and obstructive apnoea severity in adults. *Eur J Orthod* 1998;20:133–43.
 24. Pae EK, Ferguson K. Cephalometric characteristics of non-obese patients with severe OSA. *Angle Orthod* 1999;69:408–12.
 25. Pae EK, Lowe AA, Sasaki K, et al. A cephalometric and electromyographic study of upper airway structure in the upright and supine position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:52–9.
 26. Panagotitis G, Witt E. Der individualisierte ANB-Winkel. *Fortschr Kieferorthop* 1977;38:406–16.
 27. Peppard P, Young T, Palata M, et al. Prospective study of the association between sleep disordered breathing and hypertension. *N Engl J Med* 2000;11:1378–84.
 28. Pradel W, Schmidt TF, Paditz E, et al. Stellenwert der Kephelometrie bei OSAS im Erwachsenen-Alter. *Deutscher Kongreß für Schlaf-forschung und Schlafmedizin*, 6. Jahrestagung der DGSM 1999:108.
 29. Rakosi T. *Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse*, 2. Aufl. München–Wien: Hanser, 1988.
 30. Rechtschaffen A, Kales A. *A manual of standardized terminology, techniques and scoring systems for sleep stages of human subjects*. Public Health Services. Washington DC: US Government Printing Office, 1968.
 31. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Obstructive sleep apnea and the hyoid: a revised surgical procedure. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1994;111:717–21.
 32. Schäfer ME. Upper airway obstruction and sleep disorders in children with craniofacial anomalies. *Clin Plast Surg* 1992;9:555–67.
 33. Shelton KE, Woodson H, Spencer G, et al. Pharyngeal fat in obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 1993;148:462–6.
 34. Solow B, Ovesen J, Nielson PW, et al. Head posture in obstructive sleep apnoea. *Eur J Orthod* 1993;15:107–14.
 35. Tangugsorn V, Krogstad O, Espeland L, et al. Obstructive sleep apnea: A principal component analysis. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 1999;14:215–28.
 36. Tsuchiya M, Lowe AA, Pae EK, et al. Obstructive sleep apnea subtypes by cluster analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:533–42.
 37. Young T, Palata M, Dempsey J, et al. The occurrence of sleep-disordered breathing among middle-aged adults. *N Engl J Med* 1993;328:1230–5.

Correspondence Address

Dr. Dr. Edmund Rose
 Department of Orthodontics
 University of Freiburg
 Hugstetter Strasse 55
 79106 Freiburg i. Br.
 Germany
 Phone (+49/761) 270-4839, Fax -4852
 e-mail: rose@zmk2.ukl.uni-freiburg.de