



Ortodontik Uzman Sistemler

A Review of Orthodontic Expert Systems

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, ortodontide uzman sistemler konusunda bir derleme yapmaktır. Özellikle son yıllarda dijital teknoloji tüm bilim alanlarında daha çok yer bulmaya başlamıştır ve ortodontinin de dijital çağdan uzak kalamayacağı açıktır. Ayrıca, teşhis yöntemlerinin gelişmesi ile malokluzyonların incelenmesinde birçok faktör ve ölçümler rol almakta ve dolayısıyla ortodontik tedavi planlamaları daha karmaşık bilgilerin değerlendirildiği bir sürece dönüşmektedir. Ortodontik uzman sistemler, hasta ile ilgili birçok verinin bilgisayar programları yardımıyla değerlendirilerek klinisyene bir tedavi planlaması sunulması mantığına dayanmaktadır. Bu çalışmada, tıp ve diş hekimliğinde giderek yaygınlaşan bir yöntem olan uzman sistemlerin ortodonti alanındaki gelişim süreci ve önemi sunulmaktadır. (Türk Ortodonti Dergisi 2007;20:265-272)

Anahtar Kelimeler: Ortodontik, Uzman sistemler

SUMMARY

The aim of the current study was to introduce a review on orthodontic expert systems. Particularly, in the recent years there is an increase in digital technology to be involved in all scientific fields and it is obvious that orthodontics can not be distant from the digital era. In addition, many factors and measurements are involved in evaluating the malocclusions, as a result of the development of diagnostic methods therefore orthodontic treatment planning process turn into a more complex course. The orthodontic expert systems are based on the logic that a lot of patient data is assessed by the help of computer programs and a treatment plan is presented to the clinician. In the current study, the developmental course and importance of expert systems in the orthodontic field has been presented, which is a gradually expanding method in medical and dental specialties. (Turkish J Orthod 2007;20:265-272)

Key Words: Orthodontic, expert systems



Doç.Dr. M. Okan AKÇAM

Ankara Üniv. Dişhek. Fak.
Ortodonti A.D. / Ankara Univ.
Faculty of Dentistry Dept. of
Orthodontics, Ankara, Turkey

Yazışma adresi:
Corresponding Author:
Dr. M. Okan Akçam
Ankara Üniversitesi, Diş
Hekimliği Fakültesi, Ortodonti
Anabilim Dalı
Beşevler, 06500, Ankara, Turkey
Tel: + 90 312 2122708/34
Faks: + 90 312 21 30960
E-Mail:
akcam@dentistry.ankara.edu.tr



GİRİŞ

Uzman sistemler, belirli bir konuda ancak bir uzmanın çözebileceği karmaşık problemlerin bilgisayar yardımı ile çözümüne olanak sağlayan sistemlerdir. Bu tip sistemler, problemlerin çözümünde insan düşünce sistemini yapay zeka yardımı ile taklit ederler ve bünyelerinde var olan bilgi ile sonuca varırlar.

Uzman sistemlere ait ilk çalışmalar Standford Üniversitesi'nde başlatılmış ve Prof. Edward Feigenbaum uzman sistemleri "bilgi ve çıkarım yöntemlerini kullanarak uzman bilgisi gerektiren zor problemleri çözebilen akıllı bilgisayar programları" olarak tanımlamıştır (1).

Uzman sistemlerin temel çalışma prensipleri şöyledir: Kullanıcı, uzman sistem programına verileri girer ve karşılığında uzman tavsiyesi alır. Uzman sistemler genelde iki ana yapıdan oluşur. Bunlardan birincisi bilgi tabanıdır ve doğruluğu önceden bilinen gerçekleri içerir. İkinci yapı olan karar motoru ise, bilgi tabanında bulunan bilgiyi kullanarak kullanıcının sorduğu sorulara uygun sonuçlar çıkarır. Şekil 1'de bir uzman sistemin çalışma prensibi gösterilmiştir.

Uzman sistemler çoğunlukla fuzzy logic (bulanık mantık) ile oluşturulmuş sistemlerdir ki bunlara fuzzy expert systems denir. Bulanık mantık diş hekimliği ve tıp alanlarında kesin olmayan özellikleri olan problemlerin çözümüne yönelik doğru tavsiyeler verebilecek bir sistemin kurulması için uygulanmıştır (2-7). Bulanık mantık geleneksel ve belirleyici olan iki değerli mantığın, örneğin evet/hayır, yüksek/alçak, ya da doğru/yanlış gibi, arasındaki orta değerlerin tanımlanmasına olanak tanıyan çoklu değerli bir mantıktır. Ara değerler matematiksel olarak 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi olarak tanımlanabilir ki 0 üyelik dışı olmayı 1 ise tam üyeliği ifade eder. Bulanık mantığın uygulama alanları oldukça geniştir, sağladığı en büyük yarar ise belirsiz kavramların dahi matematiksel olarak ifadesini edilebilmesine olanak tanımasıdır. Bulanık mantık tıpta medikal bulguların yorumlanması, sendromların ayrıştırılması gibi konular için geliştirilen bilgi tabanlı sistemler için son derece uygun ve uygulanabilir (8).

INTRODUCTION

Expert systems provide an opportunity for solving complex problems within a certain subject which can only be solved by an expert by the help of computers. This type of system imitates the human intelligence system by the help of artificial intelligence and reach a conclusion by using the knowledge stored.

The first studies on expert systems started at Stanford University and Prof. Edward Feigenbaum described the expert systems like "intelligent computer programs that use knowledge and inference procedures for solving complex problems that require expert knowledge" (1).

The basic working principles of expert systems are as follows; Person who use the system provides the data to the system and gets an expert advice. In general, expert systems have two main components; ie. Knowledge-base which involves the facts that is known to be correct and Inference engine which uses the knowledge in the database and inferes results for the questions asked by the user. Figure 1 shows the main working principles of an expert system.

Expert systems are generally build with the fuzzy logic and these systems are called fuzzy expert systems. Fuzzy logic has been applied to dental and medical sciences in order to construct a system which can infer precise recommendations for solving problems that have uncertain properties (2-7). Fuzzy logic is a multi-valued logic that allows intermediate values of certainty to be defined between conventional deterministic two-valued logic such as yes/no, high/low or true/false. Intermediate values can be expressed mathematically in terms of membership grades which range between 0 and 1 where 0 represents non-membership and 1 complete membership. Fuzzy logic has a broad application areas, and its most important benefit is to be able to express even the vague concepts mathematically. Fuzzy logic is a highly suitable and applicable basis for developing knowledge-based systems in medicine for tasks such as the interpretation of sets of medical findings, syndrome differentiation etc (8).

"For to err in opinion, though it be not the



Pluto'nun "düşüncedeki yanılığlar, akıllı bir insana göre olmasada, en azından insanıdır" sözleri, tıp alanında yapılan insan hataları ikilemini oldukça güzel tarif etmektedir (9). Sonuç olarak günümüzde teşhis ve tedavi planlamalarına destek olmak için bilgisayarlı uzman sistemlerin yapımı artarak sürmektedir ve bu makale dijital çağda önemli artacak olan ortodontik uzman sistemler üzerine bir derleme sunmaktadır.

Uzman Sistemler

Uzman sistemler, teşhis ve tedavi planlamalarında destek sağlamak amacıyla üretilen bilgi tabanlı bilgisayar programlarıdır. Bilgi tabanlı sistemler, normalde insan zekası gerektiren problemlerin çözümünde kullanılabilen ve içeriğinde bilginin temsilinin sağlandığı bilgisayar programlarıdır. Klinikyenlere karar vermede yardımcı olurlar.

Dental ve ortodontik uygulamaları içeren literatür taramaları bu konuda artan sayılda makale olduğunu göstermektedir (10). 1987'den 2006 yılına kadar olan dönemde PubMed taramasında anahtar kelimeleri "Expert System, Orthodontics" olan 21 çalışma ve "Orthodontic Expert System" olan 18 çalışma saptanmıştır.

Ortodonti uzmanlık alanı dijital çağdan ayrı düşünülemez. Dijital sefalometri ve analiz, 3 boyutlu taramalar, 3 boyutlu yumuşak doku profil analizi, braket tasarımı, tele dişhekimliği, vaka planlamalarında internet kullanımı ve bilgisayar destekli öğrenim gibi dijital sistemlere doğru yavaş bir dönüşüm başlamıştır. Bu çalışma, teşhis ve tedavi planlaması yapmak amacıyla geliştirilen "ortodontide uzman sistemler" üzerine bir derleme olarak planlanmıştır.

Temel Tanımlamalar (11)

Uzman sistem; bilgi tabanı ve bir dizi algoritmalar ya da kurallar içeren bilgisayarlarda insan bilgisini temsil eden ve bilgiden ve girilen verilerden hareketle yeni sonuçlar üretebilen bir bilgisayar programıdır (12).

Yapay zeka; biçimsel bilgiyi ifade dilini kullanarak anlatılan bir bilgi koleksiyonudur. Yapay zeka, insan düşüncesini bilgisayarlarda modelleme girişimi olarakta görüle-

part of wise men, is at least human." Plutarch describes well the current dilemma of too many human errors in the medical area (9). Consequently, computer expert systems are being utilised increasingly in medical/dental fields to assist diagnosis and treatment planning recently and this article presented a contemporary review on orthodontic expert systems, that will have an increased importance in the digital era.

Expert Systems

Expert systems are knowledge-based computer programs designed to provide assistance in diagnosis and treatment planning. Knowledge-based systems are computer programs that contain a representation of knowledge that can be used to solve problems normally requiring human intelligence. They assist the clinician in decision making.

A search of the literature on expert system design for dental and orthodontic applications showed an increase in the number of articles on this subject (10). A total of 21 studies were recorded from 1987 to 2006 by PubMed search with the keywords "Expert System, Orthodontics" and 18 studies with keywords "Orthodontic Expert System".

Orthodontic specialty can not be independent of the digital era. A slow transformation has been occurred to digital systems such as digital cephalometry and analysis, 3-D scanning, 3-D soft tissue profile analysis, bracket design, teledentistry, internet in case planning and computed assisted learning. The current study was designed for a review on "expert systems in orthodontics" developed for diagnosis and treatment planning.

Basic Definitions (11)

Expert system; A computer program which represent human knowledge in computers containing a knowledge base and a set of algorithms or rules that infer new facts from knowledge and from incoming data (12).

Artificial intelligence; a collection of knowledge expressed using some formal knowledge representation language. Artificial Intelligence can be seen as an attempt to model aspects of human thought on computers.

Algorithm / programming; A detailed sequ-



bilir.

Algoritma/programlama; bir görevi başarıya ulaştırmak için yapılan detaylı ardışık faaliyetlerdir ki İran'lı matematikçi Al-Khawarizmi'nin ismi ile özdeşleşmiştir.

Uzman sistemler çıkarım cümlecikleri ile çalışır, örneğin eğer-öyleyse gibi ve klinisyenlere teşhislerinde önemli ölçüde yardımcı olurlar (13). Örnek bir çıkarım şöyle olabilir: eğer hastada artmış bir vertikal yapı varsa, high-pull headgear kullanabilir.

Ortodontik Uzman Sistemler

Günümüze kadar ortodonti alanında birçok bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bunlar, ortodontik aparatların mekanik özellikleri, sefalometri, VTO, teşhis, eğitim, muayene yönetimi ve tedavi planlamaları gibi konuları kapsamışlardır.

Gelecekteki bilgisayar kullanımı öngörüldüğünde, çağdaş ortodontik tedaviler için değerli insan deneyimleri ve zekasının matematiksel bir modele dönüştürülmesinin önemi açıktır, zira yeni bilimsel alanların, diferansiyel diyagnoz ve tedavi planlamalarının ortaya çıkması ile tedavi planlamaları daha karmaşık bir işleme dönüşmektedir.

Optimal bir tedavi planlaması ve klinik pratiğe uygulanması güncel ortodonti bilgilerinin anlaşılıp artırılmasını gerektirir. Dolayısıyla, radyografik, fotoğrafik, dental model ve diğer analizleri içeren büyük miktardaki bilgi işleme tabii tutulmalıdır. Ayrıca, hastaların isteklerinin yanısıra klinisyenlerin klinik hisleri ve gözleme dayalı değerlendirmeleri de öncelikli önem taşımaktadır.

Ortodontik tedavideki artan kalite ve etkinlik, bilgi tabanlı konsültasyon sistemlerinin gelişimi ile karakterizedir. Bu sistemler klinisyene tedavi planlamasını optimize etmesinde yardımcı olurlar (14).

Ortodontik uzman sistemler genel olarak özellikle sınır vakalarda tecrübesiz klinisyenlere tedavi planlamaları önermek için kullanılır. Açık avantajları olduğu halde uzman sistemlerin popularitesi pek yüksek değildir, zira halen iyileştirilmesi gereken sınırları vardır ve bu konu üzerinde özellikle ortodonti alanında dünya literatüründe yeterince bilgi mevcut değildir (15).

ence of actions to perform to accomplish some task, named after an Iranian mathematician, Al-Khawarizmi.

Expert systems work with inference clauses, like if-then, and they may greatly help clinicians in their diagnoses (13). An example of inference is: if the patient has an increased vertical pattern, then he may have use a high pull headgear.

Orthodontic Expert Systems

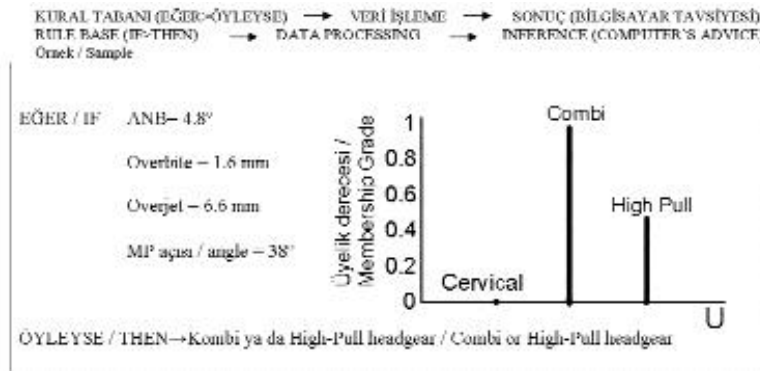
To date several computer programs have been developed in the field of orthodontics. They consider subjects such as mechanical characteristics of orthodontic appliances, cephalometry, VTO, diagnosis, teaching, practice management and treatment planning.

With a foresight of the future use of computers, the importance of translating the precious human experience and intelligence into a mathematical model for contemporary orthodontic treatment planning is clear, as treatment planning becomes a more complex procedure with the incorporation of new scientific fields, differential diagnosis and treatment timing.

Optimal treatment planning and application to clinical practice require an understanding and refining of today's at most orthodontic knowledge. Thus, a great amount of knowledge is to be processed including radiographic, photographic, dental cast and other analysis. In addition, the clinical sense and the visual judgement of clinicians are of prime importance as well as the patients demands.

The increase of quality and efficiency in orthodontic treatment is characterized by the development of knowledge based consultation systems. These systems support the clinician to optimize treatment planning (14).

Orthodontic expert systems in general are used to propose treatment plans to inexperienced clinicians particularly in borderline cases. Although they have obvious advantages, the popularity of expert systems is not so high, because, they have limitations that still to be improved and also there is a lack of information on this subject, particularly regarding the orthodontic field, in the world literature (15).



Şekil I: Temel bir uzman sistemin şematik çizimi.

Figure I: Schematic drawing of a basic expert system.

Daha önce yapılan çalışmalar çok miktarda verinin doğru olarak uzman sisteme aktarılarak işleme tabi tutulabildiğini göstermiştir (16,17). Dolayısıyla bu tip bir sistemin kullanımında klinik karar verme işleminin kalitesini ve doğruluğunu arttırabilecek bir kapasitede olduğu dikkate alınmaktadır (18). Brown ve ark., dişhekimlerinin yanlış tedavi planlamalarının 200 hasta incelendiğinde % 41-46 olduğunu saptamış ve bilgisayar tabanlı uzman sistemlerinin bazı uzmanlara göre dahi daha kabul edilebilir tedavi planlamaları önerdiğini belirtmişlerdir (19).

Sims-Williams ve ark., ortodonti uzmanı sayısının İngiltere'de az olması nedeniyle pratisyen diş hekimlerinin uygun hareketli apareyleri seçmeleri için bir uzman sistem tanıtmışlardır (4).

Brown ve ark., Sınıf II bölüm 1 malokluzyonların tedavi planlaması için öneri getirebilen bir uzman sistem için bulanık mantığı ortodontik problemleri çözmek amacıyla uygulamışlardır (19). Sonuç olarak bu sistemin pratisyenler tarafından kullanılanlara göre daha kabul edilebilir tedavi planlamaları ürettiğini rapor etmişlerdir.

Stephens ve ark., hareketli apareylerle tedavi edilmesi uygun olan vakaların seçimi ve tedavisi için öneri getirebilen bir uzman sistemi (Jeremiah) tanıtmışlar ve TeleDent SW ile dişhekimlerinin hastaları için daha iyi bir hizmet sunabildiklerini belirtmişlerdir (20).

Hammond ve Freer, ortodontik teşhis ve tedavi planlamalarında vaka tabanlı sistem yönteminin uygulanmasını incelemişlerdir (21). Otuz vakanın 24'ünde bilgisayar tarafından üretilen tedavi planlamasının gerçek

Previous reports have documented that a large number of data can be integrated and processed by expert system correctly (16,17). The use of such a system is, therefore, considered to be capable of improving the quality and accuracy of the clinical decision-making processes (18). Brown et al. reported that from 200 examined cases, the incidence of incorrect treatment planning by dental practitioners was 41-46 percent and they suggested that computer-based expert system even provides more acceptable treatment plans than those of some specialists (19).

Sims-Williams et al. introduced an expert system that will choose the appropriate removable appliance for general dental practitioners, as the number of orthodontic experts was low in the UK (4).

Brown et al. applied fuzzy logic to solve orthodontic problems in an expert system that was designed to provide advice for treatment planning of Class II, division 1 malocclusions (19). They reported that their system produced more acceptable treatment plans than those used by practitioners.

Stephens et al. described an expert system (Jeremiah) for providing advice on the selection and treatment of cases suitable for treatment by means of removable appliances and mentioned that TeleDent SW enabled dentists to offer better services for their patients (20).

Hammond and Freer investigated the application of a case based system methodology in orthodontic diagnosis and treatment planning (21). The computer-generated treatment plan matched the actual treatment plan in 24 of the 30 cases. The system was also tested for its capacity to handle unusual cases and



tedavi planlaması ile örtüştüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca sistem atipik vakalar içinde denenmiş ve yararlı bir potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Mackin ve Stephens, bir klinik deneme ile pre-adjusted braketlerin kullanılacağı tedavi planlamaları için üretilmiş uzman bir sistemin (Orthoplanner) önerisinin uygun olup olmadığını test etmişlerdir (22). Sonuç olarak uzman sistem tarafından önerilen tedavi planlamalarının bir grup ortodontistinki kadar güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. İlginç olarak panelin iki üyesi, sistemin planlamalarını kendilerinininkinden daha yüksek oranda puanlamışlardır.

Cook ve ark., ortodontik vakalarda genel diş hekimlerinde rehber olmak için geliştirilmiş bilgisayar destekli bir uzman sistem içeren teledentistry servisi prototipi geliştirmişlerdir (23). Radyografik görüntüler ve klinik veriler internet yolu ile bir diş hekimine gönderilmiş ve diş hekiminin önerileri aynı yol kullanılarak geri gönderilmiştir ki uygun olan durumlarda gerçek zamanlı videokonferans kullanılmış ve protokol başarıyla çalışmıştır.

Akçam ve Takada, özellikle sınır vakalarda uygun headgear tipinin seçiminde bulanık mantığa dayanan bir uzman sistem geliştirmişlerdir (24,25). Çıkarım modelinin güvenilirliği test edilmiştir. Model, low, medium ya da high-pull headgear tipleri için kesinlik derecesini hesaplayacak şekilde tasarlanmıştır. Sekiz ortodonti uzmanı, sistem tarafından 85 ortodontik vaka için sunulan önerileri değerlendirmişlerdir. Vakaların % 95.6' sında sistemin önerileri grup tarafından tatmin edici bulunmuştur. Dolayısıyla geliştirilen çıkarım sisteminin ortodontide klinik kullanım için güvenilir ve etkili olduğu doğrulanmıştır.

Noroozi, hem grafik hem de sayısal formlardaki hasta verilerini işleyebilen ve sonra hem cerrahi olmayan ortodontik hastaların hem de tamamlanmamış dişlenme gibi bazı özel vakalar için tedavi planlamaları önerebilen yeni bir yazılım tanımlamıştır (26,27). Bulanık mantık konsepti, yazılımın nominal parametreler ile çalışmasını olanaklı kılmıştır. Yazılım hesaplamaları ve

concluded that the system had a useful potential.

Mackin and Stephens used a clinical trial to test the appropriateness of the advice of an expert system (Orthoplanner), which was developed for treatment planning, in which the pre-adjusted bracket appliance was to be used (22). They concluded that, the expert system's treatment plans were as reliable as those produced by a group of orthodontists. Interestingly two members of the panel actually ranked the system's plans more highly than their own.

Cook et al. developed a prototype teledentistry service that incorporated a PC-based expert system designed to assist in orthodontic cases to guide the general dental practitioner (23). Radiographic images and clinical data was transferred via internet to a dental specialist. The specialists recommendations were returned by the same route, with real-time videoconference if appropriate and the protocol worked satisfactorily.

Akcam and Takada developed an expert system based on fuzzy reasoning that could infer optimum selection of headgear types in orthodontic patients particularly for borderline cases (24,25). The reliability of the inference model was tested. The model was designed to calculate the degree of certainty for each choice - low, medium or high-pull types of headgear. Eight orthodontic experts evaluated the decisions inferred by the system for 85 orthodontic cases. This group was satisfied with the system's recommendations in 95.6 percent of the cases. Thus the inference system developed was confirmed as being reliable and effective for clinical use in orthodontics.

Noroozi described a new software that can process patient data in both graphic and numeric forms and then propose a treatment plan for nonsurgical orthodontic patients as well as for some special cases, such as incomplete dentition (26,27). The concepts of fuzzy logic enabled the software to work with nominal parameters. A combination of software calculations and orthodontic data determines the comments of the system. The software was also prepared to deal with special conditions of teeth, like missing,



ortodontik verilerin kombinasyonu sistemin önerilerini belirlemektedir. Yazılım, aynı zamanda dişlerin eksik, önceden çekilmiş, sürmemiş, kırık olması gibi özel durumları ile de ilgilenecek şekilde hazırlanmıştır. Sonuç olarak yazılım, uygun olmayan çekimlerin ve hatalı ortodontik tedaviler planlamalarının sayısını azaltmak amacıyla planlanmıştır (27).

SONUÇLAR

Ortodontik uzman sistemler klinisyenlere optimum bir tedavi planı sunarlar. Belirgin avantajları olmasına rağmen, uzman sistemlerin kullanımı yaygın değildir, zira halen geliştirilmesi gereken birtakım sınırlamaları vardır ve özellikle ortodonti alanında bu konuda dünya literatüründe yeterince bilgi mevcut değildir. Klinisyen özelliklerini, faydalarını ve sınırlarını anladığı takdirde bir tavsiye elde etmek amacıyla uygun bir uzman sistemi seçebilir. Yeni geliştirilmiş ortodontik uzman sistemler özellikle deneyimsiz klinisyenler için daha gelişmiş özellikler ve klinik faydalar sağlamaktadır. Ancak, uzman sistemlerin klinisyenin değerlendirilmesinin önüne geçmesinden ziyade destek olacağı unutulmamalıdır.

previously extracted, nonerupted and fractured. Consequently the software is planned to reduce the number of inappropriate extractions and erroneous orthodontic treatment plans (27).

CONCLUSIONS

Orthodontic expert systems are used to propose an optimum treatment plan to clinicians. Although they have obvious advantages, the usage of expert systems is not so high, because, they have some limitations that still to be improved and also there is a lack of information in the world literature on this subject, particularly regarding the orthodontic field. With an understanding of the features, benefits and limitations, the clinician can choose the appropriate expert system to obtain an advice. Most recently developed orthodontic expert systems provide improved properties and clinical benefits particularly for the inexperienced clinicians. However, one must bear in mind that expert systems support rather than supersede the judgment of the clinician.

KAYNAKLAR/REFERENCES

1. Lindsay RK, Buchanan BG, Feigenbaum EA, Lederberg J. Dendral: a case study of the first expert system for scientific hypothesis formation. *Artif Intell* 1993; 61:209-61.
2. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control* 1965;8:338-53.
3. Hudson DL, Cohen ME. Fuzzy logic in medical expert systems. *IEEE Eng Med Biol Soc* 1994;13:693-8.
4. Sims-Williams JH, Brown ID, Matthewman A, Stephens CD. A computer controlled expert system for orthodontic advice. *Br Dent J* 1987;163:161-6.
5. Stephens C, Cook J, Mullings C. Orthodontic referrals via TeleDent. *Dent Clin North Am* 2002;46:507-20.
6. Tanaka T, Miwa K, Kanda S. Application of fuzzy reasoning in an expert system for ultrasonography. *Dentomaxillofac Radiol* 1997;26:125-31.
7. Mackin N, Sims-Williams JH, Stephens CD. Artificial intelligence in dental surgery: An orthodontic expert system, a dental tool of tomorrow. *Dent Update* 1991;18: 41-3.
8. Phuong NH, Kreinovich V. Fuzzy logic and its applications in medicine. *Int J Med Inf* 2001;62:165-73.
9. Umar H. Clinical decision-making using computers: opportunities and limitations. *Dent Clin North Am* 2002;46:521-38.
10. Sheetman SE, Van der Stelt PF, Mileman PA. Expert systems in dentistry past performance - future prospects. *J Dent* 1992;20: 68-73.
11. FOLDOC, Free Online Dictionary of Computing. <http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc>, 2006.
12. Bramern MA. A survey and critical analysis of expert systems research. In: Hammersley P (ed.) *Information technology for the eighties*. *Br Comp Soc* 1981;488-515.
13. Tsumoto S. Automated knowledge acquisition from clinical databases based on rough sets and attribute-oriented generalization. *Proc AMIA Symp* 1998;548-52.
14. Reinhardt H, Haffner T, Ifert F, Malsch J, Schneider P, Zahlmann G. Application of information technology in orthodontics. 6. Knowledge based systems in orthodontics. *Stomatol DDR* 1990;40:115-6.
15. McCracken GI, Nunn JH, Hobson RS, Stephenson JJ, Jepson NJ. Evaluation of a computer-assisted learning package on the management of traumatised incisors by general dental practitioners. *Endod Dent Traumatol*



- 2000;16:40-2.
16. Kinney E.L. Medical expert systems. Who needs them ? *Chest*. 1987; 91: 3-4.
 17. Erdman HP. A computer consultation program for primary care physicians. Impact of decision making model and explanation capability. *Med Care* 1987;25:138-47.
 18. De Dombal FT, Leaper DJ, Staniland JR, McCann AP, Horrocks JC. Computer-aided diagnosis of acute abdominal pain. *Br Med J* 1972;2:9-13.
 19. Brown ID, Adams SR, Stephens CD, Erritt S J, Sims-Williams JH. The initial use of a computer controlled expert system in the treatment planning of Class II Division 1 malocclusion. *Br J Orthod* 1991;18:1-7.
 20. Stephens CD, Mackin N, Sims-Williams JH. The development and validation of an orthodontic expert system. *Br J Orthod* 1996;23:1-9.
 21. Hammond RM, Freer TJ. Application of a case-based expert system to orthodontic diagnosis and treatment planning. *Aust Orthod J* 1997;14:229-34.
 22. Stephens C, Mackin N. The validation of an orthodontic expert system rule-base for fixed appliance treatment planning. *Eur J Orthod* 1998;20:569-78.
 23. Cook J, Mullings C, Vowles R, Stephens C. The use of teledentistry to provide GDPs with advice in orthodontics. *Dent Update* 2002;29:249-55.
 24. Akcam MO, Takada K. Fuzzy modelling for selecting headgear types. *Eur J Orthod* 2002;24:99-106.
 25. Takada K, Sorihashi Y, Akcam MO. Orthodontic treatment planning: Its rationale for inference. In: Carels C, Willems G (ed.) *The future of orthodontics*. Leuven University Press, Belgium, 1998; 203-11.
 26. Noroozi H. Orthodontic treatment planning software. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:834-7.
 27. Noroozi H. Introduction of a new orthodontic treatment planning software; a fuzzy logic expert system. *Int J Orthod Milwaukee* 2006;17:25-9.