Springer Verlag Wien, 1994

Wissensbasierte Systeme in der Intensivmedizin: Was können sie, was sollten sie können?

Silvia Miksch

Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence (ÖFAI),
Schottengasse 3, A−1010 Wien, Österreich
Email: silvia@ai.univie.ac.at

Abstrakt

Moderne Intensivstationen (ICUs) sind mit komplizierten technischen Geräten ausgestattet, die eine Fülle von on−line Daten liefern. Diese Informationsfülle schafft auch Probleme: die Daten müssen vertrauenswürdig sein, fehlerhafte Daten müssen als solche erkannt und aus dem Entscheidungsprozeß eliminiert werden. Auch der Verlauf der wichtigsten Parameter muß transparent sein. Für die Beurteilung des Gesundheitszustandes von PatientInnen muß die wichtigste Information herausgefiltert und in kürzester Zeit interpretiert werden. Die Daten müssen gespeichert und jederzeit rasch wieder abgerufen werden können. Informationstechnologie, speziell die Methoden der Artificial Intelligence, können einige dieser notwendigen Abläufe unterstützen und erleichtern.

Ausgehend von der Analyse der Notwendigkeit, sowie der Vor− und Nachteile einer informationstechnischen Unterstützung werden einige Anwendungen aus dem Bereich der wissensbasierten Monitoring−, Diagnose− und Therapieplanungssysteme vorgestellt. Solche Systeme reichen von einfachen "intelligent alarming systems" bis zu hochkomplexen entscheidungsunterstützenden Systemen.

Abschließend werden Forderungen für die effektive und erfolgreiche Planung und Implementierung eines Monitoring− und Therapieplanungssystems aus medizinischer und technischer Sicht formuliert.

Dieser Beitrag behandelt nicht "Patient Data Management Systems" (PDMS) sondern "Patient Management Systems" (PMS), die auf PDMS aufsetzen und eine Unterstützung der ÄrztInnen bei der medizinischen Behandlung von PatientInnen darstellen. PDMS beschränken sich auf die Verwaltung von PatientInnendaten.

1. Die Notwendigkeit von Artificial Intelligence (AI) in Intensivstationen

Eingangs eine kurze Definition von AI:

Artificial Intelligence is ...

...the science of making machines do things that would require intelligence if done by man
(Marvin Minsky)

...the development of a systematic theory of intellectual processes
(Donald Michie)

Während die Forschung auf dem Gebiet der Artificial Intelligence (AI) sich immer mehr ausweitet, herrscht keine Einigkeit über eine umfassende Definition der AI. AI zerfällt in verschiedene, teils miteinander verwobene Teilbereiche, wie etwa Wissensrepräsentation, maschinelles Lernen, Expertensysteme, natürlichsprachige Systeme, oder Konnektionismus. Grob werden drei Hauptrichtungen unterschieden:

(1) ein *technisch/pragmatisch* orientierter Ansatz, bei dem vor allem das Ergebnis zählt, d.h. "intelligentes" Verhalten eines Computers. Daß dieses Verhalten dem menschlichen analog sein muß, wird nicht notwendigerweise gefordert;

(2) ein eher *psychologisch* orientierter Ansatz, bei dem der Simulationsaspekt menschlichen Verhaltens im Vordergrund steht. Dies ist von der Erwartung getragen, dadurch mehr über menschliche Intelligenz zu erfahren;

(3) ein *"biologisch"* orientierter Ansatz, bei dem intelligente Leistungen aufgrund von Trieben und Motiven in Systemen, die mit einer sich ändernden Umwelt interagieren, entstehen können.

Worum es bei der AI eigentlich geht, ist die Implementierung von menschlichen Fähigkeiten, um den Menschen das Leben zu erleichtern und nicht die Erschaffung eines Homunculus. Trotz aller Science Fiction und Mystifizierung: AI ist ein wissenschaftlich anerkanntes, theoretisch fundiertes Forschungsgebiet, das aber durch seinen interdisziplinären Charakter und seine Aktualität stets Neugier weckt und Spannung erzeugt.

Die Zielrichtung der AI im medizinischen Bereichen ist analog. Peter Szolovitz (1982) definierte drei Hauptziele der AI in der Medizin, die weitgehend noch heute gelten:

"(1) To develop expert computer programs for clinical use, making possible the inexpensive dissemination of the best medical expertise to geographical regions where that expertise is lacking, and making consultation help available to non−specialists who are not within easy reach of expert human consultants;

(2) To formalize medical expertise, to enable physicians to understand better what they know and to give them systematic structure for teaching their expertise to medical students;

(3) To test AI theories in a "real world" domain and to use that domain to suggest novel problems for further AI research."

Wo sind konkrete Einsatzgebiete, bzw. warum besteht der Bedarf an AI−Anwendungen in Intensivstationen? Dies soll nur kurz (punktuell) skizziert werden.

(1) Steigende Ausstattung der Intensivstationen mit komplizierten technischen Ausstattungen;

(2) Steigende Anforderung an Qualitätssicherheit;

(3) Steigender Bedarf an "intelligenter" Informationsverarbeitung − besonders in folgenden Bereichen:
- Herausfiltern von fehlerhaften Daten,
- Herausfiltern von kontextrelevanten Daten,
- Graphische Aufbereitung kontinuierlicher Daten,
- (retrospektive) Analyse der Daten;

(4) Möglichkeit der Vorhersage über Krankheitsverläufe der PatientInnen, von einzelnen Parametern, usw.;

(5) Unterstützung in der täglichen Routinearbeit und Unterstützungsmöglichkeiten für weniger erfahrene ÄrztInnen und Pflegepersonal.

Zur Lösung komplexer Situationen in modernen Intensivstationen bietet die AI eine Fülle von Methodiken an. In diesem Beitrag wird auf die wissensbasierten Systeme für die Intensivmedizin detaillierter eingegangen. Shortliffe (1991) bezeichnet die wissensbasierte Methode als adäquate Methode für Problemlösungen in der Medizin.

In den folgenden Kapiteln wird zuerst genauer auf die einzelnen Teile des Monitoring− und Therapieplanungsprozesses eingegangen, darauffolgend wird eine Übersicht über bestehende wissensbasierte Systeme in der Intensivmedizin, speziell im Bereich der künstlichen Beatmung, präsentiert. Abschließend werden, ausgehend von den Vor− und Nachteilen bestehender Systeme, Forderungen an eine effektive Entwicklung von wissensbasierten Systemen sowohl aus medizinischer als auch aus technischer Sicht formuliert.

Diese Präsentation beruht einerseits auf Erfahrungen, die im Rahmen der Entwicklung des wissensbasierten Monitoring− und Therapieplanungssystems für die künstliche Beatmung von Frühgeborenen (VIE−VENT) gesammelt wurden, andererseits auf Aktivitäten, die im Rahmen des Vereins eCE[1] durchgeführt wurden. VIE−VENT wird derzeit am Österreichischen Forschungsinstitut für Artificial Intelligence (ÖFAI) in Kooperation mit der Abteilung für Neonatologie, Angeborene Störungen und Intensivmedizin, Universitätsklinik für Kinderheilkunde, der Abteilung für Kinderheilkunde, LKH Mödling und dem Institut für Medizinische Kybernetik und Artificial Intelligence, Universität Wien entwickelt.

2. Monitoring− und Therapieplanungsaufgaben

Das wissensbasierte Monitoring und Therapieplanen besteht aus mehreren Teilaufgaben. Diese Teilaufgaben gehen von einem zugrundeliegenden Modell der zu beobachtenden Zustände aus (z.B.: ein Modell der Beat-

[1]) Der Verein engagierte Computer ExpertInnen (eCE) ist ein Netzwerk von EDV Fachleuten aus Wissenschaft und Wirtschaft, das sich die kritische Beurteilung des Informationstechnologieeinsatzes zur Aufgabe gestellt hat.

mung). Die Daten (die zu Verfügung stehenden Parameter) werden von den Monitoren übernommen, validiert und in qualitative Werte transformiert. Existieren signifikante Unterschiede zwischen den beobachteten Werten und den qualitativen Werten des Domainmodells, so werden betreffende Aktionen vorgeschlagen bzw. durchgeführt (Breuker, et al. 1987; Bykat 1991). Das Domainmodell beruht zumeist auf qualitativen Werten.

Die Abbildung 1 beschreibt einen Zyklus der Dateninterpretation mit dazugehöriger Begriffsstrukturierung. Unter "intelligent alarming" wird der Prozeß der Datenselektion, der Datenvalidierung und Teile der Datenabstraktion verstanden. Das Monitoring inkludiert zusätzlich zum "intelligent alarming" noch weitere Bereiche der Datenabstraktion sowie die Interpretation des Gesundheitszustandes der PatientInnen (Diagnose im engeren Sinne). Die Therapieplanung schließt noch zusätzlich eine Planungskomponente mit ein, die aus Therapieempfehlungen und kurz− oder längerfristigen Vorhersagen der Effekte der Therapieempfehlungen besteht.

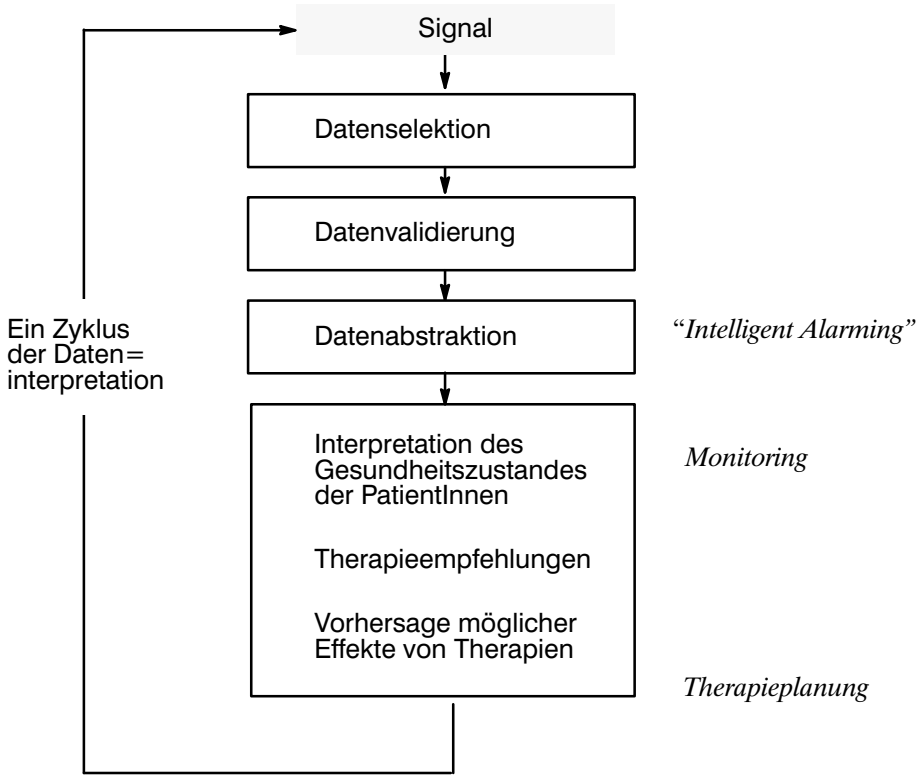

Abb.1: Aufgaben des Monitorings und Therapieplanens

Von der zugrundeliegenden Datenbasis kann man auf den Genauigkeitsgrad der Interpretation des Gesundheitszustandes und damit auf die Tiefe der Analyse schließen. Uckun (1993b) strukturiert zeitlich das Niveau der Interpretation. Er unterscheidet dabei zwischen der Interpretation von punktuellen Daten und Sequenzen von Daten. Abbildung 2 zeigt die vollständige Definition der verschiedenen Niveaus dieser Interpretationen mit ihren zeitlichen Dimensionen. Uckun betont, daß auch Kombinationen dieser Klassen in Systemen auffindbar sind.

Weiters wird unterschieden, welche Art der Therapieplanung das System unterstützt:

(a) ein System, das Empfehlungen gibt;

(b) ein System, das die ärztlichen Entscheidungen kritisiert ("critiquing mode").

Als abschließende Kategorisierung der Systeme wird noch auf die Art des Therapiemanagements hingewiesen. Die weitverbreitetste Form ist die der "open−loop systems". Dies sind Systeme die nicht direkt Geräte steuern, sondern nur Empfehlungen oder Kritik an Entscheidungen formulieren. Die zweite Form stellen die "closed−loop systems" dar, die direkt Geräte steuern. Diese Kategorie ist nicht sehr weit verbreitet. In der Untersuchung von Uckun (1993b) sind nur 3 closed−loop Systeme von insgesamt 32 auffindbar (GUARDIAN(Hayes−Roth, et al. 1989; 1992, 1994; Ash, et al. 1993a/b), bed−side−pancreas (Eytan, 1991), NeoGanesh/Ganesh (Dojat, 1992a−c, 1993, 1994).

3. Übersicht über “alarming systems” und “intelligent patient monitoring and therapy planning systems”

Eine vollständige Darstellung aller wissensbasierten Systeme in der Intensivmedizin würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Deswegen werden nur einige ausgewählte Anwendungen − besonders aus dem Bereich der künstlichen Beatmung − vorgestellt. Solche Systeme reichen von einfachen “intelligent alarming systems” bis zu hochkomplexen entscheidungsunterstützenden Systemen.

3.1 “Alarming systems”

Die bestehenden “intelligent alarming systems” reduzieren primär die Anzahl von falschen positiven Alarmen und versuchen Artifakte und inkorrekte Meßwerte zu identifizieren. Vereinzelt präsentieren sie als Abschluß Meßdatenzusammenfassungen. Beispiele für “alarming systems” sind in Abbildung 3 aufgezählt, weitere sind in (Beneken, et al. 1989) auffindbar:

name	application’s domain
RESPAID (Chambrin, et al. 1989)	respiratory data
PONI (Garfinkel, et al. 1988)	operating room setting
SIMPLEXYS (Blom, 1987)	blood pressure control
– (Salatian, et al. 1994); theoretical approach	cardiovascular data

Abb.3: “Alarming Systems”

3.2 Monitoring− und Therapieplanungssysteme

Die Übersicht über wissensbasierten Monitoring− und Therapieplanungssysteme wurde nach ihren Anwendungsgebieten und nach den erfüllten Aufgaben (ob nur monitiert wird, nur Therapieplanung durchgeführt wird, oder beide Komponenten repräsentiert werden) gegliedert.

Eine weitere mögliche Strukturierung ist die Einteilung nach der Systemarchitektur und den Schlußfolgerungsmechanismen: z.B.: VMS verwendet Entscheidungsbäume für Therapieempfehlungen, VentPlan kombiniert quantitative und qualitative Techniken (ein mathematisches Modell der Physiologie des Herzens und der Lunge, “belief networks” für die Berechnung der Erwartungswerte der Parameter und einen “plan evaluator” zum Reihen der Therapieempfehlungen, GUARDIAN basiert auf der “blackboard control architecture”, SIMON verwendet eine Kombination von qualitativen und numerischen Simulationstechniken (YAQ), die eine Erweiterung der “Qualitative Process Theory (QPT)” ist. Weitere Analysen bestehender Systeme sind in Miksch, et al. (1993a) und Uckun (1993b) zu finden.

name	task	application's domain
COMPAS (Sittig, et al. 1990)	t	respiratory distress syndrom
DiaMon−1 (Steimann, et al. 1993, 1994)	m	respiratory distress syndrom
GUARDIAN (Hayes−Roth, et al. 1989, 1992, 1994 Ash, et al. 1993 a/b)	m t	respiratory, cardiovascular
KBWEAN (Hiesmayr, et al. 1993)	t	respiratory distress syndrom
NeoGanesh/Ganesh (Dojat, et al. 1992a−c; 1993; 1994)	t	respiratory distress syndrom
RESUME (Shahar et al. 1993; 1994 Kuilboer, et al. 1993)	m	pediatric growth's charts AIDS diabetes mellitus
SDD (Keravnou, et al. 1990	t	skeletal dysplasias
SIMON (Uckun, et al. 1992, 1993a)	m	respiratory distress syndrom
TrenDx (Haimowitz, et al. 1992; 1993a/b; 1994 Kohane, et al. 1993)	m	pediatric growth's charts respiratory distress syndrom
VentPlan (Rutledge, et al. 1989, 1993)	m t	respiratory distress syndrom
VIE−VENT (Miksch, et al. 1993b; 1994a/b)	m t	respiratory distress syndrom
VM (Fagan, et al. 1980, 1984)	m t	postsurgical patient
VMS (Boyarsky 1987)	t	respiratory distress syndrom
– (Arroe 1991)	t	respiratory distress syndrom
– (Coiera 1990)	m	respiratory distress syndrom (acid−base)

m monitoring t therapy planning

Abb.4: Monitoring und Therapieplanungssysteme

4. Vor − und Nachteile bestehender Systeme

4.1 Die Vorteile

Folgende Vorteile der bestehenden wissensbasierten Monitoring− und Therapieplanungssysteme sind, wenn auch nicht summiert in einem System, auffindbar:

(1) Vermeidung von Fehlern:
Sowohl Rechenfehler als auch in zeitkritischen Situationen leicht zu übersehende Planungskomponenten können durch bestehenden Systeme vermieden werden;

(2) Graphische Aufbereitung:
Einige Systeme legen ein Schwergewicht auf die graphische Aufbereitung der kontinuierlichen Daten. Diese Komponente wird aber auch vielfach bei kommerziellen PDMS mitgeliefert und in die Monitiering− und Therapieplanungssysteme − wenn dies von der Firma gestattet − integriert;

(3) Kontextsensitive Datenanalyse:
Einige Systeme bieten die Möglichkeit einerseits für die Interpretation des Gesundheitszustandes der PatientInnen notwendige Parameter zu urgieren, andererseits aus der Fülle von Daten nur jene für die Interpretation auszuwählen und darzustellen, die wirklich notwendig sind. Diese Funktionen unterstützen speziell weniger erfahrene ÄrztInnen beim Erfassen der Gesamtschau und der Orientierung über den Gesundheitsverlauf ihrer PatientInnen.

(4) Systematische Analyse in (zeit−)kritischen Situationen;

(5) Umverteilung der Information;

(6) Management von Resourcen;

(7) Unterstützung in der täglichen Routinearbeit und für weniger erfahrene ÄrztInnen.

4.2 Die Nachteile

Ein großer Nachteil bestehender Systeme ist, daß sich die meisten auf die Lösung von Teilproblemen konzentrieren und eine Integration von allen notwendigen Monitoring und Therpieplanungskomponenten fehlt. Auch die im vorangegangenen Abschnitt erwähnten Vorteile betreffen alle Systeme insgesamt. Eine Vereinigung aller Vorteile in einem System ist nicht auffindbar. Auf folgende Nachteile in den bestehenden Systemen soll aufmerksam gemacht werden:

(1) Mangelnde real−time Performance;

(2) Mangelnder Umgang mit fehlerhaften Daten;

(3) Datenbasis für den Monitoring− und Therapieplanungsprozeß:
Die verwendete Datenbasis bei manchen Systemen beruht nicht auf den Daten die im klinischen Alltag wirklich als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden. Z.B.: Die meisten Systeme verwenden invasiv bestimmte Blutgasanalysen als Basis für Therapieempfehlungen bei künstlicher Beatmung von Neugeborenen. In der Realität sind diese aber viel zu selten vorhanden, sodaß die meisten ärztlichen Entscheidungen auf den transkutan gemessenen Blutgasen beruhen;

(4) Mangelnde Gestaltung der Benutzerschnittstelle:
Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, daß bei den meisten Systemen das Schwergewicht auf Interpretation und Analyse der kontinuierlichen Daten gelegt und Benutzeraspekte außer acht gelassen werden;

(5) Mangelnde Erklärungskomponenten;

(6) Schlechte Integrierbarkeit in bestehende PDMS;

(7) “Prove−of−Concepts” Systeme, die nicht für Alltagstauglichkeit weiterentwickelt werden.

5. Forderungen für eine effektive Entwicklung

Im diesem Abschnitt werden Forderungen für eine effektive und erfolgreiche Planung und Implementierung eines Monitoring− und Therapieplanungssystems aus medizinischer und aus technischer Sicht formuliert.

(1) *Erhebung der wirklichen medizinischen Bedürfnisse*:
Eine weitreichende Bedarfsanalyse, welche Hilfsmittel in den intensivmedizinischen Kliniken wirklich benötigt werden, fehlt nahezu zur Gänze. Die medizinischen Bedürfnisse müssen genau definiert und deren technische Umsetzbarkeit geprüft werden.

(2) *Kooperation zwischen medizinischen und technischen Fachleuten*:
Die Basis für ein erfolgreiches System ist die positive Zusammenarbeit zwischen medizinischen und technischen Fachleuten. Die zeitliche Umfang und die Intensität dieser Zusammenarbeit wird oft unterschätzt. Außerdem ist bei der Zusammensetzung der Fachleute zu beachten, daß wirkliche BenutzerInnen und NutzerInnen des zu entwickelnden System im Projektteam integriert sind. Weiters muß der sinnvolle Einsatz eines solchen Systems für alle an der Entwicklung Beteiligten und für die späteren Anwender offensichtlich sein.

(3) *Technische Bereiche − Integration in bestehende PDMS*:
Bei der Entwicklung muß darauf geachtet werden, daß die spätere Dateneingabe minimiert wird. Daher ist eine on−line Datenübernahme der Monitordaten sowie eine Integration in das bestehende PDMS unabdingbar. Dies wird von Seiten der PDMS−Hersteller nicht immer unterstützt.

(4) *Systemtechnische Bereiche*:
Das Wissen der medizinischen und der ComputerexpertInnen muß strukturiert und für beide Gruppen transparent gemacht werden. Das verwendete konzeptuelle Modell muß nachvollziehbar sein und es muß eine geeignete graphische Aufbereitung der kontinuierlichen Daten sowie eine adäquate benutzerfreundliche und funktionale Benutzerschnittstelle, die sich auf die medizinischen Bedürfnisse konzentriert, konzipiert werden. Dies ist für die spätere Akzeptanz des Systems essentiell.

(5) *Evaluation*:
Die Evaluation von real−time Systemen ist schwierig, daher müssen geeignete (klinische) Testumgebungen überlegt werden. Weiters ist vor allem für die Zeit der intensiven technischen und empirischen Evaluation des Systems eine besondere Kooperation zwischen medizinischen und ComputerexpertInnen notwendig. Außerdem sollten langfristige Evaluationen der klinischen Impakts der Systeme durchgeführt werden.

(6) *Schulung*:
Das Personal muß ausreichend eingeschult werden, eine kontinuierliche Systemweiterbetreuung ist unabdingbar.

Acknowledgement

Das Projekt VIE−VENT wird vom “Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank”, Wien, Projektnummer 4666 unterstützt. Das Österreichische Forschungsinstitut für Artificial Intelligence (ÖFAI) wird vom Österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMWF), Wien, unterstützt.

Literatur

Arroe M.: A Computerized Aid in Ventilating Neonates, Computers Biol. Med., 21(1/2), pp. 15−21, 1991.

Ash D., Gold G., Seiver A., Hayes−Roth B.: Guaranteeing Real−time Response with Limited Resources, Artificial Intelligence in Medicine, 5(1), pp. 49−66, 1993a.

Ash D., Hayes−Roth B.: A Comparison of Action−Based Hierarchies and Decision Trees for Real−Time Performance, in Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence, AAAI Press/MIT Press, Menlo Park, CA, 1993b.

Avent R.K., Charlton J.D.: A Critical Review of Trend−Detection Methologies for Biomedical Monitoring Systems, Critical Reviews in Biomedical Engineering, 17(6), pp.621−59, 1990.

Beneken J.E.W., Aa J.J.van der: Alarms and their Limits in Monitoring, Journal of Clinical Monitoring, 5(3), 205−10, 1989.

Blom J.A.: SIMPLEXYS, A Real−Time Expert System Tool, Proceedings of the IASTED International Symposium on Expert Systems, Geneva, 1987.

Boyarsky A.: Computerized Ventilation Management System for Neonates, Journal of Perinatology, 7(1), pp. 21−9, 1987.

Breuker J.A., Someren M.W.van, Hoog R.de, Schreiber G., Greef P.de, Bredeweg B., Wielemaker J., Billault J.−P., Davoodi M., Hayward S.A.: Model−Driven Knowledge Acquistion: Interpretation Models, University of Amsterdam and STL Ltd., Esprit Project P1098, Memo 87, 1987.

Bykat A.: Intelligent Monitoring and Diagnosis Systems: A Survey, Applied Artificial Intelligence, 5(4), pp. 339−352, 1991.

Coiera E.: Monitoring Diseases with Empirical and Model−generated Histories, Artificial Intelligence in Medicine, 2, 135−47, 1990.

Coiera E.: Intelligent Monitoring and Control of Physiological Systems, Editorial, Artificial Intelligence in Medicine, 5(1), pp. 1−8, 1993.

Chambrin M.−C., Chopin C., Ravaux P., Mangalaboyi J., Lestavel P., Fourrier F. : RESPAID: Computer−Aided Decision Support for Respiratory Data in ICU, Proc. Eleventh Annual Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Soc., Seattle, WA., 1989.

Dawant B.M., Manders E.J., Lindstrom D.P.: Adaptive Signal Analysis and Interpretation for Real−Time Intelligent Patient Monitoring, in Rosenfalck A.(ed.), Proceedings of the IMIA−IFMBE Working Conference on ”Biosignal Interpretation”, University of Aalborg, 1993.

Dojat M., Brochard L., Lemaire E., Harf A.: A Knowledge−Based System for Assisted Ventilation of Patients in Intensive Care Units, International Journal of Clinical Monitoring and Computing, 9, pp.239−50, 1992a.

Dojat M., Pachet F.: Representation of Medical Expertise Using Smalltalk Environment: Putting a Prototype to Work, Heeg G., et al. (eds.), Technology of Object−Oriented Language and Systems, Prentice−Hall, New York, pp. 379−89, 1992b.

Dojat M., Pachet F.: An Extendable Knowledge−Based System for the Control of Mechanical Ventilation, Proceedings of the 14th IEEE−EMS Conference,Vol.317, Paris, pp. 920−1, 1992c.

Dojat M., Sayettat C.: Temporal Structures and Medical Knowledge Representation, Rzevshi G., Psta J., Adey R.A. (eds.), Applications of AI in Engineering VIII, Vol.1, Elsevier Applied Science, pp.307−22, 1993.

Dojat M., Sayettat C.: Aggregation and Forgetting: Two Key Mechanisms for Across−Time Reasoning in Patient Monitoring, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp.33−36, 1994.

Eytan M.: ’Bed−side−pancreas’, in Sciences Cognitives de l’Est meeting, Soulzmatt, 1991.

Fagan L.M., Shortliffe E.H., Buchanan B.G. : Computer−Based Medical Decision Making: from MYCIN to VM, Automedica, 3, pp. 97−106, 1980.

Fagan L.M., Kunz J.C., Feigenbaum E.A., Osborn J.J.: Extensions to the Rule−Based Formalism for a Monitoring Task, in Buchanan B.G., Shortliffe E.H.(eds.), Rule−Based Expert Systems − The MYCIN Experiments of the Stanford Programming Project, Addison−Wesley, Reading, MA, 1984.

Garfinkel D., Matsiras P.V., Lecky J.H., Aukburg S.J., Matschinsky B.B., Mavrides T.G.: PONI: An Intelligent Alarm System for Respiratory and Circulation Management in the Operating Room, Proc. 12th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care (SCAMC 88), Washington, DC, 1988.

Haimowitz I.J., Kohane I.S.(eds.): Automated Trend Dectection with Multiple Temporal Hypotheses, Laboratory for Computer Science, MIT, Cambridge, MA, Working Paper 92−1, 1992.

Haimowitz I.J., Kohane I.S.: Automated Trend Detection with Alternate Temporal Hypotheses, in Bajcsy R.(ed.), Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI−93), Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, pp.146−51, 1993a.

Haimowitz I.J., Kohane I.S.: An Epistemology for Clinically Significant Trends, in Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence, AAAI Press/MIT Press, Menlo Park, CA, pp. 176−81, 1993b.

Haimowitz I.J., Kohane I.S.: Diagnostic Monitoring of Intensive Care Unit Data Using Trend Templates, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp. 57−61, 1994.

Hayes−Roth B., Washington R., Hewett R., Hewett M., Seiver A.: Intelligent Monitoring and Control, in Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 89), Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, pp. 243−249, 1989.

Hayes−Roth B., Washington R., Ash D., Hewett M., Collinot A., Vina A., Seiver A.: Guardian: A Prototype Intelligent Agent for Intensive−Care Monitoring, Artificial Intelligence in Medicine, 4(2), pp. 165−66, 1992.

Hayes−Roth B.: Intelligent Control, Special Volume: Artificial Intelligence in Perspective, Artificial Intelligence, 59(1−2), pp.213−20, 1993.

Hayes−Roth B.: A Domain−Specific Software Architecture for a Class of Intelligent Patient Monitoring Agents, Knowledge Systems Laboratory, Computer Science Dept., Stanford University, Stanford, CA 94305, USA, KSL 94−20, 1994.

Hiesmayr M., Gamper J., Neugebauer T., Mares P., Adlassnig K.−P., Haider W.: A Clinical Application of Patient Data Management Systems (PDMS): Computer−Assisted Weaning from Artificial Ventilation (KBWEAN), in Lenz K., Metnitz P.G.H.(eds.), Patient Data Management in Intensive Care, Springer, Wien, pp. 129−38, 1993.

Keravnou E.T., Washbrook J.: A Temporal Reasoning Framework Used in the Diagnosis of Skeletal Dysplasias, Artificial Intelligence in Medicine, 2(5), 1990.

Kohane I.S., Haimowitz I.J.: Hypothesis−Driven Data Abstraction with Trend Templates, Proceedings of the 17th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, (SCAMC−93), pp. 444−8, IEEE Computer Society Press, 1993.

Kuilboer M.M., Shahar Y., Wilson D.M., Musen M.A.: Knowledge Reuse: Temporal Abstraction Mechanisms for the Assessment of Children's Growth, Proceedings of the Seventeenth Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, 1993.

Miksch S., Horn W., Popow C., Paky F.: Knowledge−Based Monitoring and Therapy Planning in Intensive Care Units (ICUs), pp.139−48, in Lenz K., Metnitz P.G.H.(eds.), Patient Data Management in Intensive Care, Springer, Wien, 1993a.

Miksch S., Horn W., Popow C., Paky F.: VIE−VENT: Knowledge−Based Monitoring and Therapy Planning of the Artificial Ventilation of Newborn Infants, in Andreassen S., et al. (eds.): Artificial Intelligence in Medicine: Proceedings of the 4th Conference on Artificial Intelligence in Medicine Europe (AIME−93), IOS Press, Amsterdam, pp.218−29, 1993b.

Miksch S., Horn W., Popow C., Paky F.: Context−Sensitive Data Validation and Data Abstraction for Knowledge−Based Monitoring, Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence, Wien, to appear in Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 94), John Wiley & Sons, Chichester, UK &TR−94−04, 1994a.

Miksch S., Horn W., Popow C., Paky F.: Intensive Care Monitoring and Therapy Planning for Newborns, AAAI 1994 Spring Symposium: Artificial Intelligence in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, 1994 & TR−94−08, 1994b.

Rutledge G., Thomsen G., Beinlich I., Farr B., Sheiner L., Fagan L.M.: Combining Qualitative and Quantitative Computation in a Ventilator Therapy Planner, Proc. 13th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care (SCAMC 89), Washington, DC, 1989.

Rutledge G.W., Thomsen G.E., Farr B.R.,Tovar M.A., Polaschek J.X., Beinlich I.A., Sheiner L.B., Fagan L.M.: The Design and Implementation of a Ventilator−Management Advisor, Artificial Intelligence in Medicine, 5(1), pp. 67−82, 1993.

Salatian A., Hunter J.: Temporal Expert System Approach to the Interpretation of ICU Cardiovascular Data, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp.139−42, 1994.

Shahar Y., Tu S.W., Musen M.A.: Using Temporal−Abstraction Mechanisms for Patient Monitoring, Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Artificial Intelligence in Medicine, pp. 95−99, 1992a.

Shahar Y., Tu S.W., Musen M.A.: Knowledge Acquisition for Temporal Abstraction Mechanisms, Special Issue: Knowledge Acquisition for Therapy−Planning Tasks, Knowledge Acquisition, 4(2), 1992b.

Shahar Y., Musen M.A.: RESUME: A Temporal−Abstraction System for Patient Monitoring, Computers and Biomedical Research, 26, pp. 255−73, 1993.

Shahar Y., Das A.K., Tu S.W., Musen M.A.: Knowledge−Based Temporal Abstraction in Clinical−Management Tasks, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp.143−7, 1994.

Shortliffe E.H.: Knowledge−Based System in Medicine, Proc. Medical Informatics Europe 1991, Springer, Berlin, 1991.

Sittig D.F., Pace N.L., Gardner R.M., Morris A.H., Wallace J.: Clinical Evaluation of Computer−based Respiratory Care Algorithms, Int. Journal of Clinical Monitoring and Computing 7, pp. 177−85, 1990.

Steimann F., Adlassnig K.−P.: Clinical Monitoring with Fuzzy Automata, Institut für Medizinische Computerwissenschaften, Universitaet Wien, Report No. MES−2, 1993.

Steimann F., Adlassnig K.−P.: Two−Stage Interpretation of ICU Data Based Fuzzy Sets, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp.152−6, 1994.

Sun Y., Kohane I.S.: Neonatal Workstation for Inspired Oxygen Control and Clinical Monitoring, in Kohane I.S., et al.(eds.), AI in Medicine: Interpreting Clinical Data, AAAI Press, Menlo Park, pp.162−4, 1994.

Szolovits P.: Artificial Intelligence and Medicine, in Szolovits P.(ed.), Artificial Intelligence in Medicine, Westview Press, Boulder, CO, 1982.

Uckun S., Dawant B.M. : Qualitative Modelling as a Paradigm for Diagnosis and Prediction in Critical Care Environments, Artificial Intelligence in Medicine 4(2), pp. 127−44, 1992.

Uckun S., Dawant B.M., Lindstrom D.P.: Model−based Diagnosis in Intensive Care Monitoring: the YAQ Approach, Artificial Intelligence in Medicine, 5(1), pp. 31−48, 1993a.

Uckun S.: Intelligent Systems in Patient Monitoring and Therapy Management, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, Report KSL 93−32, 1993b.