

10. *Haut Donahue T.L., Dehlin W., Gillespie J., Weiss W.J., Rosenberg G.* Finite element analysis of stresses developed in the blood sac of a left ventricular assist device // *Medical Engineering & Physics*. 2009. Vol. 31. PP. 454-460.
11. *Hayahi K.* Fatigue properties of segmented polyether polyurethanes for cardiovascular application // *ASTM STP*. 1994. Vol. 1173. PP. 9-19.
12. *Abraham G.A., Frontini P.M., Cuadrado T.R.* Physical and mechanical behavior of sterilized biomedical segmented polyurethanes // *Journal of Applied Polymer Science*. 1997. Vol. 65 (6). PP. 1193-1203.
13. *Belyaev L.V., Zhdanov A.V., Morozov V.V.* Materials and technologies for pulsative Russian artificial heart ventricle manufacturing / *International Conference on Mechanical, System and Control Engineering, ICMSC*. 2017. PP. 22-26. St. Petersburg, May 19-21.
14. *Belyaev L.V. et al.* A Comparative Study of Hyperelastic Constitutive Models to Characterize the Behaviour of a Biopolymer Material for Diaphragm of Blood Pump Manufacturing // *Journal IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 739. PP. 1-6.
15. *Булат А.Ф., Говоруха В.В., Дырда В.И.* Закономерность разрушения эластомеров при длительном циклическом нагружении // *Геотехническая механика*. 2004. № 52. С. 3-95.
16. *Дырда В.И., Толстенко А.В., Калганков Е.В.* Определение долговечности упруго-наследственных сред с использованием обобщенных критериев разрушения // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Т. 4. № 7 (64). С. 4-7.
17. *Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Е.Б.* Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. С. 702.

*Леонид Викторович Беляев,  
канд. техн. наук, доцент,  
Алексей Валерьевич Жданов,  
канд. техн. наук, доцент,  
Никита Сергеевич Довбыш,  
магистрант,  
кафедра «Технология машиностроения»,  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный  
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Владимир,  
e-mail: blv\_vlsu@mail.ru*

*Х. Ким, Д.А. Чувииков, Д.В. Аладин, О.О. Варламов, Л.Е. Адамова, В.Г. Осипов*

## **Создание базы знаний для миварной экспертной системы диагностики сахарного диабета**

### **Аннотация**

Продукционные экспертные системы, основанные на правилах, уже достаточно давно используются в медицине. В настоящей статье показано применение миварной экспертной системы для задачи диагностики сахарного диабета и описан пример ее создания. Сначала создают базу знаний в виде миварной сети параметров и правил, затем заносят ее в КЭСМИ, получают параметры человека и выполняют диагностику. Создан прототип миварной базы знаний в виде таблиц параметров и правил, который включает в себя 62 параметра и 27 правил. В перспективе миварная база знаний будет эволюционно наращиваться.

### **Введение**

Как всем известно, сахарный диабет (СД) [1] входит в число самых распространенных в мире хронических заболеваний. По данным Международной федерации диабета (IDF), в мире зарегистрировано более 430 млн человек, которые болеют сахарным диабетом. К 2040 году прогнозируется рост числа людей, больных диабетом, до 642 млн человек. Типичными проявлениями недуга являются постоянное чувство жажды и частые позывы к мочеиспусканию, раздражение и зуд кожи, слабость, в том числе мышечная, дневная сонливость, стремительное похудение на фоне повышенного аппетита. Анализ научной литературы, а также другие материалы врачей-эндокринологов [1], которые предоставил профессор Древаль А.В., позволили выявить причинно-следственные зависимости в виде продукционных правил «Если..., То...» для диагностики сахарного диабета. Как известно, основой диагностики сахарного диабета служит анализ крови на содержание глюкозы и некоторых других веществ. Важны параметры человека, его состояние, образ жизни, возможные проявления симптомов. Так как диагностирование заболеваний – это сложная экспертная область, в которой знания описываются в продукционной форме, то для ее моделирования целесообразно применять миварный конструктор экспертных систем КЭСМИ Wi!Mi «Разуматор».

### **Миварные технологии логического искусственного интеллекта**

Создание логически рассуждающих экспертных систем, основанных на правилах, остается актуальной и практически значимой проблемой. В настоящее время активно развиваются миварные [2] технологии логического искусственного интеллекта, на основе которых можно решить поставленную в рассматриваемой работе научную задачу. На основе запатентованного способа логической обработки миварных баз знаний [3] создан конструктор экспертных систем КЭСМИ Wi!Mi «Разуматор» [4]. В настоящее время Wi!Mi используется для научных исследований и решения различного класса задач вместе с методами вычислительной обработки данных [5]: описания этических аспектов в медицине [6], создания автономных машин [7] и автомобилей [8], автоматизированных систем управления [9], реконструкции дорожно-транспортных происшествий и аварий [10], мониторинга соблюдения правил дорожного движения [11]. Кроме традиционных применений экспертных систем (ЭС) для создания рекомендательных систем и систем поддержки принятия решений (СППР), линейная сложность миварного логического вывода [3], [4] позволила успешно применять миварные технологии для планирования [12] в реальном времени действий роботов [13], тракторов [14], групп комбайнов [15] и различных транспортных [16] средств

## Анализ мочи

Анализ мочи	11. Наличие кетоновых клеток	11.1 в наличии
		11.2 нет в наличии
	12. Мочевая кислота	12.1 менее 210 мкмоль/л
		12.2 210-420 мкмоль/л
		12.3 более 420 мкмоль/л

Таблица 3

## Параметры миварной сети правил

Генетические факторы	16. Наличие у родственников СД 1го или 2го типа	16.1 да
		16.2 нет
ЭКГ	17. Есть ли отклонения на ЭКГ	17.1 да
		17.2 нет
УЗИ почек и подпочечников	18. Есть ли отклонения	18.1 да
		18.2 нет
МРТ гипофиза	19. Есть ли опухоль гипофиза	19.1 да
		19.2 нет
Вирусы	20. Наличие вируса Эпштейна-Барра	20.1 да
		20.2 нет
	21. Наличие вируса свинки	21.1 да
		21.2 нет
Наличие наследственной предрасположенности		22.1 да
		22.2 нет

В табл. 4 приведен фрагмент списка правил, описывающих предметную область «Диагностика сахарного диабета».

## Заключение

Миварные технологии могут применяться для создания экспертных систем в медицине. Например, для выполнения диагностики сахарного диабета нужно создать сеть знаний параметров и правил, занести ее в КЭСМИ WiMi и получить миварную экспертную систему. Потом получаем параметры обследуемого и выполняем диагностику. На данном этапе создан прототип миварной сети знаний в виде таблиц из 62 параметров и 27 правил.

## Список литературы:

1. Древалъ А.В. Диабетологическая практика. – М.: Геотар-Медиа, 2018. 544 с.
2. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. – М.: Радио и связь, 2002. 288 с.
3. Варламов О.О., Хадиев А.М., Чибирова М.О., Сергушин Г.С., Антонов П.Д. Автоматизированное построение маршрута логического вывода в миварной базе знаний / Патент на изобретение RU 2607995. Заявка № 2015104624 от 11.02.2015. Опубликовано 11.01.2017. Бюл. № 2. 43 с.
4. Varlamov O.O. WiMi Expert System Shell as the Novel Tool for Building Knowledge-Based Systems with Linear Computational Complexity // International Review of Automatic Control. 2018. Vol. 11. № 6. PP. 314-325.
5. Varlamov O.O. Exhaustive elementary-incremental summing up of numbers with linear computational complexity // Avtomatizatsiya i Sovremennye Tekhnologii. 2003. Vol. 1. PP. 34-41.
6. Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E., Petrov M.A., Zabolotskaya I.K., Zhilina T.N. Logical, Philosophical and Ethical Aspects of AI in Medicine // International Journal of Machine Learning and Computing. 2019. Vol. 9. № 6. PP. 868-873.

на основе алгоритма MIPRA [17]. Вместе с тем, необходимо отметить, что миварные технологии развиваются в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках научного направления «гибридные интеллектуальные информационные системы» (ГИИС) [18]. ГИИС в совокупности [19] с другими методами искусственного интеллекта, например метаграфами [20], позволяет создавать когнитивные архитектуры [21] для поддержки принятия [22] управленческих решений в корпоративном управлении [23] и стратегическом менеджменте [24]. На основе миварных технологий созданы «многомерная открытая гносеологическая активная сеть» (multidimensional open gnoseological active net, MOGAN) и программный комплекс WiMi, который используется для диагностики СД.

## Решение задачи создания миварной базы знаний для диагностики СД

Для выполнения диагностики сахарного диабета нужно узнать об обследуемом следующие параметры: пол, симптомы, возраст, а также сделать анализ крови и мочи, измерить давление, узнать антропометрические параметры. Для создания миварной экспертной системы необходимо прежде всего создать миварную сеть параметров и правил (знаний) для системы диагностики сахарного диабета, чтобы потом проводить обследование. В результате анализа медицинских знаний в исследуемой предметной области [1] были получены следующие результаты создания прототипа миварной сети знаний. В связи с ограничением объема публикации приведем фрагменты необходимой информации, которая используется в КЭСМИ WiMi. База знаний включает в себя такие таблицы классов и параметров:

- 1) пол обследуемого (1.1 – мужской, 1.2 – женский);
- 2) тип сахарного диабета (2.1 – диабет 1-го типа; 2.2 – диабет 2-го типа; 2.3 – диабета нет и 2.4 – преддиабетное состояние);
- 3) симптомы (3.1 – чрезмерная жажда; 3.2 – частое мочеиспускание; 3.3 – утомляемость; 3.4 – снижение концентрации внимания; 3.5 – затуманенность зрения; 3.6 – зуд и сухость кожи; 3.7 – рвота; 3.8 – потеря веса; 3.9 – чрезмерный голод);
- 4) возраст (4.1 – 0...11 лет; 4.2 – 12...17; 4.3 – 18...29; 4.4 – 30...49; 4.5 – 50 и более лет).

Рассмотрим примеры табл. 1 и 2 параметров описания анализа крови и мочи. Также были выделены параметры: генетические факторы, ЭКГ, УЗИ почек и надпочечников, МРТ гипофиза, вирусы, наличие наследственной предрасположенности, которые показаны в табл. 3.

Таблица 1

## Анализ крови

Анализ крови	5. Глюкоза	5.1 до 6 ммоль/л
		5.2 6-6,5 ммоль/л
		5.3 6,5 ммоль/л и более
	6. Холестерин	6.1 0-1,5
		6.2 1,8-2,5
		6.3 2,5-4,5
	7. Наличие HBA1C	7.1 в наличии
		7.2 нет в наличии
	8. Наличие ZnT8Ab	8.1 в наличии
		8.2 нет в наличии
	9. Триглицериды	9.1 менее 1,7
		9.3 более 1,7
	10. Витамин D	10.1 низкое содержание
		10.2 нормальное содержание

7. *Shadrin S.S., Varlamov O.O., Ivanov A.M.* Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence // *Journal of Advanced Transportation*. 2017. Vol. 2017. P. 2492765.
8. *Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Aladin D.V., Adamova L.E., Osipov V.G.* Logical artificial intelligence Mivar technologies for autonomous road vehicles // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 534(1). P. 012015.
9. *Ostroukh A., Surkova N., Varlamov O., Chernenky V., Baldin A.* Automated process control system of mobile crushing and screening plant // *Journal of Applied Engineering Science*. 2018. Vol. 16 (3). PP. 343-348.
10. *Chuvikov D.A., Varlamov O.O., Aladin D.V., Chernenkiy V.M., Baldin A.V.* Mivar models of reconstruction and expertise of emergency events of road accidents // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 534 (1). P. 012007.
11. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Chernenkiy V.M., Smelkova E.A., Baldin A.V.* Logic-based artificial intelligence in systems for monitoring the enforcing traffic regulations // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 534 (1). P. 012025.
12. *Varlamov O.O., Aladin D.V.* Successful application of mivar expert systems for MIPRA – solving action planning problems for robotic systems in real time // *Radio Industry (Russia)*. 2019. Vol. 29 (3). PP. 15-25.
13. *Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E., Fedoseev D.A.* Control of vehicles and robots: Creation of

Таблица 4

**Миварные правила в формате «Если (вход)..., То (выход)»**

№	Формулировка правила	Входные параметры	Выходные параметры
1	Если глюкоза до 6 мм/л, то диабета нет	5.1 глюкоза до 6 ммоль/л	2.3 диабета нет
2	Если нет НВА1С, то диабета нет	7.2 нет в наличии	2.3 диабета нет
3	Если в крови в наличии НВА1С, то имеется диабет 1-го типа	7.1 в наличии	2.1 диабет 1 типа
4	Если в наличии в моче кетоновые клетки, то имеется диабет 1-го типа	11.1 в наличии	2.1 диабет 1 типа
5	ZnT8Ab и уровень глюкозы 6,5 и более мм/л, то имеется диабет 1-го типа	7.1 в наличии 8.1 в наличии 5.3 более 6,5 ммоль/л	2.1 диабет 1 типа
6	Если пациент имеет низкое содержание витамина D и пациент имеет уровень глюкозы в крови более 6,5 моль/л, то имеется диабет 1-го типа	10.1 низкое 5.3 более 6,5 ммоль/л	2.1 диабет 1 типа
7	Если пациент имеет вирус свинки или Эпштейна-Барра и пациент имеет уровень глюкозы в крови более 6,5 моль/л, то имеется диабет 1-го типа	20.1 да 21.1 да 5.3 более 6,5 ммоль/л	2.1 диабет 1 типа
...	...	...	...
16	Если пациент имеет признаки ишемической болезни сердца и пациент имеет отклонения в ЭКГ и анализ крови показывает высокий уровень холестерина и ИМТ более 28, то имеется диабет 2-го типа	17.1 да 6.3 2,5-4,5 15.5 28 и более	2.2 диабет 2 типа
17	Если пациент имеет признаки ишемической болезни сердца и пациент имеет отклонения в ЭКГ и пациент имеет уровень глюкозы в крови более 6,5 моль/л, то имеется диабет 2-го типа	17.1 да 5.3 6,5 ммоль/л или более	2.2 диабет 2 типа
18	Если пациент имеет высокий уровень холестерина и ИМТ более 28 и пациент имеет уровень глюкозы в крови более 6,5 моль/л, то имеется диабет 2-го типа	15.5 более 28 6.3 2,5-4,5 5.2 6-6,5 ммоль/л	2.2 диабет 2 типа
19	Если пациент имеет родственников с 1 или 2 типом диабета и мочевая кислота имеет более 420 мкмоль/л и ЭКГ показывает скрытую аритмию, то имеется диабет 2-го типа	16.1 да 12.3 более 420 мкмоль/л 17.1 да	2.2 диабет 2 типа
20	Если пациент имеет родственников с 1 или 2 типом диабета и присутствует НВА1С, то имеется диабет 2-го типа	16.1 да 7.1 в наличии	2.2 диабет 2 типа
21	Если пациент имеет постоянную чрезмерную жажду, повышенное артериальное (систолическое) 140 и выше и повышенное артериальное давление (диастолическое) более 85, ИМТ более 28, то имеется диабет 2-го типа	3.1 чрезмерная жажда 13.3 140 и более 14.3 85 и более 15.5 более 28	2.2 диабет 2 типа
22	Если пациент имеет отклонения в гипофизе (МРТ) и имеет в крови ZnT8Ab, то имеется диабет 2-го типа	19.1 да 8.1 да	2.2 диабет 2 типа
23	Если возраст пациента более 50 лет, в ЭКГ имеются отклонения, имеет родственников с диабетом 1-го или 2-го типа и в крови 6,5 ммоль/л и более, то имеется диабет 2-го типа	4.5 50 и более 17.1 да 16.1 да 5.3 6,5 ммоль/л и более	2.2 диабет 2 типа
24	Если пациент имеет в крови триглицериды более 1,7 мкмоль/л и ИМТ более 28 и чрезмерную жажду, то имеется диабет 2-го типа	9.2 более 1,7 15.5 более 28 3.1 чрезмерная жажда	2.2 диабет 2 типа
25	Если пациент имеет потерю веса, рвоту и в крови в наличие НВА1С, то имеется диабет 2-го типа	3.8 потеря веса 3.7 рвота 7.1 в наличии	2.2 диабет 2 типа
26	Если клиент имеет родственников, имеющих диабет 1-го или 2-го типа и в УЗИ почек и надпочечников есть отклонения и в крови имеется в наличие ZnT8Ab, то диабет 2-го типа	16.1 да 18.1 да 8.1 в наличии	2.2 диабет 2 типа
27	Если у пациента ИМТ более 28 и систолическое давление больше 140 и диастолическое более 85 и в крови имеется наличие НВА1С, то имеется диабет 2-го типа	13.3 140 и более 14.3 85 и более 7.1 в наличии 15.5 более 28	2.2 диабет 2 типа

- planning systems in the state space (MIPRA) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). P. 012097.
14. Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E., Saraev D.V. Control of machines and robots: Creation of mivar decision-making systems for controlling autonomous tractors and special vehicles of the ministry of emergencies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). P. 012098.
  15. Varlamov O.O., Aladin D.V., Adamova L.E., Chuvikov D.A., Saraev D.V. Creation of autonomous groups of combine harvesters and tractors for agriculture based on the Mivar decision-making systems «ROBO!RAZUM» // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 819 (1). P. 012002.
  16. Aladin D.V., Varlamov O.O., Adamova L.E., Chuvikov D.A., Saraev D.V. Control of vehicles and robots: Creating of knowledge bases for mivar decision making systems robots and vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 747 (1). P. 012099.
  17. Aladin D.V., Varlamov O.O., Adamova L.E., Chuvikov D.A., Fedoseev D.A. About the project developing «MIPRA» – the intelligent planner in the state space for vehicles, tractors, and robots based on the architectural solutions of the Mivar systems for traffic enforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 819 (1). P. 012006.
  18. Chernenkiy V., Gapanyuk Y., Terekhov V., Revunkov G., Kaganov Y. The hybrid intelligent information system approach as the basis for cognitive architecture // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 145. PP. 143-152.
  19. Skvortsova M., Terekhov V., Grout V. A hybrid intelligent system for risk assessment based on unstructured data / Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference. ElConRus. 2017. Vol. 1. 7910616. PP. 560-564.
  20. Chernenkiy V.M., Gapanyuk Y.E., Revunkov G.I., Kaganov Y.T., Fedorenko Y.S., Minakova S.V. Using metagraph approach for complex domains description // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 2022. PP. 342-349.
  21. Chernenkiy V., Gapanyuk Y., Revunkov G., Kaganov Y., Fedorenko Y. Metagraph Approach as a Data Model for Cognitive Architecture // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 848. PP. 50-55.
  22. Terekhov V.I., Chernenkiy I.M., Buklin S.V., Yakubov A.R. Cognitive Visualization in Management Decision Support Problems // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2019. Vol. 28 (1). PP. 27-35.
  23. Sukhobokov A.A. Business analytics and AGI in corporate management systems // Procedia Computer Science. 2018. Vol. 145. PP. 533-544.
  24. Sukhobokov A.A., Galimov R.Z., Zolotov A.A. A Strategic Management System Based on Systemic Learning Algorithm // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 848. PP. 290-295.

Хохон Ким,  
магистрант,  
кафедра ИУ-5,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,  
Дмитрий Алексеевич Чувилов,  
канд. техн. наук, начальник отдела,  
НИИ МИВАР,  
Дмитрий Владимирович Аладин,  
аспирант,  
Олег Олегович Варламов,  
д-р техн. наук, профессор,  
кафедра ИУ-5,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,  
Лариса Евгеньевна Адамова,  
канд. психолог. наук, доцент,  
кафедра общей психологии  
и психологии труда  
АНО ВО «Российский новый университет»,  
Вячеслав Георгиевич Осипов,  
зам. директора,  
НИИ МИВАР,  
г. Москва,  
e-mail: ovar@narod.ru

А.А. Венедиктов, М.В. Гурин, С.В. Евдокимов, Р.С. Фадеев

## Оценка биосовместимости говяжьего сухожилия после экспериментальной обработки для протеза связки человека на модели *in vitro*

### Аннотация

Повреждение сухожильно-связочного аппарата грозит серьезными последствиями для физической активности человека. Особенно часто происходят разрывы у физически здоровых людей, ведущих активный образ жизни, например у спортсменов. Для лечения этих травм в ортопедии и травматологии применяют аутопластические операции и установку протезов из синтетических и биологических материалов. На сегодняшний день протезы из биотканей все более интересны, так как при качественной обработке материала с целью удаления всех биокомпонентов кроме коллагенового каркаса, которые вызывают иммунный ответ и, как следствие, отторжение, они сохраняют биологическое строение и прочность. Очень перспективным и доступным для изготовления подобных протезов является говяжье сухожилие. В рассматриваемой работе для изготовления протеза связки применена методика обработки сырья, включающая в себя механическую обработку, химико-физические методы обработки и специальную обработку сверхкритическим флюидом углекислого газа с неионогенным поверхностно-активным веществом «Tween 80» для децеллюляризации, извлечения органических составляющих помимо коллагенового каркаса с целью придания материалу биосовместимых свойств при сохранении прочностных качеств. Были оценены биосовместимые свойства прототипа протеза связки человека из доступного материала – говяжьего сухожилия на модели *in vitro*.

### Введение

Повреждение сухожильно-связочного аппарата является одной из наиболее актуальных и часто встречающихся причин, ограничивающих физическую деятельность людей, ведущих активный образ жизни [1]. Связки выполняют важнейшую

роль в организме, связывая кости между собой, – это полосы плотной соединительной ткани. Наибольшее значение в травматологии имеет передняя крестообразная связка (ПКС), направленная от бедренной к большеберцовой кости. Когда колено разогнуто, связка имеет среднюю длину 32 мм и ширину 7...12 мм. Она состоит из коллагеновых волокон. Волокна