

Медицинские информационные системы

Модуль 2. Мониторинг функционального организма человека.

Цель и задачи мониторинга, основные принципы организации систем мониторинга. Типовая архитектура системы мониторинга

Ланцберг Анна Вильямовна

К.т.н., доцент кафедры ИУБ (Компьютерные системы и сети)

lantsberg_av@bmstu.ru

Каб. 801 ГК

Концепция персонализированной медицины

Организация мероприятий по диспансеризации населения с целью выявления патологий на ранних стадиях развития и проведения лечения

- Разработка систем мониторинга функционального состояния организма (ФСО) человека (и его отдельных подсистем)

Вовлечение пациента в процесс принятия медицинского решения

- Создание открытых информационных систем, обладающих инструментами для интерактивного взаимодействия с пациентами (например, мобильные терминалы регистрации на дому показателей состояния) и сервисами для пациентов (например, просмотр информации из электронной болезни)

Владение полной, достоверной и своевременной информацией о пациенте

- Создание единого информационного пространства для осуществления взаимодействия ЛПУ различных специализаций на различных территориальных уровнях. **Интеграция МИС различного назначения**

1. Что такое функциональное состояние подсистемы организма?

Это категория, характеризующая динамическое состояние биологической системы

2. Чем отличается оценка функционального состояния организма человека от оценки отдельных подсистем?

Это интегральная характеристика состояния здоровья, которая отражает адаптивные возможности организма и оценивается по данным изменений функций и структур в текущий момент при взаимодействии с факторами внешней среды

3. Какие проблемы возникают при оценке ФСО?

- Сложность выделения категорий «здоров» и «болен» и приграничных состояний
- В общем случае категория «здоровье» рассматривается как процесс непрерывного приспособления к изменениям окружающей среды
- Сложность выделения наиболее «значимых» подсистем организма, на которые надо опираться в оценке интегральной характеристики «здоров-болен»
- Сложность объединения сведений о состоянии отдельных подсистем и формирования на их основе интегральной характеристики «здоров-болен» (отсутствуют математические модели)

4. Наиболее перспективные методы оценки ФСО с точки зрения категории «здоров» основаны на исследовании свойств электрофизиологических биосигналов человека (в частности, сердечно-сосудистой системы). Почему?

Категория «Здоров»

Анализ интервалограмм отдельных биосигналов

Например: Анализ variability сердечного ритма

Метод основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-зубцами электрокардиограммы (R-R-интервалы), построении динамических рядов кардиоинтервалов и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами.



Категория «Болен»

Основа методов – система шкал, базирующихся на количественных методах оценки физического состояния пациента и содержащих динамические и статические признаки заболевания, а также интегральные показатели, определяемые с использованием методов математической статистики

Категория «Болен». Примеры шкал

- Шкала Американского общества анестезиологов

Класс	Описание	Пример
Класс I	Пациент без сдвигов в функциях организма	Грыжа, киста яичника
Класс II	Пациент с легкими системными нарушениями, связанными с основным заболеванием или сопутствующим процессом	Умеренное ожирение, компенсированный диабет, гипертоническая болезнь, хронический бронхит
Класс III	Пациент с тяжелой системной патологией, ограничивающей активность, но не декомпенсированной	Тяжелое ожирение, стенокардия, излеченный инфаркт миокарда, инсулинозависимый диабет, умеренная хроническая легочная недостаточность
Класс IV	Тяжелое декомпенсированное системное заболевание, угрожающее жизни больного	Заболевание сердца с картиной сердечной недостаточности, нестабильная ангина, рефрактерная аритмия, выраженное поражение печени, почек, легких
Класс V	Больной, проживший без операции не более 24-х часов	Разрыв аорты, легочная эмболия, церебральная травма с высоким интракарниальным давлением
Класс VI	Смерть головного мозга	

Суммарная шкала оценки ФСО по Шапошникову

- Шкала оценки тяжести пациента (ШОТ) Шапошникова А.В.

Системы	Степень нарушения функции в баллах			
	нет нарушения	незначительная	умеренная	значительная
Центральная нервная система (ЦНС)	0	1	2	3
Сердечно-сосудистая	0	1	2	3
Дыхательная	0	1	2	3
Мочевыделительная	0	1	2	3
Печень	0	1	2	3
Гастроинтестинальная	0	1	2	3
Состояние питания	0	1	2	3

Оценка состояния ЦНС	
Нарушение	Балл
полное адекватное сознание	0
проявления умеренной заторможенности, вялости	1
контакт затруднен, адинамия	2
церебральная кома	3
Оценка состояния CCC	
нет нарушений CCC	0
барди- или тахикардия без нарушения ритма	1
признаки ИБС при нагрузке, аритмии, отеков нет	2
отеки нижних конечностей, эссудация плевры, асцит	3

Сумма баллов	Степень тяжести
0	нет нарушений
1-6	состояние удовлетворительное
7-12	средней тяжести
13-18	тяжелое



Системы мониторинга ФСО



Трехуровневая классификация систем медицинского мониторинга

Уровень	Класс систем мониторинга
1	Аппаратно-программные средства для снятия, регистрации и визуализации биомедицинских сигналов (наиболее разработанный и зачастую ограничивающий уровень)
2	Программно-аппаратные средства, выполняющие первичную обработку биомедицинских сигналов
3	Интеллектуальные системы, решающие задачи медицинской диагностики

Интеллектуальные системы, решающие задачи медицинской диагностики

Это информационные системы оценки состояния различных подсистем, а также организма в целом, реализованные на основе следующих информационных технологий:



Интеллектуальные системы, решающие задачи медицинской диагностики

Системы автоматизированной диагностики

- **Области применения:** дифференциальная диагностика заболеваний, оценка состояния органов и подсистем
- **Основа систем:** математические модели подсистем организма (или отдельных органов), реализующие диагностику на основе объективных факторов
- **Недостатки:** отсутствует математический аппарат, позволяющий производить комплексную оценку состояния организма

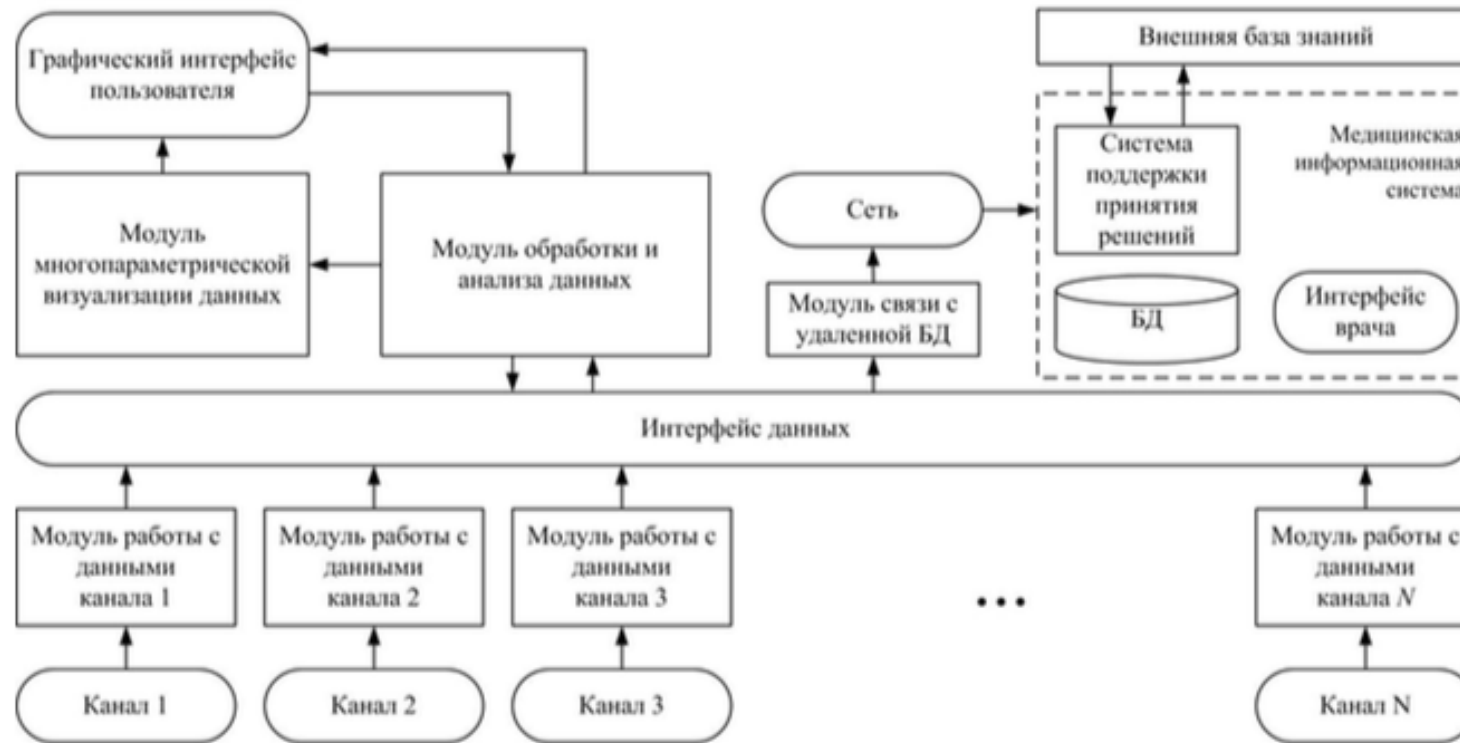
Экспертные системы

- **Области применения:** комплексная диагностика состояния подсистем организма, а также организма в целом
- **Основа:** экспертные оценки показателей состояния подсистем организма
- **Практически не используются**

Гибридные ИС

- **Основа:** автоматизированная оценка состояния отдельных подсистем (органов) и формирование комплексной оценки ФСО на основе экспертных оценок
- **Недостатки:** субъективность оценок врачей-экспертов
- Используется модульная архитектура, каждый модуль отвечает за оценку состояния одной из подсистем организма

Типовой пример архитектуры системы мониторинга



Пушкарева А.В., Баранов В.А., Кузьмин А.В. Архитектура приложения для анализа и визуализации данных многопараметрического телемедицинского мониторинга // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. - 2022, №3. - С. 168 - 179

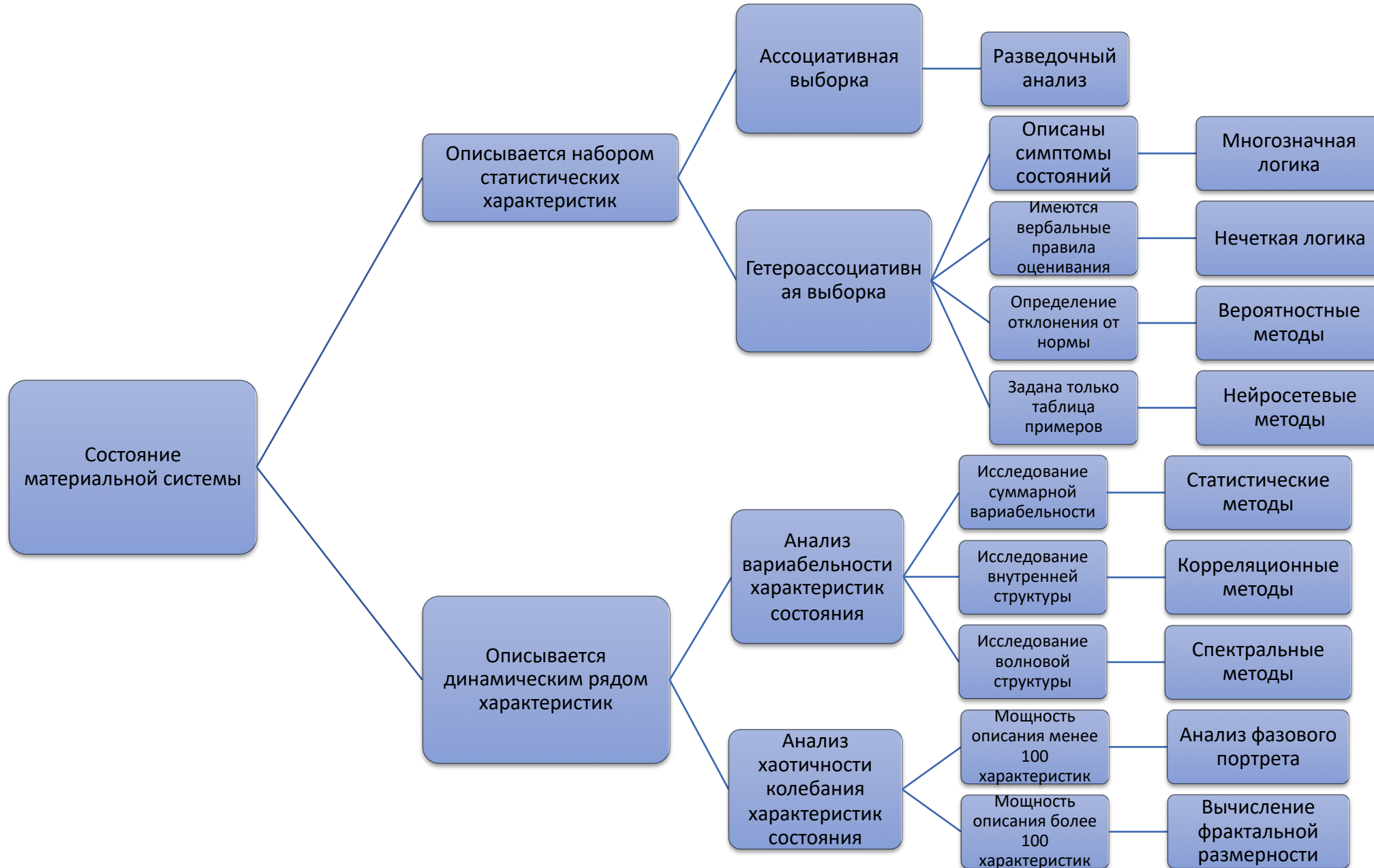
Оценка ФСО предполагает:

- определение состояния организма человека на момент исследования на основе индивидуальных и экспертных показателей;
- изучение динамики индивидуальных показателей состояния организма с целью вычисления их значений, определяющих состояние «нормы» и состояние «отклонение от нормы» (приводящее к развитию патологий) для конкретного индивида;
- изучение истории болезни человека, выявление степени влияния перенесенных заболеваний на работу, как подсистем, так и организма в целом;
- изучение особенностей окружающей среды человека, для которого проводятся исследования.

Важные аспекты при оценке ФСО:

- Степень информативности каждого показателя при оценке состояния системы
- Взаимосвязи между анализируемыми показателями
- Является ли оценки изучаемого показателя ФСО объективной или субъективной
- Как использовать показатели, представленные вербальным описанием

Классификация математических методов для ФСО



Классификация математических методов для ФСО

I. Математические методы, используемые в «профилактических целях»

Используется балльный подход на основе методы вычисления оценок (на основе значений оценок математического ожидания и среднего квадратического отклонения характеристик; либо отклонения текущего значения характеристики состояния от нормы с последующей сверткой баллов с помощью метода среднего арифметического, среднего геометрического или средневзвешенного).

II. Математические методы для динамического оценивания состояний

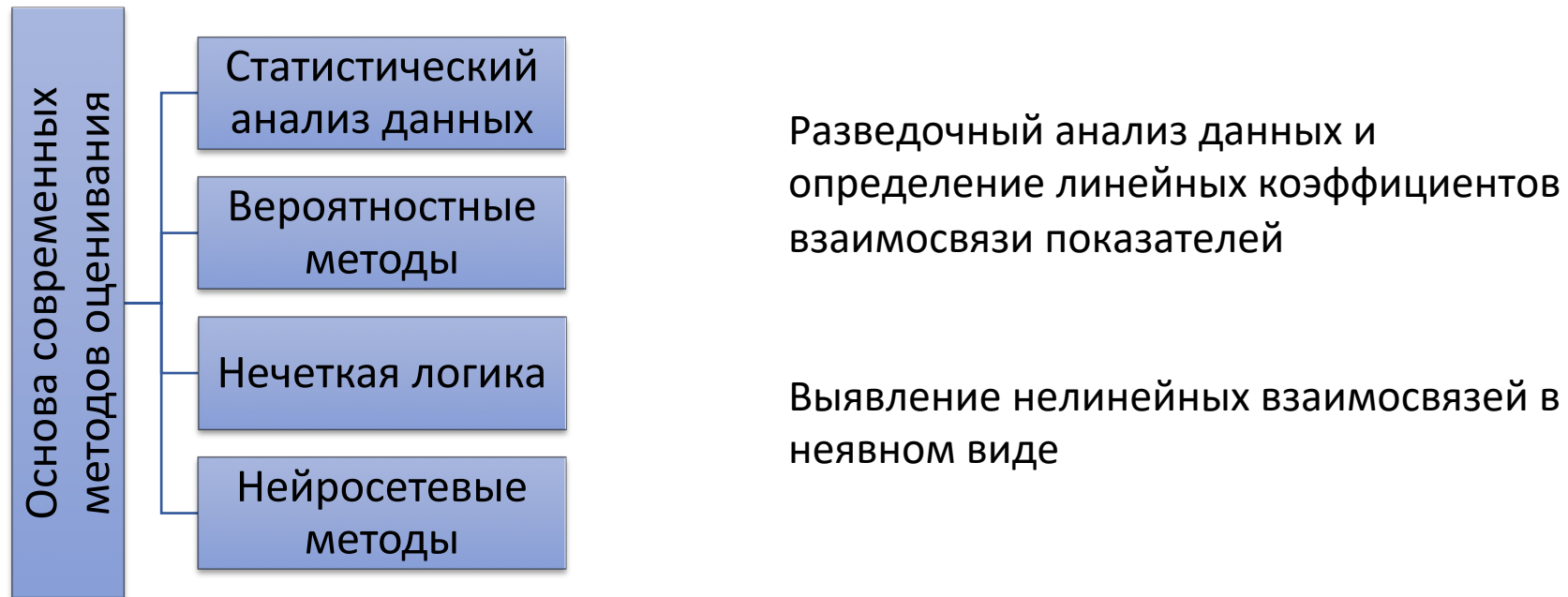
Используются методы исследования количественных оценок состояния на основе отклонения от характеристик нормы

III. Математические методы, используемые при выявлении признаков (ранних форм) нарушения функционирования подсистем и организма в целом

Используются математические методы выявления факторов риска нарушения работы организмы, математические методы обработки результатов инструментальных исследований, математические методы анализа многомерных данных

Как выбрать математический подход

- I. Рассмотреть индивидуальные особенности поставленной задачи
- II. Учесть способ описания состояния
- III. Учесть способ представления исходных данных



Что такое состояние подсистемы или организма с точки зрения математики?

Это отображение пространства показателей, характеризующих функциональное состояние, в одномерное пространство оценок состояния организма (объединяемых в класс) и формулировка интегрального критерия, в соответствии с которым изучаемый объект может быть отнесен к одному из выделенных классов

Как решить эту сложную задачу?

- i. Сформировать характеристический вектор, образованный показателями состояния системы*
- ii. Выделить классы состояния организма (системы или подсистемы) и сформировать на их основе вектор состояний*
- iii. Сжать пространство исходных показателей*
- iv. Разработать и реализовать алгоритм распознавания выделенных классов по совокупности показателей*

i. Формирование характеристического вектора показателей состояния системы

Унифицированные статистические концепции предполагают формирование **ковариационной матрицы** показателей состояния и использование ее характеристик на последующих этапах анализа данных.

Что такое ковариация?

Что такое дисперсия?

Что такое математическое ожидание?

$$K = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & \sigma_2^2 & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix}$$

i. Формирование характеристического вектора показателей состояния системы

Основные определения:

Ковариация $\text{cov}(X, Y)$ случайных величин – это мера зависимости двух случайных величин (мера их изменчивости).

Ковариация положительна, если большие значения одной величины соответствуют большим значениям другой величины (аналогично и для меньших значений)

Ковариация отрицательна, если большие значения одной величины соответствуют меньшим значениям другой величины.

Если X, Y – независимые случайные величины, определенные на одном и том же вероятностном пространстве, то $\text{cov}(X, Y) = 0$

$$\text{cov}(X, Y) = \mathbb{E} [(X - \mathbb{E}X)(Y - \mathbb{E}Y)],$$

где \mathbb{E} – математическое ожидание

Математическое ожидание – это среднее (взвешенное по вероятности возможных значений) значение случайной величины

Дисперсия (σ) – это мера разброса значений случайной величины относительно ее математического ожидания

ii. Выделение классов состояния организма и формирование вектора состояний

Используются **технологии кластеризации данных**, позволяющие сформировать подпространства характеристического вектора состояний, являющихся выражением классов состояния.

Важно выбрать:

- *наиболее информативную и «наглядную» технологию кластеризации, позволяющую определить критерии объединения объектов в класс путем выбора функции расстояния между объектами, объединяемыми в класс, и ФСО, попадающими в разные классы;*
- *форм функций расстояния;*
- *параметров, ограничивающих значения функций расстояний для одного класса и разных классов.*

Методы кластерного анализа данных



iii. Сжать пространство исходных показателей

Необходимо выработать правила выбора наиболее значимых показателей и отсеечения незначительных, а также их группировки

Основные методы:

- *Методы дискриминантного анализа данных*
- *Методы факторного анализа данных*
- *Методы анализа главных компонент*
- *Методы разделения независимых компонент*

iii. Сжать пространство исходных показателей

Дискриминантный анализ данных

Преимущество метода: возможность формирования набора дискриминантных функций y_k , отражающих линейные зависимости между исследуемым вектором показателей и вектором функциональных состояний для каждого типологического класса, определяя тем самым наиболее информативные показатели.

$$y_k = b_{k0} + \sum_{i=1}^d b_{ki} \cdot x_i = b_{k0} + b_{k1} \cdot x_1 + b_{k2} \cdot x_2 + \dots + b_{kd} \cdot x_d$$

b_{ki} – коэффициенты дискриминации, являющиеся количественным выражением критериев информативности показателей, d – количество показателей, k – номер класса функционального состояния, x_i – значение i – показателя.

iv. Разработка и реализация алгоритма распознавания выделенных классов по совокупности показателей

Для уточнения линейных зависимостей между показателями, а также выявления нелинейных зависимостей между показателями состояния и классом состояния эффективно разрабатывать и использовать алгоритмы распознавания образов классов на основе:

- *Нейросетевых технологий*
- *Методов нечеткой логики*
- *Гибридных нейронечетких методов*
- *Генетических алгоритмов*

Спасибо за внимание!