

Системный анализ и принятие решений

## Лекция 13

Биологическая обратная связь.

Коробов Александр Сергеевич

710-4271

sa\_k310@mail.ru

# Что такое биологическая обратная связь (БОС)?

- Способ получения дополнительной информации о работе организма и его составляющих называется биологической обратной связью
- Ее практическое использование - биоуправлением с биологической обратной связью.
- Энциклопедия Британника дает следующее определение: "Биологическая обратная связь - тип поведенческой терапии, которая пытается изменять условнорефлекторные реакции на стресс".

# Что такое биологическая обратная связь? (2)

- Биологическая обратная связь (biological feedback) является прежде всего биологическим механизмом контроля качества достигнутого результата.
- Различают отрицательную и положительную обратную связь.
- Если повышение значения одного биологического показателя приводит к снижению другого (или наоборот), то имеет место отрицательная обратная связь, то есть зависимость между показателями обратно пропорциональная.
- Если повышение значения одного показателя приводит к увеличению другого, а это, в свою очередь, еще больше повышает значение первого показателя, то говорят о положительной обратной связи. В этом случае зависимость между показателями прямо пропорциональная, а данный вариант обратной связи характерен для больного организма

# Что лежит в основе БОС?

- Главный психофизический закон (о зависимости между ощущениями и раздражителями) и его дополнение, предложенное Стивенсом:
- $I = K \cdot (S - S_0)^n$ ,
- где  $I$  - ощущение,  $K$  - коэффициент,  $S$  - величина стимула,  $S_0$  - пороговое значение стимула.

# Что лежит в основе БОС? (2)

- Мы способны ощущать лишь достаточно сильные, "надпороговые" раздражители. Сигналы от внутренних рецепторов нашего тела обычно таковыми не являются. Но если их усилить - мы начнем воспринимать информацию о работе нашего организма.
- Многие гипертоники чувствуют высокое давление. Но оказалось, что при одновременном получении сигнала от подпорогового раздражителя и параллельно по сенсорному каналу искусственной обратной связи возникает феномен "прироста интенсивности ощущения".
- В результате становится возможным чувствовать слабые сигналы о подсознательной работе нашего организма, а при необходимости - и управлять ею.

# Каналы получения обратной СВЯЗИ

- Зрительный
  - Слуховой
  - Вестибулярный
  - Обонятельный
  - Вкусовой
  - Тактильный
  - Проприоцептивный (Проприоцептивный анализатор позволяет оценить положение тела в пространстве и частей тела относительно друг друга с помощью рецепторов скелетных мышц, сухожилий и суставов)
  - Висцеральный (Висцеральный анализатор воспринимает механические и химические изменения внутренних органов)
  - Болевые анализаторы.
- Каждый из них используется нами для контроля результата совершаемого действия и коррекции самого действия.

# Варианты реализации БОС

- БОС по электромиограмме — функциональное биоуправление тонусом мышц-антагонистов для коррекции нарушений опорно-двигательного аппарата (например, при детском церебральном параличе);
- БОС по реоэнцефалограмме — функциональное биоуправление тонусом сосудов головного мозга (например, при головных болях);
- БОС по электроэнцефалограмме — функциональное биоуправление электрической активностью головного мозга (например, при неврозах).

# Обратная афферентация

- В 30-х годах прошлого века академик П. К. Анохин (Русский физиолог, ученик И. П. Павлова, автор теории функциональных систем) предложил теорию, объясняющую основные принципы управления в биологических системах.
- Одним из ключевых моментов этой теории стало понятие *обратной афферентации*, которая представляет собой связь между параметрами достигнутого полезного результата и центральными структурами нервной системы.
- Обратная афферентация по Анохину имеет в своей основе биологическую обратную связь (БОС) в ее современном определении.
- При этом обратная связь осуществляется между отдельными биологическими показателями, регистрируемыми с помощью рецепторов, и структурами центральной нервной системы, которые выполняют функцию контроля и управления. При несоответствии биологического показателя его нормальному значению центральные структуры корректируют работу соответствующей системы органов.



# История изучения БОС

- В 1957 году Нил Миллер убедительно доказал возможность произвольной регуляции работы внутренних органов с помощью оригинального опыта. Он замыкал показатели работы сердца, желудка и почек на подсоединенные к "центру удовольствия" электроды. В работе использовались обездвиженные (парализованные) крысы, которые могли с помощью изменения целевого показателя добиваться неземного наслаждения.
- Впервые (из американцев) возможность биоуправления у человека открыл Дж. Камия. В 1958 году он случайно заметил, что если при появлении определенного типа сигналов на ЭЭГ (альфа-активность) перед испытуемым зажигать зеленую лампочку, то альфа-активность возникает чаще. Ему понадобилось больше десяти лет, чтобы осознать важность своего открытия и опубликовать полученные результаты.
- Фундаментальная база метода БОС в России была создана П. Н. Анохиным, К. М. Быковым и В. Н. Черниговским. Первые результаты по обучению произвольному регулированию просвета кровеносных сосудов получены в 1955 году М. И. Лисиной. В 1983 году приказом Министерства здравоохранения СССР метод биоуправления и его аппаратное обеспечение разрешены и рекомендованы как способ лечения в детской неврологии.

# Функциональное биоуправление по электромиографии

- Пациенту на конечность с нарушенной двигательной функцией накладываются электроды:
  - активный — на группу мышц со сниженной функцией,
  - пассивный — в области мышцы-антагониста,
  - заземление — на противоположную конечность или часть тела.
- Пациент, делая упражнения лечебной гимнастики, может контролировать правильность выполнения упражнения при помощи обратной связи по двум каналам.
- Во-первых, на экране компьютера он видит нормальную электромиограмму своей работающей мышцы (зрительный канал),
- а во-вторых, слышит музыку, которая подтверждает правильность выполнения упражнения (слуховой канал).

# Функциональное биоуправление по электромиографии (2)

- Если тонус работающей мышцы выходит за допустимые границы, определяемые предварительной калибровкой в состоянии покоя, то нормальная электромиограмма меняет цвет и музыка прекращается.
- Эффективность функционального биоуправления повышается прямо пропорционально количеству используемых каналов обратной связи. Кроме того, эффективность лечения зависит в большей степени от активного участия пациента, поскольку он должен следить за правильностью выполнения упражнений и сразу же корректировать свои действия при появлении ошибок.

# Область применения БОС.

## Медицина

- Ассоциация прикладной психофизиологии и биологической обратной связи (AAPB) опубликовала перечень заболеваний, при которых проводились исследования эффективности методик БОС.
- В этом перечне все исследования (в объеме требований доказательной медицины) уже выполнены для такого недостатка, как недержание мочи.
- Высок потенциал биоуправления при тревожном расстройстве, гиперактивности с дефицитом внимания, головной боли и гипертонической болезни. Для этих заболеваний эффективность доказана отдельными исследованиями на небольших группах людей или одним большим рандомизированным плацебо-контролируемым исследованием. Еще для более чем трех десятков нозологий данные об эффективности уточняются.

# Область применения БОС.

## Спорт.

- Спектр спортивных применений технологии широк - от оптимизации нагрузок и обеспечения пиковой производительности скелетной мускулатуры до обучения расслаблению и восстановлению после нагрузок.
- Достоинства БОС очевидны - усиление возможностей организма без использования "запрещенных приемов".
- В качестве примера "спортивных технологий нового поколения" можно привести прибор под названием Sonic Golf. Прибор включает в себя установленные на клюшке датчики движения. При ударе по мячу считываемая с датчиков информация преобразуется в звук, передающийся на наушники игрока, - от тихого, медленно нарастающего, до резкого, громкого - в зависимости от скорости движения клюшки.
- Также существуют стратегии оптимизации параметров дыхания (используемые преимущественно в легкой атлетике), в основе которых лежит измерение содержания в крови кислорода, углекислого газа, глюкозы и молочной кислоты.

# Область применения БОС. Творчество.

- Визуальную обратную связь в реальном времени для анализа и улучшения вокальных данных обеспечивает новый программный комплекс, названный ALBERT (Acoustic and Laryngeal Biofeedback Enhancement in Real Time). Он способен объединить любое число вокальных параметров, отображать в реальном времени базовую частоту, дрожание, и коэффициент закрытия гортани.
- Автоматизированный DJ, использующий для генерации музыки обратную связь с танцующими, был разработан в Hewlett-Packard. Подобное наручным часам устройство отслеживает положение танцующих в пространстве, скорость движения, ЧСС и электрокожное сопротивление и посылает информацию к HP DJ через Bluetooth. HP DJ использует "генетический алгоритм", чтобы создавать наиболее востребованные мелодии. Если фонограмма звучит ужасно, то люди будут бродить по залу или танцевать с меньшим энтузиазмом. Тогда HP DJ пробует улучшать музыку, экспериментируя с различными частотами, ритмами или изменением темпа музыки, стараясь уговорить большее количество людей вернуться на танцпол.

# Область применения БОС.

## Наука. Новые знания

- Биологическая связь используется для получения новых знаний о механизмах работы мозга.
- Иногда единственная возможность расшифровать сигналы - спросить у самого мозга, что означает тот или иной сигнал. Получение ответа на "вопрос" (им может быть не только слово, но и электрический стимул и любые другие раздражители) тоже является обратной связью.
- Классическим примером служат работы Уайлдера Пенфилда, построившего карты функциональной активности мозга с помощью стимуляции отдельных участков и отчета обследуемых о возникающих ощущениях.
- В 1978 году Б. Л. Бёрд с соавторами, также с помощью биологической обратной связи, показали зависимость самочувствия испытуемых от преобладающего диапазона мозговой активности
  - Так, при преобладании тета-ритма (частотой 4–8 Гц) испытуемые сообщали о сонливости, неясном, размытом, сказочном восприятии действительности.
  - Учащение мозговой активности, доминирование альфа-активности (8–13 Гц) воспринималось как расслабленное, легкое, мирное состояние.
  - Дальнейшее увеличение частоты мозговой активности, усиление бета-2-ритма (18–30 Гц) воспринималось как энергичное, возбужденное, тревожное состояние.
  - Гамма-ритм с частотой более 40 Гц описывался как внимательное, деловое, исследовательское состояние.

# Область применения БОС. Наука.

## Интерфейс «Человек-Компьютер»

- Его можно использовать не только для воздействия на человека (биологическая обратная связь), но и для управления каким-либо устройством (компьютером, протезом, машиной) - прямая биологическая связь.
- Развитие технологий "человек-компьютер" зависит от возможности точного и оперативного (в режиме реального времени) декодирования сигналов, возникающих в нашем организме. По всему миру нейрофизиологические лаборатории работают над проблемами однозначного перевода неосознаваемых сигналов организма в машинные команды. Некоторые из разработанных алгоритмов анализа электроэнцефалограммы позволяют более чем в 90% случаев распознавать желаемую цель на экране монитора и перемещать к ней курсор.
- На недавно проходившем в Москве симпозиуме "Современные технологии биоуправления в биологии и медицине" была продемонстрирована возможность управления автомобилем (пока что игрушечным, радиоуправляемым) с помощью детектирования нескольких компонент электроэнцефалограммы.



# Ограничения на использование БОС

- Ряд исследований показал, что субъективные изменения, наблюдающиеся при биоуправлении показателями электроэнцефалограммы, могут быть и результатом внушения, и следствием резкого сокращения притока информации при пользовании приемом расфокусировки хрусталика.
- С помощью ложной обратной связи удалось установить, что приятное чувство расслабления ощущали лишь те испытуемые, которые не только научились изменять альфа-ритм ЭЭГ, но и были заранее нацелены на ожидание приятных эмоций.
- Эти результаты показывают необходимость использования для регуляции простых, четко связанных с какой-либо функцией показателей.

# Необходимость выбора адекватных критериев управления

- Самыми популярными в настоящий момент являются три метода оценки эффективности биоуправления:
  - В первом случае, признаком успешности БОС считается любое отклонение параметра управления от усредненных значений.
  - Во втором методе критерием эффективности БОС является изменение за время тренинга контролируемого параметра на определенную, эмпирически заданную величину (например, более 10%).
  - В третьем случае эффективным считается отклонение усредненного за небольшой временной интервал (например, 10 с) параметра управления от фоновых значений.

# Необходимость выбора адекватных критериев управления (2)

- Люди отличаются по темпераменту, скорости и интенсивности реакций и так далее. Например, изменение на 10% величины артериального давления для одного человека - сущий пустяк (у него без видимой причины давление меняется на 30 мм. рт. ст. за полчаса), для другого - вещь почти невозможная. Необходимо подходить дифференцированно к каждому пациенту.
- При проведении тренинга не учитывается нежелание людей усложнять себе жизнь. Очень часто можно наблюдать, как утомленный долгими неудачами - за пять минут так и не научился управлять альфа-ритмом своего мозга, - человек засыпает, и прибор радостно показывает "значительное усиление альфа-активности".

# Обратная связь не должна быть непрерывной

- Важность этой проблемы обосновал отец кибернетики Норберт Винер, отметивший, что "обратная связь в устройствах управления должна быть ограниченной, коль скоро мы хотим стабилизирующего эффекта. В противном случае, при наличии чрезмерной обратной связи, устройство приходит в самопроизвольные колебания, которые становятся все сильнее и сильнее и в конце концов либо разрушают устройство, либо по меньшей мере делают его практически неуправляемым«
- Физиологи говорят о количестве информации, пропорциональном частоте ее обновления и "размерности" (определяемой количеством задействованных каналов - органов чувств). При большом объеме информации быстрее наступает утомление и ослабевает внимание.

# Проблемы перегрузки организма

- Любое сильное эмоциональное потрясение ведет к "адреналиновой буре" в нашем организме.
- Адреналин готовит сосуды и мышцы к работе, однако у современного офисно-диванного человека эта подготовка часто пропадает втуне. Мало того, частое приведение органов и систем в состояние "боевой готовности" снижает их ресурс и способствует более быстрому изнашиванию. Раньше это проявляется у людей впечатлительных, способных подолгу переживать и копить в себе раздражение.
- Повышение артериального давления, головные боли, нарушение сна часто являются следствиями не получающих физического выхода стрессов (пусть и не всегда осознаваемых).

# Информирование о параметрах с помощью БОС

- Биологическая обратная связь (БОС) - способ профилактики стрессов.
- На современном уровне развития техники оказалось возможным подключить регистрирующую аппаратуру к компьютеру и показать человеку, как работают его сердце, мозг, легкие.
- Если значения далеки от идеальных (скажем, к концу богатого на "приятные" общения дня напряжены мышцы, сужены сосуды, повысилась давление) - даже неспециалисту становится понятно, что нужно отдохнуть, расслабиться.

# Обучение организма с помощью БОС

- Проверить параметры организма во время отдыха можно, наблюдая за изменением целевых показателей (таких, как величина артериального давления или ЧСС) на мониторе во время отдыха.
- В случае неэффективности выбранной Вами стратегии восстановления жизненных сил, можно использовать БОС для выбора более эффективного способа расслабиться.
- Это будет называться несколько иначе - "адаптивное биоуправление с обратной связью".
- Причем, если в программе задать оптимальные значения регистрируемого показателя или закономерность его изменения, то задача усложняется - человек учится не просто изменять артериальное давление, мышечное напряжение или что-то еще - он тренируется синхронизировать показатели деятельности своего организма с заложенными в компьютерную программу нормальными значениями.
- В результате таких тренировок постепенно формируются навыки самоуправления в реальной жизни. В дальнейшем они могут очень пригодиться, не давая человеку выйти из себя, начать нервничать в стрессовой ситуации.

# Некоторые программно-аппаратные комплексы БОС

- E-Z Air - человек учится правильно дышать, синхронизируя свои дыхательные движения с заданным в программе типом (паттерном) дыхания. Глядя на цветной столбик - поднимающийся, замирающий ненадолго и опускающийся, как поршень (отставить нездоровые ассоциации!), мы делаем соответственно вдох, задержку дыхания и выдох. Чтобы довести ритмичное и правильное дыхание до автоматизма без помощи обратной связи, "вслепую", часто требуется не один год.
- Гребной канал - человеку предлагают компьютерную игру с соревновательным сюжетом. Победа в этих соревнованиях зависит от способности достигать состояния релаксации. А в отличие от других методов БОС, задача игрового биоуправления - не просто регулировать физиологические параметры, а научиться контролировать свои вегетативные реакции, то есть изменения в деятельности внутренних органов в ответ на внешние воздействия (в том числе и стресс), опосредованные нервной системой.