Принятие решений при многокритериальном выборе фармакологического лечения

А.Ю. Мещеряков[I], С.Н. Осипов[II]

[I] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», г. Москва, Россия
[II] Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. Принятие своевременных и правильных решений в выборе лекарственных препаратов при лечении сердечно-сосудистых заболеваний в условиях реанимации и интенсивной терапии способствует быстрому восстановлению сердечной деятельности, предотвращает осложнения и смертельный исход. Представлены результаты исследования процесса принятия решений в формировании списка фармакологических препаратов лечения острой сердечной недостаточности. Рассмотрена дескриптивная модель принятия решений при выборе препаратов. Показано, что применение дескриптивного моделирования выбора лекарственных препаратов позволяет учитывать факторы, влияющие на эффективность и безопасность терапии для достижения наилучших результатов лечения. Описан подход к формализации выбора плана фармакологического лечения.

Ключевые слова: *принятие решений, клиническая медицина, дескриптивное моделирование, многокритериальный выбор, формализация знаний.*
DOI: 10.14357/20790279260311 **EDN:** GCIPJY

Введение

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания остаются одной из главных причин смертности по всему миру. Спасение жизней пациентов в критическом состоянии, принятие правильных и своевременных решений при выборе фармакологических препаратов, является неотъемлемой частью работы клиницистов в условиях реанимации. Современная медицина предлагает широкий арсенал лекарственных препаратов. Правильно подобранное лечение может обеспечить быстрое и эффективное восстановление функций организма, улучшить прогноз заболевания и повысить шансы пациента на выживание.

Актуальность данной темы обусловлена не только потребностями современной медицины, но и необходимостью поиска новых подходов к принятию решений выбора наиболее эффективных и безопасных средств для поддержания жизни пациентов в критических состояниях.

Исследования в области внедрения в медицинскую практику компьютерных систем и соответствующих средств программного обеспечения сегодня рассматриваются как важное и перспективное направление в развитии здравоохранения. Такие системы позволяют увеличить скорость принятия решений и улучшить качество переработки информации при медицинском обслуживании населения.

Доминирующей становится тенденция к узкой специализации клиницистов, что приводит к усилению их зависимости от знаний и опыта специалистов по смежным областям. Специалисты узкого профиля могут прийти к совершенно различным решениям о лечении конкретного заболевания [1]. Возникает необходимость использования автоматизированных методов, позволяющих клиницистам принимать своевременные и правильные решения.

При выборе оптимального плана фармакологического лечения большую роль играют правильный отбор, оценка и агрегирование наиболее ценной части имеющейся клинической информации. В сложных случаях, как правило, клиницист располагает одновременно двумя типами данных: информацией, полученной при помощи тестов, а также своими субъективными наблюдениями и оценками, сформированными под влиянием нако-

пленного опыта работы с аналогичными случаями. Решение о плане лечения конкретной патологической ситуации выносится на основе компромиссного комбинирования имеющихся данных, причем вид комбинации, по-видимому, специфичен для клинических задач выбора (далее будем называть эти комбинации клиническими).

Общие свойства клинических комбинаций данных исследованы [2]. Отмечено, что:

1) в клинической комбинации могут быть не учтены некоторые существенные для принятия окончательного решения данные;
2) оценка относительной важности внешних проявлений патологии может быть не оптимальной;
3) может оказаться, что решающее правило, которое использует клиницист, помогает ему упростить задачу так, чтобы значительно уменьшить интеллектуальное усилие, затрачиваемое на принятие решения. Иными словами, возможна редукция сложности решаемой задачи.

Таким образом, клиницист может оказаться не способным к наиболее полному агрегированию всей необходимой информации при выборе фармакологического лечения сложной патологии. Дефицит времени, возможный при принятии решения, также увеличивает вероятность неоптимальных решений. Анализ факторов, препятствующих выбору лучшей альтернативы в медицинской диагностике и прогнозировании развития заболеваний, дан в работе [3]. Недостаточная способность клинициста к учету данных не означает, что его нужно заменить компьютерной системой. Однако внедрение человеко-компьютерной системы, где часть операций, связанных с комбинированием информации, будет возложена на компьютер, позволит более полно использовать тестовую медицинскую информацию и опыт клинициста [4].

Язык высказываний клиницистов о выборе оптимального лечения не стандартизован, что затрудняет получение достоверных оценок, а иногда приводит к принятию неправильных решений. Необходима модель функционирования системы, которая может, в частности, имитировать мыслительные процессы клиницистов. Разработка общей модели, отражающей наиболее существенные черты принятия решений в медицине, в настоящее время представляется сложной.

При разработке систем принятия решений может применяться информационно-логическое моделирование [5]. Одной из особенностей информационно-логического моделирования при принятии решений в медицинской сфере является возможность создания моделей, которые учитывают большое количество различных параметров и переменных, влияющих на заболевания, диагностику, лечение и прогнозирование исходов. Это позволяет учитывать не только клинические данные пациента, но и его анамнез, генетическую предрасположенность, степень риска развития заболевания и многие другие факторы.

В процессе принятия решений важно не только четко сформулировать цель, но и выявить все возможные варианты достижения этой цели. Переход от целей к средствам достижения цели должен учитывать различные аспекты реализации решений, оценивать риски и прогнозировать возможные проблемы [6]. Выбор способа реализации решений требует внимательного анализа всех особенностей каждого варианта, в котором происходит переход от целей к средствам.

Однако имеются дескриптивные модели принятия решений при постановке диагноза, выборе оптимального лечения и в некоторых других задачах [3, 7-9].

Принятие решений в выборе оптимальных лекарственных препаратов в условиях реанимации при инфаркте является критическим этапом для достижения поставленной цели - спасение жизни пациента и предотвращение осложнений. Для принятия правильного решения необходимо провести дескриптивное моделирование, учитывая конкретные параметры пациента и ожидаемый эффект от применения выбранных препаратов.

При выборе лекарственных препаратов для пациентов с инфарктом миокарда в условиях реанимации необходимо учитывать их состояние, возможные осложнения, а также их реакцию на различные препараты. Применение дескриптивного моделирования в выборе лекарственных препаратов позволяет учитывать все факторы, влияющие на эффективность и безопасность терапии. Анализ ожидаемого эффекта от каждого препарата и их взаимодействие помогает определить оптимальную комбинацию препаратов для достижения наилучших результатов лечения.

Таким образом, принятие решений оптимального выбора лекарственных препаратов в условиях реанимации является сложным и ответственным процессом, требующим комплексного подхода и использования современных методов дескриптивного моделирования для достижения наилучших результатов лечения пациентов [10].

1. Исследование процесса принятия фармакотерапевтических решений

В целях разработки компьютерной дескриптивной модели предложены характерные черты мышления клиницистов.

Наиболее важной информацией для клинициста при выборе им фармакологических рекомендаций является набор имеющихся у пациента симптомов (синдромов), а также их относительная важность в рассматриваемом комплексе по отношению к тенденции развития заболевания. В соответствии с этим клиницист формирует иерархическую структуру подцелей, достижение которых должно привести к конечной цели – к излечению. Принцип, которым руководствуются клиницисты при выборе фармакологических препаратов, можно сформулировать как принцип последовательного устранения симптомов (синдромов). Этот принцип заключается в том, что на каждом шаге превалирующее влияние на выбор очередного препарата оказывает один наиболее важный, с точки зрения клинициста, симптом. При этом остальные симптомы, находящиеся в поле зрения клинициста, учитываются в меньшей степени. После того как клиницист выберет достаточное количество препаратов для лечения доминирующего симптома, он перестает быть для него доминирующим и отходит при последующих актах выбора на второй план. Следовательно, изменяется и соотношение приоритетов отдельных подцелей для последующих актов выбора. Таким образом, структура подцелей не статична, она изменяется по мере формирования плана лечения.

Допустим, клиницист осуществляет свой выбор на основе известной функции ценности $v(y|\bar{s},\bar{w}_1)$, где $y \in Y$ – множество альтернатив; $\bar{S}$ – двоичный вектор, компоненты которого индуцируют наличие либо отсутствие соответствующих симптомов. Компонентами вектора $\bar{w}_1$ служат характеристики важности симптомов до первого шага выбора.

Условимся считать, что более предпочтительной альтернативе соответствует большее значение функции ценности $v(y)$. Тогда на первом шаге лицо, принимающее решение (ЛПР), выбирает в качестве оптимальной альтернативы такое значение y_1^*, что $v(y_1^*|\bar{s},\bar{w}_1) \geq v(y|\bar{s},\bar{w}_1)$ для любого $y \in Y$; на k-м шаге выбор y_k^* осуществляется согласно условию:

$$v(y_k^*|\bar{s},\bar{w}_k) \geq v(y|\bar{s},\bar{w}_k),$$

где $\bar{w}_k = \bar{w}(w_1, y_1^*, \ldots, y_{k-1}^*)$ характеризует относительную важность симптомов на k-м шаге в соответствии с изменившейся к этому шагу (вследствие уже имевшихся шагов выбора) целевой установкой ЛПР. Таким образом, в данной схеме выбора каждый очередной шаг зависит от всех предшествующих.

Рассмотрим детальный анализ процесса выбора. Он существенно зависит от возможностей памяти человека при обработке информации. Психологи различают два типа памяти: долговременную Long-term memory (LTM) и кратковременную Short-term memory (STM) [11,12]. Долговременная память является основным хранилищем информации, получаемой человеком. Она имеет ассоциативный характер. Долговременная память является постоянной системой хранения информации, позволяет сохранять, извлекать и использовать навыки и знания в течение часов, недель или лет после того, как они были изначально изучены [13].

К информации, находящейся в LTM, нет непосредственного доступа. Ее нужно считывать. Время считывания варьирует в диапазоне от нескольких десятых до нескольких секунд [11]. Обработка считываемой из LTM информации происходит в кратковременной памяти, где и протекают процессы принятия решений. Поступающая из внешней среды и LTM информация перерабатывается в STM в соответствии с принятой субъектом целевой установкой. В связи с этим STM называют также оперативной памятью. Она непосредственно доступна человеку, и нет необходимости тратить время на считывание из нее информации (рис. 1).

Долговременная память характеризуется практически неограниченными резервами для запоминания информации, тогда как емкость STM крайне мала. По данным [12], STM вмещает одновременно 7 ± 2 альтернатив, по оценке [7], ее емкость составляет 4 ± 1 альтернативы.

При выборе эффективных фармакологических препаратов по принципу последовательного устранения симптомов клиницисту сложно учесть сразу все имеющиеся в его распоряжении препараты, если их много. Обычно выбор делается среди 3 – 5 наиболее привычных ситуаций альтернатив.

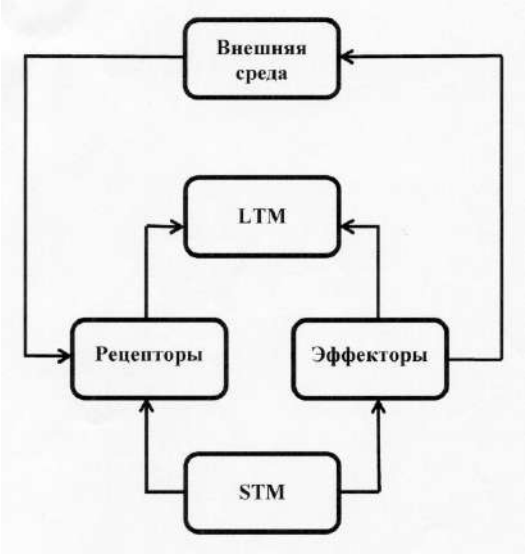


Рис. 1. Взаимосвязь STM и LTM

По-видимому, этот рабочий набор альтернатив формируется в STM исходя из субъективных представлений клинициста об эмпирической частоте применения препаратов при лечении данного типа патологии. Возможно пополнение рабочего набора альтернативами из не вошедшего числа их в него ранее (из остатка). В этом случае количество препаратов в наборе не превышает 3–5, так как одновременно осуществляется выбывание из доминирующей группы наименее ценных с точки зрения ЛПР препаратов.

Сделанные выводы согласуются с моделью [3], согласно которой ограничение множества рабочих альтернатив вызвано спецификой переработки информации в STM. Из этого ограниченного множества в дальнейшем выбирается наилучшая в соответствии с имеющейся целевой установкой альтернатива. Затем просматривается остаток (CATCHALL). При нахождении там альтернатив с высокой ценностью производится их обмен с альтернативами из рабочего множества (CHUNK), причем из CHUNK выбывают наименее ценные альтернативы. Таким образом, обмен информацией между CHUNK и CATCHALL делает возможным анализ теоретически неограниченного числа альтернатив при ограниченных возможностях STM.

При отборе клиницистами фармакологических средств рабочий набор формируется, как правило, только один раз, после чего сразу принимается решение. Таким образом, последующий анализ ценности препаратов из остатка в большинстве случаев отсутствует. Это, вероятно, является следствием накопленного опыта лечения подобных патологий, привычности процедуры выбора для клинициста. Усеченная процедура просмотра вариантов может привести к появлению неоптимальных решений, а в стрессовых ситуациях и к ошибкам.

Процесс выбора клиницистом наилучшего препарата из имеющихся, по-видимому, выглядит следующим образом. Вначале в соответствии с принципом последовательного устранения симптомов при доминирующем влиянии главного из них генерируется рабочее множество альтернатив. Затем осуществляется просмотр этого множества с целью ранжировки препаратов в нем теперь уже с более полным учетом не доминирующих симптомов из имеющегося списка патологий. Наилучшим считается препарат, получивший самый высокий приоритет после последней ранжировки. Таким образом, принятие решений об эффективной фармакотерапии обладает чертами гипотетико-дедуктивного вывода, в котором лучший вариант определяется дедуктивным методом из небольшого подмножества альтернатив, сформированного по неполным данным. Известно [14], что методы анализа многокритериальных решений могут оценивать компромисс между несколькими количественными и качественными критериями и облегчают принятие сложных решений.

Аналогичный характер имеют процессы принятия решений в медицинской диагностике [3, 7]. В свете этих результатов использование клиницистами гипотетико-дедуктивного метода выбора фармакотерапии объясняется большей приспособленностью человеческого мышления к работе в замкнутых системах. В этих системах вывод начинается с некоторых начальных суждений, и задача заключается в выборе наиболее подходящего пути, который ведет к известной априори цели.

В открытых системах конечная цель заранее не известна. В данном случае клиницист, выбирая препарат, преобразует открытую систему в набор из 3–5 гипотетических замкнутых, с которыми работает затем последовательно. Таким образом, соответственно возможностям STM вначале индуктивно генерируются 3–5 конечных точек, после чего выбирается та из них, которая оказывается при дедуктивной проверке наиболее адекватной предъявленной патологической ситуации.

Рис. 2 иллюстрирует схему рассмотренного процесса выбора. Можно предположить, что в за-



Рис. 2. Схема процесса выбора фармакологических препаратов

дачах выбора рассматриваемого типа раннее выдвижение рабочих гипотез и построение замкнутых систем на основании наиболее важной части имеющейся информации являются тем эвристическим механизмом, который позволяет значительно сузить круг принимаемых во внимание альтернатив.

Таким образом, их количество приводится в частичное соответствие с возможностями обработки информации кратковременной памятью. Это позволяет значительно уменьшить требуемые затраты времени.

Принятию фармакотерапевтических решений по описанной выше схеме присущ ряд свойств, которые могут повлечь ухудшение качества производимого выбора. Большинство препаратов помимо положительного лечебного эффекта при определенных обстоятельствах могут оказывать вредное воздействие на течение того или иного заболевания. Клиницист располагает такой информацией, однако при принятии решения она иногда пропадает у него из виду. По существу, информация о негативном эффекте препарата учитывается в полной мере лишь тогда, когда она имеет характер резких или категорических противопоказаний для рассматриваемого случая. В то же время нередким бывает употребление препарата, высокоэффективного для одного двух симптомов комплекса, но отрицательно влияющего на ряд других, хотя в арсенале клинициста имеются не менее эффективные препараты, обладающие более слабо выраженными негативными показаниями к лечению предъявленной патологической ситуации.

Определяющим моментом при выборе является формирование рабочего набора альтернатив. От того, насколько правильно выбраны лучшие препараты (от трех до пяти), зависит, будет ли окончательное решение оптимальным. Для укрепления уверенности в том, что он действует наилучшим образом, высококвалифицированный специалист после выбора рабочих гипотез должен еще раз просмотреть остальные альтернативы и при необходимости скорректировать решение. Существуют объективные факторы, препятствующие обмену гипотезами между рабочим набором и остатком. Это, прежде всего, эффект уверенности, возникающий вследствие привычности для клинициста выполняемой процедуры. Серьезным препятствием к обмену служат стрессовые ситуации, сопутствующие, например, принятию фармакологических решений в интенсивной терапии и реанимации. Важным субъективным фактором является решительность мышления клинициста, зависящая от склада его характера, возраста, квалификации и других характеристик. Чем она выше, тем больше вероятность того, что процесс обмена гипотезами между рабочим набором и остатком будет прекращен на ранней стадии либо вообще будет отсутствовать.

Важно более полно учесть имеющуюся информацию об эффективности фармакологических средств терапии различных патологических ситуаций. Целесообразно использование компьютерной техники для выполнения математических операций комбинирования, требующих большего объема оперативной памяти, нежели тот объем кратковременной памяти, который имеется в распоряжении человека. При этом клиницист будет являться одновременно поставщиком экспертной информации для комбинирования и лицом, осмысливающим рекомендации, предлагаемые компьютером, с целью выработки окончательного решения.

Таким образом, критической при выборе препаратов оказывается стадия формирования рабочего набора гипотез. Замена клинициста компьютерной системой на этом этапе наиболее актуальна. Однако механическое перенесение гипотетико-дедуктивной модели на компьютер нерационально, так как возможности компьютерной памяти позволяют воспользоваться более рациональным способом получения рабочих гипотез. Имеется в виду учет и агрегирование сразу всей необходимой экспертной информации, получаемой от клиницистов, в соответствии с эмпирически проверенным правилом, на основе которого все имеющиеся препараты будут ранжированы по ценности. Это позволит устранить этап выработки гипотез клиницистом и перейти сразу к их дедуктивной проверке.

2. Дескриптивная модель принятия решений

Рассмотрим модель выбора препаратов, основанную на принципах анализа альтернатив-средств, ведущих к поставленной цели, и последовательного формирования решения при помощи решений упрощенных задач.

Итак, допустим, что выбор осуществляется на основе функции ценности $v(y|\bar{s},\bar{w})$, $y \in Y$, где $\bar{s}$ и $\bar{w}$ являются выходной информацией о патологии, полученной от эксперта, ответственного за принятие решения о лечении.

Предположим, что априори имеется набор векторов, $\bar{y}_i$ компоненты которых характеризуют эффективность альтернативы y_i по отношению к критериям-симптомам x_j, $j = \overline{1, n}$. Эффективность может быть положительной или отрицательной, исходя из показаний к применению того или иного препарата. Эта информация составит основу выбора.

Первый этап – отбор потенциально эффективных средств. Они образуют активное множество A.

Сюда будут включены препараты, имеющие хотя бы одну положительную оценку эффективности для симптомов из предъявленного набора. На втором этапе, основываясь на векторе важности $\overline{w}$ имеющихся признаков, выбираются альтернативы, устраняющие главным образом симптом с наивысшим приоритетом. После того как эта цель достигнута, высший приоритет получает следующий по важности симптом. Степень учета остальных симптомов можно варьировать изменением параметров и структуры решающего правила $v(y|\bar{s},\overline{w}_1)$. В предельных случаях возможна, с одной стороны, компенсационная стратегия выбора, в которой все симптомы приблизительно равноправны, с другой – правило, учитывающее лишь главный симптом. Промежуточными случаями являются модели, в которых оставшиеся симптомы участвуют в решающем правиле с весовыми коэффициентами, что позволит оптимизировать алгоритм по параметрам, отражающим степень их учета. Таким образом, в предлагаемой методике реализуется принцип последовательного устранения симптомов, сформулированный выше. Схема, приведенная на рис. 3, иллюстрирует эту реализацию.

После определения множества A потенциально эффективных препаратов производится упорядочение подцелей с точки зрения их важности для достижения глобальной цели. В этих условиях выбирается наилучший препарат (см. рис. 3). Здесь s_i доминирующий критерий. Далее клиницист, участвующий в диалоге, определяет приемлемость альтернативы и выясняет, исходя из своего опыта, достаточно ли эффективно выбранное лечение для полного устранения доминирующего симптома s_i. Если эффект недостаточен, то среди оставшихся выбирается наилучшая альтернатива и вновь проверяется условие $s_i = \emptyset$. При положительном ответе симптом считается устраненным. Затем производится переиерархизация подцелей с учетом того, что наиболее важная подцель достигнута и, возможно, в результате имевшегося акта выбора частично достигнуты некоторые другие подцели на нижних ступенях иерархии. Процедура продолжается до тех пор, пока по субъективной оценке клинициста, участвующего в диалоге, все подцели не будут достигнуты, т. е. все симптомы не будут устранены.

Таким образом, приемлемость препаратов, предложенных компьютером, и их количество определяет клиницист в процессе диалога. Это означает, что в одной и той же клинической ситуации могут быть два различных по длине и содержанию списка рекомендованных фармакологических средств.



Рис. 3. Схема, поясняющая алгоритм выбора адекватной фармакотерапии

Следовательно, речь идет об алгоритме с размытыми критерием выбора и числом шагов до завершения процедуры. Размытость алгоритма дает возможность использовать компьютерную систему в качестве помощника клинициста, не предписывая ему какого-либо определенного выбора. Таким образом, клиницист перед тем, как дать согласие на использование препарата, предложенного компьютеров, проверяет, согласуется ли такой выбор с его субъективным опытом и не совершил ли компьютер ошибки вследствие неполноты используемой в нем модели принятия решений. Алгоритм, построенный по описанной схеме, достаточно гибок для того, чтобы при его помощи можно было сформировать несколько альтернативных планов лечения в случае, если каких-либо из рекомендованных препаратов нет в наличии.

3. Обсуждение модели

В предыдущем разделе рассмотрена дескриптивная модель принятия решений, построенная на основе изучения процесса выбора клиницистами эффективных методов лечения комплексной кардиологической патологии. Сложность исследуемого предмета и слабая изученность основных

закономерностей человеческого мышления затрудняют проверку адекватности различных схем генерирования гипотез и принятия окончательных решений клиницистами. Это дает основания предполагать, что описанная модель неполна, хотя и отражает некоторые важные закономерности выбора оптимальных гипотез в фармакологическом лечении. Модель согласуется с дескриптивными моделями выработки решений, предложенными в [3, 7, 12], однако имеются и некоторые расхождения. Так, в работе [12] указано, что число гипотез, которое способна вместить кратковременная память человека, составляет 7 ± 2. Согласно данным [3], в процессах, связанных с постановкой медицинского диагноза, эта же величина равна 3–6. При выборе фармакологических препаратов число рабочих гипотез не превышает 5, что совпадает с данными [7]. Расхождения с [3, 12] позволяют предположить, что емкость кратковременной памяти при принятии решений, возможно, зависит от количества информации, ассоциированного с каждой из находящихся в ней рабочих гипотез. Этот вопрос представляет несомненный интерес и требует дальнейшего углубленного изучения.

На основе предложенной модели построена схема человеко-компьютерного алгоритма выбора эффективного лечения, в котором компьютер выполняет операции по комбинированию экспертной информации, полученной от специалиста, т. е. заменяет клинициста там, где его возможности обработки информации оставляют наиболее заметную возможность для проникновения неоптимальных и ошибочных решений. Размытость решающего правила и числа шагов алгоритма, получаемая в результате включения в петлю обратной связи ЛПР, предоставляет широкое поле деятельности для клинициста, участвующего в диалоге, как в количестве препаратов формируемого списка, так и в их качественном составе.

Рассмотренная модель принятия решений, по-видимому, адекватна для различных ситуаций выбора фармакотерапии. Специфика применимости предложенной модели для терапии кардиологических заболеваний обусловлена наличием очень широкого арсенала фармакологических средств, систематизированных в соответствии с лечебными свойствами. Препараты сгруппированы в структурные единицы, включающие по нескольку однотипных средств, например антиаритмические, сосудорасширяющие, плазмозаменяющие и многие другие. Группировка позволяет клиницисту при формировании рабочего набора гипотез пользоваться укрупненными категориями, что упрощает просмотр всего множества препаратов. Таким образом, рабочий набор формируется вначале из групп фармакологических средств. После этого наиболее предпочтительные препараты, входящие в эти группы, клиницист объединяет в рабочий набор альтернатив, из которого и производится окончательный выбор.

Отбор фармакологических средств клиницистами другого профиля обнаруживает ряд черт, сходных с перечисленными выше. Это позволяет говорить о типичных характеристиках процесса выбора клиницистами эффективного фармакологического лечения. Дальнейшая экстраполяция изложенных принципов представляется проблематичной. По-видимому, эти принципы соответствуют реальности при замене фармакологических препаратов на набор других альтернативных методик лечения.

Таким образом, настоящее состояние психологии мышления пока не позволяет создать общую дескриптивную теорию принятия решений, о чем свидетельствуют неудачные попытки в этом направлении. Более целесообразно построение моделей отдельных классов задач выбора. Рассмотренная модель допускает развитие в направлении детального анализа взаимосвязей и процессов, протекающих в памяти, а также в сторону более полного учета объективных и субъективных факторов, оказывающих влияние на эти процессы.

4. Формализация выбора

При выборе клиницистами плана фармакологического лечения, как и во многих реально встречающихся ситуациях, принятие решений происходит при наличии трудно сравниваемых критериев. Общепринятым подходом к формализации предпочтений лица, принимающего решения, в таких случаях является формирование единого агрегированного критерия, позволяющего полностью упорядочить имеющиеся альтернативы. Специфика задачи выбора адекватной фармакотерапии позволяет воспользоваться более слабой аксиоматизацией, допускающей частичную несравнимость альтернатив.

Опишем одну из возможных реализаций подхода, основанного на установлении нескольких упорядочений множества альтернатив для ситуаций, допускающих нахождение набора решений. Методика использует диалоговую реализацию принципа последовательного устранения критериев выбора. В качестве базы данных она использует информацию о ценности допустимых вариантов выбора, полученную от экспертов.

Рассмотрим отношения порядка на множестве имеющихся альтернатив.

Пусть имеется набор критериев $x_j, j = 1, \dots, n$, набор альтернатив y_i, $i = 1, \dots, n$, и пусть на множестве альтернатив $A = \{y_i\}$ для каждого из критериев x_i дано отношение предпочтения P_i, обладающее свойствами антисимметричности и транзитивности, т. е. для любых $y_1, y_2, y_3 \in Y$ не может быть одновременно $y_1 P_j y_2$ и $y_2 P_j y_1$, и если $y_1 P_j y_2, y_2 P_j y_3$, то $y_1 P_j y_3$. Тогда отношение P_i, $j = 1, \dots, n$, на множестве A есть слабый порядок.

Адекватным аппаратом, описывающим предпочтение ЛПР в этом случае, является теория полезности [15]. В детерминированных ситуациях она предлагает введение гипотетических лотерей, что усложняет исследование, и в особенности верификацию параметров модели.

Метод, называемый многоатрибутивным анализом полезности [16], обеспечивает структуру принятия решений, которая облегчает сравнительный анализ нескольких альтернативных решений реальной задачи с уникальными сложными атрибутами. Анализ полезности, как мера эффективности, до сих пор минимально использовался исследователями в медицинской сфере, несмотря на очевидную значимость в сложном принятии решений.

В связи с этим в последнее время разрабатывается теория измеримой ценности [17–19], которая дает более простой, нежели теория полезности, аппарат для описания процессов многокритериального выбора при отсутствии риска, связанного со случайными механизмами реализации исходов. Под измеримой функцией ценности понимается ценность, которая может быть использована для упорядочения разностей по предпочтению между парами альтернатив [20]. Существует несколько систем аксиоматизации измеримых функций ценности, из которых следует существование на A вещественнозначных функций $v(y)$, $y \in Y$, дающих интервальную шкалу измерения предпочтений ЛПР для каждого критерия.

Таким образом, рассматриваются n слабых упорядочений множества альтернатив A по имеющимся критериям x_j, $j = 1, \dots, n$. Предпочтительность альтернатив в каждом из слабых упорядочений определяется значениями критерия-свертки v_i. Реконструкция структуры критериев производится на основе изучения качественных представлений специалистов-консультантов.

Предположим, что имеются оценки a_{ij} ценности i-й альтернативы по j-му критерию; $a_{ij} \in [-a, b]$, где $a, b > 0$ – константы. Использование в модели положительных и отрицательных величин предпочтений целесообразно при описании широкого круга реальных ситуаций, имеющих пороговое значение a_{ij}^* (в данном случае $a_{ij}^* = 0$), по разные стороны от которого структуры предпочтений ЛПР существенно отличаются. Это справедливо в медицинской практике при оценке клиницистами ценности улучшения или ухудшения состояния пациента в результате проведенного лечения, в многокритериальной оптимизации любых действий, которые могут привести к положительным либо отрицательным результатам, оцениваемым по разным шкалам ценности.

Приведенные соображения подтверждают правомерность раз деления оценок a_{ij}, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$ на группы:

$$D_{tj}^{+} = \{a_{ts} : a_{ts} > 0, s = 1, \dots, j-1, j+1, \dots, n\},$$
$$D_{tj}^{-} = \{a_{ts} : a_{ts} < 0, s = 1, \dots, n\}, t = 1, \dots, m.$$

Оценка a_{tj} выделена особо, так как в критерии v_i она играет доминирующую роль. Таким образом, критериальная функция приобретает вид:

$$v_i(y_t) = v_j^*(a_{tj}^*), v_j^+(D_{tj}), v_j^-(D_{tj}^-), t = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n.$$

Постановка задачи допускает наличие решений, количество которых сравнимо с числом критериев n.

Конкретный вид функций ценности v_i, $j = 1, \dots, n$ определяется с учетом особенностей рассматриваемой ситуации выбора. Концепция слабой разностной независимости по предпочтению, введенная в [19], позволяет упростить процесс реконструкции критериев.

В большинстве случаев достаточно эффективна мультипликативная или аддитивная аппроксимация измеримых функций ценности, о чем свидетельствует опыт, накопленный в теории ожидаемой полезности. Важность критериев в предлагаемой методике учитывается при помощи весовых коэффициентов, приписываемых $X_j, j = 1, \dots, n$.

Получение оценок этих препаратов – самостоятельная задача, поэтому мы не будем на ней подробно останавливаться. Ограничимся лишь предположением, что располагаем такими оценками, полученными по интервальной шкале.

Заключение

Обобщая приведенные выше соображения можно сделать следующие основные выводы.

Задачи принятия решений в медицинских системах – это довольно специфичные задачи. Их особенность состоит в том, что необходимо стыковать медицинские, биологические, технические и математические компоненты для достижения единой цели, лежащей в системном принятии решений. Все этапы формальной постановки задачи: описание объекта управления, установление ограничений на процесс управления, определение

цели и выбор критерия качества системы – должны быть преобразованы с учетом медицинской специфики системы.

Методика выбора плана лечения острой сердечной недостаточности реализована на компьютерной системе в условиях реанимации РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского. В большинстве случаев клиницистами принято не менее 70% препаратов, предложенных алгоритмом, что свидетельствует о целесообразности использования данного подхода [21].

Применение предлагаемой модели предпочтительного выбора лекарственных препаратов представляется весьма важным и актуальным в условиях ограниченного времени принятия решений клиницистом в условиях реанимации.

Рассмотренный подход многокритериального выбора лекарственных препаратов в условиях интенсивной терапии и реанимации не исключает его использования в других областях медицины, а также альтернативных методиках лечения.

Литература

1. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н. Особенности принятия решений по неполным данным в экспертных диалоговых компьютерных системах // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2022. Т. 72. Вып. 2. С. 64-71.
2. Einhorn H.J. Expert measurement and mechanical combination // Organism behavior and human performance. 1972. Vol. 47. P. 86–106.
3. Kozielecki J. A model for diagnostic problem solving // Acta Psychologica. 1972. Vol. 36. P. 370-380.
4. Slovic P., Lichtenstein S. Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgment // Eugene, Oregon: Oregon Res. Inst. Monograph. 1970. Vol. 10. No. 1. P. 148-268.
5. Петровский А.Б., Проничкин С.В., Стернин М.Ю., Шепелев Г.И. Информационно-логическая модель национального научно-технологического потенциала // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 4. С. 3-19.
6. Петровский, А. Б., Проничкин С. В., Шепелев Г. И. Информационно-логическая модель научно-технологического потенциала превентивной и персонализированной медицины // Искусственный интеллект и принятие решений. 2022. № 3. С. 21-35.
7. Elstein A. S. Methods and theory in the study of medical inquiry // J. med. education. 1972. Vol. 7. P. 85-92.
8. Larichev O.I. Decision making as a research branch: Methodological Problems // In: D.M. Gvishiani editor Methodological Problems of Systems Approach and Systems Analysis. 1st ed. Oxford: Pergamon Press. 1985. Vol. 2 of Systems Research. Methodological Problems. Advances in systems research. P. 130–141.
9. Larichev O. I., Mechitov A. I., Moshkovich H. M., Furems E. M. Expert Knowledge Acquisition System // In: A. Lockett, G. Islei editors Improving Decision Making in Organizations. Berlin: Springer-Verlag. 1989. Vol. 335 of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. P. 517–521.
10. Лемешко В.А., Антонов А.А., Хачатрян Г.Р., Мусина Н.З., Омельяновский В.В. Многокритериальный анализ принятия решений с использованием моделей полного агрегирования: методология и применение в здравоохранении // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2020. № 3. С. 251-274.
11. Козельский Ю. Психологическая теория решений. М.: Прогресс, 1979. 504 с.
12. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information // Psychol. Rev. 1956. Vol. 63. P. 81-97.
13. Sarin R. Multi-attribute utility theory // In: Gass SI, Fu MC editors. Encyclopedia of operations research and management science. 3rd ed. New York (NY): Springer. 2013. P. 1004-1006.
14. Stensrud M.J., Laurendeau J.D., Sarvet A.L. Optimal regimes for algorithm-assisted human decision-making // Biometrika. 2024. Vol. 111. No. 4. P. 1089-1108.
15. Shortliffe E.H. Knowledge engineering for medical decision making // Proc. IEEE. 1979. Vol. 67. P. 32-54.
16. North S.E. Application of Multi-Attribute Utility Analysis as a Methodological Framework in Academic–Clinical Partnership Evaluation // American Journal of Evaluation. 2024. Vol. 45. No. 4. P. 562-578.
17. Dietz J., Mulder H. The EE Function-Construction Theory // In: Enterprise Ontology. The Enterprise Engineering Series. Springer. 2024. P. 97-119.
18. Mukhopadhyay S., Ray S. Measurable Functions. In: Measure and Integration. University Texts in the Mathematical Sciences. 2025. P. 37-59.
19. Dyer J, Sarin R. Measurable Multi-Attribute Value Functions // Operations Research. 1979. Vol. 27 (4). P. 810-822.
20. Smith J., Dyer J. On (Measurable) Multiattribute Value Functions: An Expository Argument // Decision Analysis. 2021. Vol. 18 (4). P. 247-256.
21. Мещеряков А.Ю. Об одном подходе к принятию решений при выборе фармакологического лечения // Научный альманах. 2021. № 11. Т. 2(85). С. 45-50.

Мещеряков Александр Юрьевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник. Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: информационные технологии, имитационное моделирование и прикладные аспекты управления средой обитания, экспертные компьютерные системы принятия решений, основанные на знаниях. E-Mail: aymesh@ipu.ru

Осипов Сергей Николаевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник. Кандидат физико-математических наук, доцент. Область научных интересов: математическое моделирование социально-экономических процессов. E-Mail: osipov@isa.ru (Ответственный за переписку).

Decision Making in Multi-criteria Choice of Pharmacological Treatment

A.Yu. Mestcheryakov[I], S.N. Osipov[II]

[I] V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Russia

[II] Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS, Moscow, Russia

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Making timely and correct decisions in choosing medications for the treatment of cardiovascular diseases in the conditions of resuscitation and intensive care contributes to the rapid restoration of cardiac activity, prevents complications and death. The article presents the results of a study of the decision-making process in forming a list of pharmacological drugs for the treatment of acute heart failure. A descriptive model of decision-making in choosing drugs is considered. It is shown that the use of descriptive modeling in choosing drugs allows taking into account factors affecting the effectiveness and safety of therapy to achieve the best treatment results.

Keywords: *decision making, clinical medicine, descriptive modeling, multicriteria choice, knowledge formalization*.

DOI: 10.14357/20790279260311 **EDN:** GCIPJY

References

1. Meshcheryakov A.YU., Osipov S.N. Features of information technology in decision making incomplete data in the expert dialogue computer sexual health examination system. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk.* 2022;72(2):64-71. (In Russ.).
2. Einhorn H.J. Expert measurement and mechanical combination. *Organism behavior and human performance.* 1972;(47):86-106.
3. Kozielecki J. A model for diagnostic problem solving. *Acta Psychologica.* 1972;(36):370-380.
4. Slovic P. Lichtenstein S. Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgment. *Eugene, Oregon: Oregon Res. Inst. Monograph.* 1970;10(1): 148-268.
5. Petrovsky A.V., Pronichkin S.V., Sternin M.Yu., Shepelev G.I. Information-logical model of the national scientific and technological potential. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij.* 2018;(4):3-19. (In Russ.).
6. Petrovskiy A.B., Pronichkin S.V., Shepelev G.I. Information-Logical Model of Scientific and Technological Potential of Preventive and Personalized Medicine. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij*. 2022;(3):21-35. (In Russ.).
7. Elshtein A.S. Methods and theory in the study of medical inquiry. *J. med. education.* 1972; (7):85-92.
8. Larichev O.I. Decision making as a research branch: Methodological Problems. *In: D.M. Gvishiani* editor *Methodological Problems of Systems Approach and Systems Analysis. 1st edition. Oxford: Pergamon Press, of Systems Research. Methodological Problems. Advances in systems research.* 1985; 2:130-141.
9. Larichev O.I., Mechitov A.I., Moshkovich H.M., Furems E.M. Expert Knowledge Acquisition System. *In: A. Lockett, G. Islei editors Improving Decision Making in Organizations. Berlin: Springer-Verlag, of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.* 1989;(335):517–521.
10. Lemeshko V.A., Antonov A.A., Khachatryan G.R., Musina N.Z., Omelyanovskiy V. V. Value-based multi-criterion analysis: methodology and healthcare applications. *Modern problems of health care and medical statistics*. 2020;(3):251-274. (In Russ.).
11. Kozelsky YU. *Psihologicheskaya teoriya reshenij = Psychological theory of decisions*. Moscow: Progress. 1979. 504 p. (In Russ.).

12. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.* 1956;(63):81-97.
13. Sarin R. Multi-attribute utility theory. *In: Gass SI, Fu MC, editors. Encyclopedia of operations research and management science. 3rd ed. New York (NY): Springer.* 2013. P.1004-1006.
14. Stensrud M.J., Laurendeau J.D., Sarvet A.L. Optimal regimes for algorithm-assisted human decision-making. *Biometrika.* 2024;111(4):1089-1108.
15. Shortliffe E.H. Knowledge engineering for medical decision making. *Proc. IEEE*. 1979;(67):32-54.
16. North S.E. Application of Multi-Attribute Utility Analysis as a Methodological Framework in Academic–Clinical Partnership Evaluation. *American Journal of Evaluation.* 2024;45(4):562-578.
17. Dietz J., Mulder H. The EE Function-Construction Theory. *In: Enterprise Ontology. The Enterprise Engineering Series. Springer.* 2024.P.97-119.
18. Mukhopadhyay S., Ray S. Measurable Functions. *In: Measure and Integration. University Texts in the Mathematical Sciences.* 2025.P.37-59.
19. Dyer J, Sarin R. Measurable Multi-Attribute Value Functions. *Operations Research.* 1979;27 (4):810-822.
20. Smith J., Dyer J. On (Measurable) Multiattribute Value Functions: An Expository Argument, *Decision Analysis*. 2021;18 (4):247-256.
21. Meshcheryakov A.YU. On one approach to decision-making when choosing pharmacological treatment. *Nauchnyj al'manah*. 2021;11(85):45-50. (In Russ.).

Meshcheryakov Alexander Yu. Federal State Budgetary Institution of Science V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. PhD in Engineering Sciences, leading researcher, associate Professor. The number of printed works: more than 70. Research interests: information technologies, simulation and applied aspects of habitat management, expert medical decision-making systems based on knowledge. E-mail: aymesh@ipu.ru

Osipov Sergey N. Leading researcher of Federal Research Center 'Computer Science and Control' of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. PhD in Physics and Mathematics-Sciences, senior researcher. The number of printed works: more than 50. Research interests: modelling and forecasting of developing systems. E-mail: isa@isa.ru