

© L.Ya.Klepper, E.V.Molchanova, 2007

Л.Я.Клеппер¹, Е.В.Молчанова²

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ (синтез методов математического программирования и интерактивных локальных методов визуальной оптимизации)

¹Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН), г. Москва²Институт экономики Карельского научного центра РАН (ИЭ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск
Россия**АБСТРАКТ**

В статье предлагается новая концепция планирования контактной лучевой терапии (КЛТ) злокачественных опухолей, основанная на синтезе методов математического программирования (ММП) и интерактивных локальных методов визуальной оптимизации (ИЛМВО). ИЛМВО, также как и ММП, может быть использован как самостоятельный метод планирования КЛТ, однако их синтез позволяет формировать более эффективные терапевтические дозовые распределения.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ 05-01-00326).

Ключевые слова:

лучевая терапия, дозовые поля, математическое моделирование, методы математического программирования, интерактивные локальные методы визуальной оптимизации

Одно из основных ограничений, которое следует учитывать при формировании терапевтического дозового поля в лучевой терапии (ЛТ) злокачественных опухолей, это требование однородности дозового поля в очаге опухолевого заболевания (в объеме мишени). Связано оно с стремлением радиолога избежать рецидива онкозаболевания в областях минимума дозового поля, и возникновения лучевых осложнений в областях максимума дозового поля. Особенно остро стоит проблема «однородности» дозового поля в контактных методах ЛТ (КЛТ), в тех случаях, когда получить приемлемую однородность дозового поля невозможно по определению. В работе [1] впервые было показано, что задачи формирования оптимальных дозовых полей в КЛТ могут быть формализованы и сведены к различным линейным и нелинейным экстремальным задачам математического программирования. Основная задача определения оптимального плана облучения в КЛТ, которому соответствует максимальная однородность дозового поля, имеет следующий вид [1]:

$$\underset{X \in W}{\text{MAX}} \Psi(X) = \underset{X \in W}{\text{MAX}} \frac{\underset{y \in G}{\text{MIN}} D(X, y)}{\underset{y \in G}{\text{MAX}} D(X, y)}, \quad X \in W, \quad (1)$$

где G – трехмерная область (очаг опухолевого заболевания); X – план облучения (тип и количество источников излучения (ИИ), их распределение в пространстве) из множества допустимых планов облучения W ; $\Psi(X)$ – коэффициент однородности дозового поля; $D(X, y)$ – функция, которая описывает значение суммарной дозы в точке y . Задачи (1) в КЛТ являются многоэкстремальными. Это следует из свойств дозовых функций ИИ. Поскольку любой протяженный ИИ может быть представлен как совокупность «точечных», ограничимся анализом свойств дозовой функции точечного ИИ. Она является не выпуклой и не вогнутой. Вдоль луча, исходящего

из ИИ, она выпукла. Вдоль прямой, не проходящей через ИИ, она выпукло-вогнута. Поэтому суперпозиция дозовых полей ИИ произвольной формы приводит к многоэкстремальному дозовому полю. В большинстве случаев задача (1) не может быть разрешена аналитическими методами. Ее решение может быть осуществлено итеративными методами. На каждой итерации необходимо определять минимумы и максимумы дозового поля, рассчитывать коэффициенты однородности дозового поля, определить минимальное значение критерия и стратегию его повышения (стратегию улучшения плана облучения).

Опыт применения методов математического программирования (ММП) для решения задач оптимального планирования КЛТ показал, что в большинстве случаев они позволяют быстро формировать дозовые поля, которые оказываются более эффективными, чем построенные традиционными методами (методом Проб и Ошибок, или уже известными схемами размещения ИИ). Однако, нередко случаи, когда планирование с помощью ММП приводит к неэффективным дозовым распределениям. Связано это с неполной формализацией и чрезвычайной сложностью задач планирования КЛТ. В большинстве случаев они являются многокритериальными. Полученные с помощью ММП оптимальные планы облучения могут оказаться неудовлетворительными из-за того, что не все критерии были формализованы и записаны в виде условий задачи. Чтобы определить эффективный план облучения медицинскому физику надо так изменить структуру задачи, чтобы ее решение частично или полностью решало эту проблему. Если формирование оптимального дозового поля осуществляется с помощью линейных ограничений на дозы в системе контрольных точек, распределенных в мишени и в нормальных тканях организма, возникает проблема их разумного размещения. Между тем, в настоящее время нет четких правил решения этой задачи. Медицинский физик должен решать ее в соответствии с накопленным опытом и здравым смыслом. Когда ограничения оказываются несовместными, перед ним возникает сложная проблема: что лучше, изменить положения некоторых контрольных

Contact Information:

Dr. Ekaterina Molchanova

E-Mail: klepper@cemi.rssi.ru; molchanova@karelia.ru

точек (каких?), «ослабить» ограничения на дозы в контрольных точках (каких?), или сделать и то и другое? Критический анализ результатов применения ММП в планировании КЛТ показал, что повышение эффективности планирования может быть связано с **Новой Концепцией планирования КЛТ**, которая заключается в синтезе ММП и Интерактивных Локальных Методов Визуальной Оптимизации (ИЛМВО). Они дополняют друг друга и дают медицинскому физику прекрасную возможность использовать свой опыт и интуицию для того, чтобы наилучшим образом учесть требования лучевого терапевта к распределению дозы.

В ИЛМВО медицинскому физику приходится иметь дело с неформализованной задачей планирования КЛТ. На каждой итерации ему необходимо изменять план облучения, чтобы улучшить характеристики терапевтического дозового поля. Необходимо учитывать как формализуемые ограничения на распределение доз (ограничения на дозы в критических точках облучаемого организма), так и не формализуемые ограничения. Последние могут довольно сложным образом зависеть от состояния пациента и распределения доз, а также от цели, которую ставит перед собой лучевой терапевт. В КЛТ размещение ИИ часто диктуется локализацией и формой очага поражения. Накопленный опыт решения задач показал, что в сложных случаях ИЛМВО может оказаться более эффективным (более тонким), чем ММП. Между ММП и ИЛМВО нет четкой границы. ИЛМВО, в известной степени, являются аналогами (имитацией) методов решения условных и безусловных экстремальных задач ММП. ИЛМВО, также как и ММП, может быть использован как самостоятельный метод планирования КЛТ, однако, как показал накопленный нами опыт, синтез этих двух методов позволяет медицинскому физику формировать более эффективные терапевтические дозовые поля.

Эффективность ИЛМВО и возможность интерактивного локального улучшения характеристик дозового поля базируется на двух свойствах дозовых функций ИИ: 1). Абсолютное значение производной дозы по расстоянию (абсолютное значение мощности дозы) интенсивно уменьшается с расстоянием от ИИ. Это означает, что при смещении ИИ во всех точках дозового поля, для которых расстояние до ИИ уменьшается (увеличивается), дозы возрастают (убывают), и тем больше, чем ближе точка к ИИ. 2). Доза в точке облучаемого объема является произведением мощности дозы на длительность экспозиции. В силу свойства 1, при изменении длительности экспозиции ИИ доза в точке будет изменяться тем больше, чем ближе точка находится к ИИ. Отсюда, в частности, следует, что смещение ИИ позволяет более эффективно осуществлять процесс направленного локального формирования дозовых полей в КЛТ. Свойства 1 и 2 образуют основу для построения ИЛМВО. Он реализуется в результате направленного смещения ИИ или изменения длительностей их экспозиции. Использование современных ЭВМ облегчают процесс формирования дозового поля с помощью ИЛМВО. Они позволяют автоматизировать расчет характеристик дозового поля, которые необходимы для реализации ИЛМВО.

С помощью правильно организованного дружественного интерфейса можно добиться того, что формирование эффективного дозового поля с помощью ИЛМВО внешне будет напоминать одну из компьютерных игр, которые в настоящее время распространены повсеместно.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ 05-01-00326).

ЛИТЕРАТУРА

1. Клеппер Л.Я. Формирование дозовых полей с помощью радиоактивных источников излучения и аппликаторов. М., Энергоатомиздат, 1983.

L.Ya.Klepper¹, E.V.Molchanova²

THE NEW CONCEPT OF PLANNING OF CONTACT RADIATION THERAPY OF MALIGNANT TUMOURS

(synthesis of methods of mathematical programming and interactive local methods of visual optimization)

¹ The central economic and mathematical institute of the Russian Academy of Science (CEMI RAS), Moscow

² Institute of economics of the Karelian research center of the Russian Academy of Science (IE KarRC RAS), Petrozavodsk Russia

ABSTRACT:

In article the new concept of planning of contact radiotherapy (CRT) of the malignant tumours is offered, which based on synthesis of methods of mathematical programming (MMP) and interactive local methods of visual optimization (ILMVO). ILMVO, as well as MMP, can be used as an independent method of planning CRT, however their synthesis allows to form more effective therapeutic doses distributions.

Research is executed at support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR 05-01-00326).

Key words:

radiotherapy, doses fields, mathematical modeling, methods of mathematical programming, interactive local methods of visual optimization

© V.Knyazhev, D.Golemanov, Sv.Hrelev et al., 2007

В.Княжев, Д.Големанов, Св.Хрелев, М.Манолов, П.Костов МЫШЕЧНАЯ ПЛАСТИКА В КАЧЕСТВЕ ПРЕВЕНТИВНОЙ МЕРЫ ПРОТИВ ИНФЕКЦИИ СОСУДИСТЫХ ПРОТЕЗОВ

Клиника Сосудистой Хирургии,
Многопрофильная больница "Св.Анна" - Варна, Болгария

АБСТРАКТ

Инфекция искусственного сосудистого протеза является осложнением с исключительно тяжелыми и опасными последствиями и чаще всего наблюдается в области операционной раны под уровнем пупартовой связки.