

**Г.Г. Кармазановский**

**СПИРАЛЬНАЯ  
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ:  
болюсное контрастное усиление**

*Визар*

Москва 2005

ББК Р 364.1551  
К 21  
УДК 616-073.756.8



Автор и издательство благодарят  
компанию Никомед/GE Healthcare,  
сделавшую возможным издание этой монографии

**Кармазановский Г.Г.**

К 21 Спиральная компьютерная томография: болюсное контрастное усиление – М.: Издательский дом Видар-М, 2005. – 376 с.

**ISBN 5-88429-087-X**

Повсеместное широкое использование спиральной КТ сдерживается настроженным отношением врачей-рентгенологов к скоростному внутривенному введению больших объемов рентгеноконтрастных веществ. Однако только болюсное контрастирование и быстрое сканирование зоны интереса в заданные временные интервалы позволяют получить информацию для дифференциальной диагностики многих заболеваний.

В монографии освещены вопросы выбора контрастного вещества для болюсного контрастного усиления; подробно представлены сведения о физико-химических свойствах современных рентгеноконтрастных веществ и их фармакокинетики, влиянии на функцию почек и других органов. Приведены данные о протоколах исследований различных органов, описаны меры профилактики при экстравазации контрастного вещества, при внутривенной воздушной эмболии и при возникновении ранних и отсроченных побочных реакций на контрастные вещества, а также схемы их лечения. Представлены данные об использовании внутривенного контрастного усиления при обследовании беременных, кормящих матерей и детей.

Монография предназначена лучевым диагностам, в первую очередь специалистам по компьютерной томографии, детским рентгенологам, студентам старших курсов высших медицинских учебных заведений, а также широкому кругу врачей, заинтересованных в получении современной дифференциально-диагностической информации.

Рецензент: заслуженный деятель науки РФ  
член-корреспондент РАМН  
профессор А.Ю. Васильев

**ISBN 5-88429-087-X**

© Кармазановский Г.Г. 2005.

© Издательский дом Видар-М, 2005 г.

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>9</b>
<b>Глава 1. Роль рентгеноконтрастных исследований в современной компьютерной томографии</b> .....	<b>13</b>
1.1. Компьютерная томография с болюсным контрастным усилением .....	14
1.2. КТ-ангиография (КТА) .....	16
1.3. Параметры, влияющие на геометрию болюса при КТА .....	19
<i>Демографические характеристики (19) Заболевания (19) Объем вводимого контрастного вещества (29) Скорость инъекции (20) Концентрация йода (21) Преследователь болюса (22) Влияние приема пищи (24) Упражнения рукой во время прохождения болюса (24) Место инъекции (25) Предсказание геометрии болюса, демографическая характеристика пациента (25) Тест-болюс (26) Проследивание болюса (болюс-трек) (28) Математическое моделирование (29) КТА на томографах с одним рядом детекторов (31) КТА на мультidetекторных томографах (32) Сравнение МРА и КТА (32) КТ-артериальная портография (34)</i>	
Литература .....	35
<b>Глава 2. Йодсодержащие рентгеноконтрастные вещества для внутрисосудистого использования</b> .....	<b>40</b>
2.1. Органоспецифическая токсичность .....	47
2.2. Общая характеристика безопасности контрастных веществ . . . .	50
2.3. Неионные димеры .....	52
Литература .....	55
<b>Глава 3. Побочное действие рентгеноконтрастных веществ</b> . . . . .	<b>58</b>
3.1. Сравнение ионных и неионных контрастных веществ .....	62
3.2. Выборочное или универсальное использование неионных контрастных веществ? .....	65
3.3. Сравнение низкоосмолярных и изоосмолярных контрастных веществ .....	67
3.4. Острые побочные реакции на йодистые контрастные вещества .....	69
3.5. Отсроченные побочные реакции на йодистые контрастные вещества .....	73
3.6. Отсроченные кожные реакции .....	77
3.7. Гистологические исследования биопсийного материала кожных высыпаний, индуцированных контрастным веществом .....	80

3.8. Кожные тесты . . . . .	81
3.9. Провокационные тесты . . . . .	83
3.10. Лимфоцитарный трансформационный тест . . . . .	84
3.11. Специфические антитела . . . . .	85
3.12. Эозинофилия . . . . .	85
3.13. Маркеры активации комплемента . . . . .	86
3.14. IgE-обусловленные реакции . . . . .	87
3.15. Иммунные комплексы как медиаторы реакции . . . . .	88
3.16. Реакции, медиатором которых являются Т-клетки . . . . .	90
3.17. Активация эозинофилов . . . . .	92
3.18. Активация неспецифических тучных клеток . . . . .	93
3.19. Низкий функциональный уровень С1-ингибитора . . . . .	93
3.20. Активация неспецифического комплемента . . . . .	93
Литература . . . . .	95

**Глава 4. Нефропатия, вызываемая рентгеноконтрастными веществами . . . . . 106**

4.1. Влияние рентгеноконтрастных веществ на структуру и функцию почек . . . . .	106
<i>Воздействие контрастных веществ на почечную гемодинамику (107) Системные медиаторы (107) Клетки красной крови (108) Внутрпочечные вазоактивные медиаторы (108) Внутрпочечные вазодилататоры (108) Внутрпочечные вазоконстрикторы (109) Эндотелин и контрастные вещества (109) Аденозин (110) Действие контрастных веществ на канальцы почек (110) Функциональное воздействие (110) Канальцево-клубочковый механизм обратной связи (111) Внутриканальцевое давление (111) Канальцевая обструкция (112) Ионы кальция (112)</i>	
4.2. Патологические механизмы острой почечной недостаточности, обусловленной введением рентгеноконтрастного вещества . . . . .	112
<i>Гемодинамическое воздействие (113) Прямое токсическое действие молекулы контрастного вещества на канальцевые клетки (114) Свободные радикалы кислорода (117)</i>	
4.3. Экспериментальные модели на животных, используемые для изучения патофизиологии нефротоксического действия контрастного вещества . . . . .	118
<i>Модели in vivo (118) Модели in vitro (120)</i>	
4.4. Почечные патологические реакции на йодистые контрастные вещества . . . . .	120
4.5. Влияние типа контрастного вещества на его нефротоксичность . . . . .	121
<i>Сравнение нефротоксичности высокоосмолярных и низкоосмолярных контрастных веществ (121) Почечная безопасность неионных димеров (122)</i>	

---

Литература . . . . .	127
<b>Глава 5. Влияние контрастных веществ на функцию сердца, сосудов, мозга, легких и щитовидной железы . . . . .</b>	<b>136</b>
5.1. Влияние рентгеноконтрастных веществ на сердечно-сосудистую систему . . . . .	136
5.2. Поток крови в микроциркуляторном русле . . . . .	141
5.3. Действие контрастных веществ на клетки сосудов человека . . . . .	143
5.4. Нейротоксичность контрастных веществ . . . . .	146
5.5. Действие рентгеноконтрастных веществ на резистентность легочных сосудов при легочной ангиографии . . . . .	152
5.6. Воздействие рентгеноконтрастных веществ на вентиляцию легких . . . . .	154
5.7. Влияние рентгеноконтрастных средств на функцию щитовидной железы . . . . .	158
Литература . . . . .	159
<b>Глава 6. Оценка состояния пациента перед введением рентгеноконтрастного вещества. Профилактика побочных реакций . . . . .</b>	<b>168</b>
6.1. Профилактическое использование кортикостероидов . . . . .	171
6.2. Универсальная и избирательная премедикация антигистаминными препаратами . . . . .	176
6.3. Рекомендованные схемы профилактики генерализованных побочных реакций . . . . .	178
Литература . . . . .	180
<b>Глава 7. Профилактика нефротоксического действия контрастных веществ . . . . .</b>	<b>185</b>
7.1. Факторы, связанные с пациентом . . . . .	186
7.2. Факторы, не связанные с пациентом . . . . .	186
<i>Допамин (189) Антагонисты эндотелина (189) Антагонисты аденозина (190) Блокаторы кальциевых каналов (190) Фенолдопам (191) N-ацетилцистеин (192) Другие средства профилактики нефротоксичности контрастных средств (195)</i>	
7.3. Использование контрастных веществ у больных сахарным диабетом, получающих метформин (глюкофаг) . . . . .	197
7.4. Рекомендации по назначению исследований с контрастным веществом у пациентов, страдающих сахарным диабетом и принимающих метформин . . . . .	199
7.5. Профилактический гемодиализ как мера предотвращения нефротоксического действия контрастных веществ . . . . .	200
Литература . . . . .	203

---

<b>Глава 8. Некоторые аспекты оптимизации протоколов рентгеноконтрастных КТ-исследований</b> . . . . .	<b>211</b>
8.1. Брюшная полость . . . . .	211
8.2. Легкие . . . . .	235
8.3. Аорта, ее ветви и сердце . . . . .	241
8.4. Травматические повреждения . . . . .	250
Литература . . . . .	253
<b>Глава 9. Экстравазация контрастного вещества, ятрогенная воздушная венозная эмболия и их лечение</b> . . . . .	<b>264</b>
9.1. Факторы риска, связанные с пациентом . . . . .	266
9.2. Тип контрастного вещества и его объем . . . . .	267
9.3. Факторы, зависящие от техники инъекции . . . . .	268
9.4. Механизмы экстравазации и токсичности . . . . .	269
9.5. Клиническая картина . . . . .	270
9.6. Лечение экстравазации контрастного вещества . . . . .	271
9.7. Ятрогенная воздушная венозная эмболия . . . . .	272
9.8. Лечение венозной воздушной эмболии . . . . .	275
Литература . . . . .	277
<b>Глава 10. Лечение проявлений нефротоксического действия контрастных веществ</b> . . . . .	<b>281</b>
10.1. Маркеры нефропатии, обусловленной введением рентгеноконтрастных веществ . . . . .	281
10.2. Роль гемодиализа в выведении йодистых контрастных веществ при нефропатии . . . . .	287
10.3. Выведение контрастного вещества путем перитонеального диализа . . . . .	290
10.4. Элиминация контрастных веществ на основе гадолиния . . . . .	291
Литература . . . . .	293
<b>Глава 11. Лечение генерализованных побочных реакций на рентгеноконтрастные вещества</b> . . . . .	<b>298</b>
11.1. Лечение специфических реакций . . . . .	302
<i>Тошнота и рвота (302) Бронхоспазм (303) Отек гортани (304) Артериальная гипотензия (304) Вагусная реакция (305) Общие анафилоктоидные реакции (306)</i>	
11.2. Схемы лечения тяжелых осложнений . . . . .	307
Литература . . . . .	310
<b>Глава 12. Рентгеноконтрастные исследования у беременных, кормящих матерей и детей</b> . . . . .	<b>313</b>
12.1. Мутагенность и тератогенность контрастных веществ . . . . .	313
12.2. Проникновение контрастных веществ через плаценту . . . . .	314

12.3. Йодистые контрастные вещества внутри плода. . . . .	315
<i>Распределение и выделение (315) Потенциально вредное воздействие контрастного вещества на щитовидную железу плода (316)</i>	
12.4. Рентгеноконтрастные исследования у детей . . . . .	317
12.5. Спиральная КТ с контрастным усилением . . . . .	319
12.6. Оценка побочного действия рентгеноконтрастных веществ у детей . . . . .	322
Литература . . . . .	324
<b>Глава 13. Другие (неуротропные) рентгеноконтрастные вещества для КТ с контрастным усилением . . . . . 329</b>	
13.1. Липиодол-КТ. . . . .	329
13.2. КТ-холангиография . . . . .	331
13.3. КТ с контрастным усилением хелатами гадолиния . . . . .	333
<i>Фармакокинетика хелатов гадолиния (336) Токсичность (LD50) (337) Нефротоксичность МРКС при рентгеноконтрастных исследованиях (340) Случаи генерализованных реакций на гадолиний-содержащие контрастные вещества (344) Смесь гадолиний-содержащих и йодистых контрастных веществ (345)</i>	
Литература . . . . .	346
<b>Глава 14. Взаимодействие рентгеноконтрастных веществ с другими лекарствами . . . . . 353</b>	
14.1. $\beta$ -блокаторы . . . . .	355
14.2. Интерлейкин-2 . . . . .	356
14.3. Действие контрастных веществ на коагуляцию . . . . .	357
14.4. Действие контрастных веществ на фибринолиз . . . . .	357
14.5. Смешивание контрастных веществ с другими лекарствами . . .	358
14.6. Влияние контрастных веществ на результаты биохимических исследований . . . . .	358
Литература . . . . .	359
<b>Глава 15. Перспективы клинического применения длительно циркулирующих в кровеносном русле и накапливающихся в ретикулоэндотелиальной системе КТ-контрастных веществ . . 361</b>	
Литература . . . . .	370
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>373</b>

---

Спиральная компьютерная томография с болюсным контрастным усилением в Институте хирургии им. А.В. Вишневского РАМН является одним из ведущих методов неинвазивной диагностики хирургических заболеваний. Широкое использование метода позволило отказаться от многих диагностических процедур традиционной ангиографии.

В отделении лучевой диагностики нашего института были разработаны методики болюсного контрастного усиления при спиральной КТ и защищены первые в стране кандидатские диссертации на эту тему.

Возможности метода были существенно расширены в новом направлении – «виртуальная хирургия», когда трехмерные реконструкции области патологии подвергались различным манипуляциям бригадой, состоящей из хирурга и врача-рентгенолога. На трехмерной модели отрабатываются как возможность хирургического вмешательства, так и его нюансы. Это принципиально новая идеология хирургической деятельности, но она не могла бы воплотиться в жизнь без повышения разрешающей способности КТ в визуализации артерий, вен, патологических изменений в органах благодаря методике болюсного контрастного усиления КТ-изображения.

Применение современных неионных рентгеноконтрастных веществ обеспечивает высокую безопасность рентгеноконтрастных КТ-исследований и позволяет рекомендовать спиральную КТ с болюсным контрастным усилением как рутинную методику для обследований пациентов на догоспитальном этапе.

Представленный труд, несомненно, вызовет интерес читателей. Надеюсь, что опыт нашего института будет полезен всем, кто совершенствует методики КТ-исследований, а также всем врачам, заинтересованным в расширении источников получения диагностической информации.



Зам. директора Института хирургии  
им. А.В. Вишневского РАМН  
по научной и лечебной работе,  
заслуженный врач РФ,  
канд. мед. наук Еропкина А.Г.

---

## Введение

За более чем 100-летний период своего развития рентгенология прошла большой путь, который ознаменован как достижениями в диагностическом процессе, так и развитием собственно самой диагностической специальности.

До 70-х годов прошлого столетия дочерней специальностью рентгенологии можно было считать лишь рентгеноангиографию. Интенсивный научно-технический прогресс привел к появлению новых направлений визуальной диагностики, основанных на различных свойствах тканей реагировать на физическое воздействие: радионуклидной диагностики, рентгеновской компьютерной томографии, ультразвуковой диагностики, магнитно-резонансной томографии.

Все эти направления специальности рентгенологии (радиология – лучевая диагностика), в зависимости от специфики учреждений и их оснащённости, в большей или меньшей мере развиваются, совершенствуются, в том числе благодаря эффективному взаимодействию на основе закона обратной связи с другими медицинскими дисциплинами.

С момента организации в 1983 году группы, а затем отделения компьютерной томографии Института хирургии им. А.В. Вишневского РАМН, наши сотрудники широко использовали методы контрастного усиления КТ-изображений при пошаговой компьютерной томографии – сначала в режиме введения контрастных веществ «вручную», а затем, болюсно, при выполнении динамической КТ и КТ-ангиографии, и внесли большой вклад в разработку этих методик.

Возможности контрастного усиления нашли отражение во многих статьях, а также монографиях и атласах, опубликованных сотрудниками отделения компьютерной томографии, а в последующем - отделения лучевой диагностики института.

С 1994 года мы широко используем болюсное контрастное усиление при спиральной КТ, во многом это обусловлено возможностью применять неионные рентгеноконтрастные вещества. Поначалу наше робкое отношение в проблеме болюсного контрастного усиления при спиральной КТ выразилось в том, что на протяжении нескольких лет мы пользовались методикой, когда 100 мл контрастного вещества вводилось пациенту дробно – сканирование выполняли в артериальную фазу (через 25 секунд после введения 50 мл контрастного вещества) и венозную – после реконструкции артериального изображения повторно вводили еще 50 мл контрастного ве-

---

щества, а сканирование начинали на 80-й секунде от начала введения второй дозы контрастного вещества.

Спустя 10 лет такая предосторожность вызывает лишь ироничную улыбку. Но в середине 1990-х годов, когда не было источников (интернет был сказкой, а иностранные журналы исчезли с полок медицинских библиотек), информационный голод был основой таких мер предосторожностей. К тому же и на Западе методики контрастного усиления разрабатывались практически в это же время. Смущал и фактор тройного КТ-исследования (получение нативной фазы сканирования, артериальной и венозной фаз контрастного усиления).

Но шло время, мы убедились, что болюсное контрастирование позволяет осуществлять не только диагностику, дифференциальную диагностику, но и решать вопросы планирования оперативной тактики на этапе дооперационного анализа данных визуализационных методов обследования больного.

Быстрота, безопасность и высокая информационная эффективность спиральной компьютерной томографии с болюсным контрастным усилением при введении 100 мл контрастного вещества со скоростью 3 мл/с позволили интенсифицировать КТ-исследования и практически половину контрастных КТ-исследований осуществлять на предоперационном этапе, амбулаторно.

Более 10 лет выступая с лекциями по дифференциальной КТ-диагностике во многих городах нашей страны, я сталкивался с одной и той же проблемой: врачи-клиницисты не представляли истинных возможностей дифференциальной диагностики с использованием болюсного контрастного усиления при КТ, а врачи-рентгенологи не всегда охотно шли на расширение спектра диагностических методик, в том числе из-за страха побочных реакций на контрастные вещества, который был привит всем, и прямо надо сказать, небезосновательно, кто использовал высокоосмолярные рентгеноконтрастные вещества.

Сейчас изменилось время, а вместе с ним изменились и наши диагностические возможности. Современная быстродействующая, скоростная компьютерно-томографическая техника, особенно в своем последнем воплощении мультidetекторной КТ, практически не может эффективно использоваться без применения методик болюсного контрастного усиления, которые позволяют получить исходные данные для всевозможных методик пост-процессорной обработки результатов МДКТ-исследования.

В западных странах болюсное контрастное усиление при КТ стало рутинной повседневной практикой. В нашей стране до недавнего времени можно было наблюдать картину, когда закупался спиральный компьютерный томограф, но при этом он не оснащался автоматическим инъектором, а врачи-рентгенологи или по незнанию, или для спокойной жизни годами стреляли «из пушки по воробьям», ограничивая себя в получении важной, эффективной, но недоступной им информации.

Побудительным мотивом к написанию этой монографии стало желание проанализировать на основе собственного опыта всю имеющуюся инфор-

---

мацию по сути вопроса, представить некие общие схемы и подходы, которые позволили бы врачам-рентгенологам, занимающимся КТ-диагностикой, избавиться от страха перед контрастными КТ-исследованиями и последствиями введения рентгеноконтрастных веществ в кровеносное русло больного.

Размышления над структурой монографии и несколько ее переделок привели к той логике изложения материала, с которой ознакомится читатель. Не претендуя на абсолютную полноту информации, автор надеется, что схема монографии отражает ответы на естественные вопросы врача и больного, которые неминуемо возникают при осмысленной (с обеих сторон) подготовке к КТ-исследованию.

---

## Список сокращений

КТ – компьютерная томография  
СКТ – спиральная компьютерная томография  
КУ – контрастное усиление  
3D – трехмерная реконструкция  
ед.Н – единица Хаунсфилда  
МРТ – магнитно-резонансная томография  
МРА – магнитно-резонансная ангиография  
ДСА – дигитальная субтракционная ангиография  
МДКТ – многодетекторная спиральная компьютерная томография  
КТА – КТ-ангиография  
КТАП – КТ-артериальная портография  
ПМУ – пик максимального усиления  
вПМУ – время достижения ПМУ  
РЭС – ретикулоэндотелиальная система  
УЗИ – ультразвуковое исследование  
MIP – проекции максимальной интенсивности  
MPR – мультипланарная реконструкция  
SSD – построение изображения по оттененным поверхностям  
АЕМ – атомная единица массы