



# Оглавление

Предисловие научного редактора перевода.....	17
Предисловие к четвертому изданию .....	18
Благодарности.....	19
Список сокращений и условных обозначений.....	20

## **Раздел I. Сосудистый доступ .....**

25

Глава 1. Сосудистые катетеры.....	27
Сосудистые катетеры.....	27
Распространенные типы катетеров.....	32
Специализированные катетеры .....	38
Несколько слов напоследок .....	40
Список литературы.....	41
Глава 2. Центральный венозный доступ .....	43
Принципы катетеризации и подготовка к манипуляции.....	43
Вспомогательные средства при катетеризации.....	47
Обеспечение центрального венозного доступа.....	50
Прямые осложнения .....	60
Несколько слов напоследок .....	64
Список литературы.....	65
Глава 3. Уход за сосудистым катетером.....	69
Регулярный уход за катетером .....	69
Неинфекционные осложнения.....	71
Катетер-ассоциированные инфекции кровотока .....	76
Несколько слов напоследок .....	89
Список литературы.....	91

## **Раздел II. Профилактические мероприятия в отделениях интенсивной терапии.....**

95

Глава 4. Воздействия, связанные с медицинской деятельностью.....	97
Возбудители, переносимые кровью.....	97
Возбудители, переносимые воздушно-капельным путем .....	106
Несколько слов напоследок .....	109
Список литературы.....	109

Глава 5. Профилактика желудочно-кишечных осложнений.....	111
Микробная инвазия из кишечника .....	111
Стрессовое повреждение слизистой оболочки желудка .....	116
Деконтаминация желудочно-кишечного тракта.....	124
Несколько слов напоследок .....	129
Список литературы.....	130
Глава 6. Венозные тромбоэмболические осложнения.....	135
Факторы риска.....	135
Профилактика тромбоза .....	138
Диагностическая оценка .....	144
Лечение .....	150
Несколько слов напоследок .....	156
Список литературы.....	157
<b>Раздел III. Гемодинамический мониторинг .....</b>	<b>161</b>
Глава 7. Мониторинг артериального давления.....	163
Неинвазивный метод измерения давления .....	163
Прямые измерения .....	169
Несколько слов напоследок .....	173
Список литературы.....	173
Глава 8. Катетер легочной артерии .....	175
Катетер .....	175
Окклюзионное давление легочной артерии .....	178
Термодилуционный метод измерения сердечного выброса.....	181
Гемодинамические параметры.....	184
Практическое использование .....	188
Несколько слов напоследок .....	189
Список литературы.....	190
Глава 9. Деятельность сердечно-сосудистой системы.....	193
Преднагрузка желудочка .....	193
Центральное венозное давление .....	200
Постнагрузка желудочков .....	202
Периферический кровоток .....	207
Несколько слов напоследок .....	210
Список литературы.....	210
Глава 10. Система транспорта кислорода .....	213
Кислород в крови .....	213
Системный кислородный баланс.....	218
Биохимические маркеры.....	228
Ближняя инфракрасная спектроскопия.....	232

Несколько слов напоследок .....	233
Список литературы .....	234
<b>Раздел IV. Нарушения кровообращения .....</b>	<b>237</b>
Глава 11. Кровотечение и гиповолемия .....	239
Жидкости организма и кровопотеря .....	239
Оценка объема крови (волемического статуса) .....	241
Инфузия растворов .....	249
Стратегии инфузионной терапии .....	252
Органная дисфункция после успешной терапии геморрагического шока .....	258
Несколько слов напоследок .....	259
Список литературы .....	260
Глава 12. Инфузия коллоидных и кристаллоидных растворов .....	263
Кристаллоидные растворы .....	263
5% растворы декстрозы .....	272
Коллоиды .....	274
Коллоидно-кристаллоидная полемика .....	281
Несколько слов напоследок .....	283
Список литературы .....	284
Глава 13. Острая сердечная недостаточность в отделении интенсивной терапии .....	287
Патофизиология .....	287
Виды сердечной недостаточности .....	292
Стратегии лечения .....	296
Механическая поддержка кровообращения .....	306
Несколько слов напоследок .....	308
Список литературы .....	309
Глава 14. Синдромы воспалительного шока .....	313
Воспалительное повреждение .....	313
Септический шок .....	318
Анафилаксия .....	324
Несколько слов напоследок .....	328
Список литературы .....	328
<b>Раздел V. Неотложные кардиологические состояния .....</b>	<b>331</b>
Глава 15. Тахикардии .....	333
Распознавание .....	333

Фибрилляция предсердий .....	336
Мультифокальная предсердная тахикардия.....	343
Пароксизмальная наджелудочковая тахикардия .....	344
Желудочковая тахикардия.....	347
Несколько слов напоследок .....	352
Список литературы.....	353
<b>Глава 16. Острый коронарный синдром.....</b>	<b>355</b>
Коронарный тромбоз .....	355
Стандартные меры.....	357
Реперфузионная терапия .....	361
Дополнительная антитромботическая терапия.....	368
Осложнения .....	371
Острое расслоение аорты .....	373
Несколько слов напоследок .....	377
Список литературы.....	377
<b>Глава 17. Остановка кровообращения.....</b>	<b>381</b>
Базовая сердечно-легочная реанимация .....	381
Расширенная сердечно-легочная реанимация у взрослых.....	385
Реанимационный мониторинг.....	392
Постреанимационный период .....	393
Несколько слов напоследок .....	400
Список литературы.....	401
<b>Раздел VI. Компоненты крови.....</b>	<b>405</b>
<b>Глава 18. Анемия и переливание эритроцитов .....</b>	<b>407</b>
Анемия в отделении интенсивной терапии .....	407
Триггеры для переливания эритроцитов.....	413
Переливание эритроцитов .....	414
Риски, связанные с переливанием крови .....	418
Несколько слов напоследок .....	425
Список литературы .....	425
<b>Глава 19. Тромбоциты и плазма.....</b>	<b>429</b>
Обзор системы гемостаза .....	429
Тромбоцитопения.....	430
Переливание тромбоцитов.....	439
Препараты плазмы крови.....	443
Несколько слов напоследок .....	447
Список литературы.....	447

<b>Раздел VII. Острая дыхательная недостаточность</b> .....	451
Глава 20. Гипоксемия и гиперкапния.....	453
Газообмен в легких .....	453
Оценка газообмена .....	457
Гипоксемия .....	461
Гиперкапния .....	466
Несколько слов напоследок .....	469
Список литературы.....	470
Глава 21. Оксиметрия и капнометрия.....	473
Оксиметрия.....	473
Капнометрия.....	482
Несколько слов напоследок .....	488
Список литературы.....	489
Глава 22. Кислородная терапия .....	491
Вникание в суть проблемы.....	491
Системы для доставки кислорода.....	496
Токсическая природа кислорода .....	502
Несколько слов напоследок .....	509
Список литературы.....	510
Глава 23. Острый респираторный дистресс-синдром .....	515
Патогенез .....	515
Диагностические критерии .....	517
Искусственная вентиляция легких при остром респираторном дистресс-синдроме .....	522
Нереспираторные методы лечения острого респираторного дистресс-синдрома .....	527
Рефрактерная гипоксемия .....	529
Несколько слов напоследок .....	531
Список литературы.....	531
Глава 24. Астма и хронические обструктивные заболевания легких в отделении интенсивной терапии .....	535
Основы .....	535
Обострение бронхиальной астмы .....	540
Обострение хронической обструктивной болезни легких.....	546
Искусственная вентиляция легких .....	549
Несколько слов напоследок .....	552
Список литературы.....	553

<b>Раздел VIII. Искусственная вентиляция легких</b> .....	557
Глава 25. Вентиляция с положительным давлением .....	559
Основы .....	559
Повреждение легких .....	567
Искусственная вентиляция легких и ее влияние на сердце .....	572
Несколько слов напоследок .....	575
Список литературы .....	575
Глава 26. Традиционные методы респираторной поддержки ..	579
Аппаратный вдох .....	579
Вспомогательно-управляемая вентиляция (Assist-Controlled Ventilation — ACV) .....	583
Перемежающаяся принудительная вентиляция (Intermittent Mandatory Ventilation — IMV) .....	585
Вентиляция с поддержкой давлением (Pressure Support Ventilation — PSV) .....	586
Положительное конечно-экспираторное давление (Positive End-Expiratory Pressure — PEEP) .....	587
Устанавливаемые параметры искусственной вентиляции легких ....	592
Несколько слов напоследок .....	594
Список литературы .....	594
Глава 27. Альтернативные методы респираторной поддержки .....	597
Резервные (жизнеспасительные) режимы .....	597
Неинвазивная вентиляция легких .....	603
Несколько слов напоследок .....	611
Список литературы .....	611
Глава 28. Вентилятор-зависимый пациент .....	613
Искусственные дыхательные пути .....	613
Уход за дыхательными путями .....	619
Разрыв альвеол .....	622
Внутреннее (скрытое) положительное конечно-экспираторное давление .....	627
Несколько слов напоследок .....	629
Список литературы .....	630
Глава 29. Вентилятор-ассоциированная пневмония .....	633
Общая информация .....	633
Профилактические меры .....	634
Клинические особенности .....	636
Микробиологическая оценка .....	641
Парапневмонический выпот .....	646

Антибактериальная терапия.....	647
Несколько слов напоследок .....	648
Список литературы.....	649
<b>Глава 30. Постепенная отмена респираторной поддержки.....</b>	<b>651</b>
Предварительные рассуждения.....	651
Тест спонтанного дыхания.....	654
Экстубация.....	662
Несколько слов напоследок .....	665
Список литературы.....	666

## **Раздел IX. Нарушения кислотно-основного состояния.....**

<b>состояния.....</b>	<b>669</b>
<b>Глава 31. Анализ кислотно-основного состояния.....</b>	<b>671</b>
Основные понятия.....	671
Пошаговый подход к анализу кислотно-основного состояния .....	677
Интервалы («провалы»).....	679
Несколько слов напоследок .....	683
Список литературы.....	684
<b>Глава 32. Органические кислоты как причина</b>	
<b>    метаболического ацидоза.....</b>	<b>687</b>
Лактат-ацидоз .....	687
Зашелачивающая терапия .....	693
Кетокислоты .....	696
Диабетический кетоацидоз .....	698
Алкогольный кетоацидоз .....	701
Несколько слов напоследок .....	702
Список литературы.....	703
<b>Глава 33. Метаболический алкалоз.....</b>	<b>707</b>
Патогенез .....	707
Клинические проявления .....	710
Оценка.....	712
Лечение .....	714
Несколько слов напоследок .....	717
Список литературы.....	717

## **Раздел X. Почечные и электролитные нарушения .....**

<b>Глава 34. Острое повреждение почек.....</b>	<b>723</b>
Диагностические критерии .....	723
Диагностика .....	726



Раннее лечение .....	730
Особые состояния.....	733
Заместительная почечная терапия.....	738
Несколько слов напоследок .....	741
Список литературы.....	741
<b>Глава 35. Осмотические нарушения.....</b>	<b>745</b>
Осмотическая активность .....	745
Гипернатриемия .....	749
Гиповолемическая гипернатриемия.....	751
Гипернатриемия без гиповолемии.....	754
Гипертоническая гипергликемия .....	756
Гипонатриемия .....	757
Несколько слов напоследок .....	765
Список литературы.....	765
<b>Глава 36. Калий.....</b>	<b>769</b>
Основы .....	769
Гипокалиемия .....	772
Гиперкалиемия .....	775
Несколько слов напоследок .....	782
Список литературы.....	782
<b>Глава 37. Магний.....</b>	<b>785</b>
Основы .....	785
Дефицит магния .....	787
Избыток магния.....	794
Несколько слов напоследок .....	796
Список литературы.....	796
<b>Глава 38. Кальций и фосфор.....</b>	<b>799</b>
Кальций в плазме.....	799
Дефицит ионизированного кальция.....	801
Избыток ионизированной формы кальция.....	805
Гипофосфатемия .....	808
Гиперфосфатемия.....	812
Несколько слов напоследок .....	812
Список литературы.....	813

## **Раздел XI. Органы брюшной полости и малого таза .....**

<b>Глава 39. Панкреатит и печеночная недостаточность .....</b>	<b>819</b>
Острый панкреатит.....	819
Тяжелый панкреатит .....	824

Печеночная недостаточность.....	828
Печеночная энцефалопатия.....	832
Несколько слов напоследок.....	836
Список литературы.....	837
Глава 40. Абдоминальные инфекции в отделении интенсивной терапии.....	841
Акалькулезный холецистит.....	841
Колонизация желудочно-кишечного тракта.....	843
Послеоперационные инфекционные осложнения.....	849
Несколько слов напоследок.....	853
Список литературы.....	853
Глава 41. Инфекции мочевыводящих путей в отделении реанимации и интенсивной терапии.....	857
Патогенез.....	857
Диагностика и лечение.....	860
Кандидурия.....	861
Несколько слов напоследок.....	863
Список литературы.....	863
<b>Раздел XII. Патология терморегуляции.....</b>	<b>865</b>
Глава 42. Гипертермия и гипотермия.....	867
Состояния, связанные с перегревом.....	867
Лекарственная гипертермия.....	871
Гипотермия.....	878
Несколько слов напоследок.....	881
Список литературы.....	881
Глава 43. Лихорадка в отделении реанимации и интенсивной терапии.....	885
Температура тела.....	885
Этиология неинфекционной лихорадки.....	888
Нозокомиальные инфекции.....	893
Первоначальный подход.....	897
Антипиретическая терапия.....	899
Несколько слов напоследок.....	903
Список литературы.....	904
<b>Раздел XIII. Расстройства нервной системы.....</b>	<b>907</b>
Глава 44. Нарушения сознания.....	909
Нарушения сознания.....	909
Делирий.....	911

Кома .....	916
Смерть мозга .....	922
Несколько слов напоследок .....	925
Список литературы.....	925
<b>Глава 45. Двигательные расстройства .....</b>	<b>929</b>
Судороги .....	929
Синдромы нервно-мышечной слабости.....	935
Лекарственная миорелаксация .....	938
Несколько слов напоследок .....	941
Список литературы.....	941
<b>Глава 46. Острый инсульт.....</b>	<b>945</b>
Терминология .....	945
Первичная оценка .....	946
Тромболитическая терапия .....	951
Профилактические мероприятия .....	955
Несколько слов напоследок .....	956
Список литературы.....	957
<b>Раздел XIV. Питание и обмен веществ .....</b>	<b>959</b>
<b>Глава 47. Нутритивные потребности .....</b>	<b>961</b>
Суточный расход энергии .....	961
Потребность в питательных веществах .....	963
Потребность в витаминах.....	966
Незаменимые микроэлементы.....	968
Несколько слов напоследок .....	970
Список литературы.....	971
<b>Глава 48. Энтеральное зондовое питание.....</b>	<b>975</b>
Общие рассуждения.....	975
Питательные смеси.....	977
Создание режима питания .....	981
Начинаем зондовое питание .....	982
Осложнения .....	984
Несколько слов напоследок .....	988
Список литературы.....	989
<b>Глава 49. Парентеральное питание.....</b>	<b>993</b>
Растворы субстратов .....	993
Добавки .....	996
Создание схемы полного парентерального питания .....	998
Осложнения .....	1000

Периферическое парентеральное питание.....	1003
Несколько слов напоследок .....	1004
Список литературы.....	1004
<b>Глава 50. Дисфункция надпочечников и щитовидной железы.....</b>	<b>1007</b>
Угнетение функций надпочечников в отделении реанимации и интенсивной терапии .....	1007
Оценка функции щитовидной железы .....	1012
Тиреотоксикоз .....	1014
Гипотиреоз .....	1016
Несколько слов напоследок .....	1018
Список литературы.....	1018
<b>Раздел XV. Медикаментозная терапия в медицине критических состояний.....</b>	<b>1021</b>
<b>Глава 51. Аналгезия и седация в отделении реанимации и интенсивной терапии.....</b>	<b>1023</b>
Опыт нахождения в отделении реанимации и интенсивной терапии .....	1024
Аналгезия опиоидами.....	1026
Ненаркотические анальгетики.....	1030
Тревога у пациентов отделения реанимации и интенсивной терапии .....	1033
Бензодиазепины .....	1035
Другие седативные средства.....	1039
Несколько слов напоследок .....	1043
Список литературы.....	1044
<b>Глава 52. Антибактериальная терапия .....</b>	<b>1049</b>
Аминогликозиды .....	1049
Противогрибковые средства .....	1053
Карбапенемы .....	1056
Цефалоспорины.....	1059
Фторхинолоны.....	1061
Пенициллины .....	1063
Ванкомицин и альтернативные средства .....	1064
Несколько слов напоследок .....	1068
Список литературы.....	1069
<b>Глава 53. Гемодинамические препараты.....</b>	<b>1073</b>
Катехоламины.....	1073
Вспомогательные вазопрессоры .....	1081

Нитровазодилататоры .....	1083
Несколько слов напоследок .....	1088
Список литературы.....	1089
<b>Раздел XVI. Экстренная токсикология.....</b>	<b>1093</b>
Глава 54. Передозировка лекарственных средств .....	1095
Парацетамол (Ацетаминофен <sup>®</sup> ) .....	1096
Бензодиазепины .....	1101
β-Адреноблокаторы .....	1102
Наркотические анальгетики.....	1106
Салицилаты.....	1108
Несколько слов напоследок .....	1110
Список литературы.....	1111
Глава 55. Немедикаментозные токсидромы .....	1115
Угарный газ.....	1115
Цианид .....	1119
Токсические спирты.....	1122
Несколько слов напоследок .....	1126
Список литературы.....	1126
<b>Раздел XVII. Приложения .....</b>	<b>1129</b>
Приложение 1. Единицы измерения и их пересчет .....	1131
Приложение 2. Выборочные референсные значения.....	1137
Приложение 3. Дополнительные формулы.....	1143
Предметный указатель.....	1144

## СОСУДИСТЫЕ КАТЕТЕРЫ

*Можно описать человека как животное, создающее орудия труда.*

Чарльз Бэббидж (1791–1871)

Один из самых драматических медицинских экспериментов над собой в истории произошел в маленькой немецкой больнице летом 1929 г., когда 25-летний хирург-ординатор по имени Вернер Форссман вставил пластиковый уретральный катетер в *v. basilica* на правой руке, а затем продвинул катетер в правое предсердие своего сердца [1]. Это был первый документально подтвержденный случай центральной венозной катетеризации с использованием гибкого пластикового катетера. Несмотря на успех, процедура имела только одно неблагоприятное последствие: Форссмана немедленно отчислили из ординатуры за то, что он действовал без согласия начальства, и его действия были восприняты как безрассудные и даже самоубийственные. После увольнения ему сказали, что такие методы хороши для цирка, но не для уважаемой больницы [1]. Форссман стал сельским врачом, но его достижения в области катетеризации сосудов были окончательно признаны лишь в 1956 г., когда он был удостоен Нобелевской премии по медицине за выполнение первой катетеризации правого сердца у человека.

Вернер Форссман отошел от стандартного использования игл и жестких металлических канюль для сосудистого доступа, и это ознаменовало начало современной эры катетеризации сосудов, которая характеризуется использованием гибких пластиковых катетеров, подобных описанным в этой главе.

## СОСУДИСТЫЕ КАТЕТЕРЫ

---

### Материал для изготовления катетера

Сосудистые катетеры изготавливают из синтетических полимеров, которые биохимически инертны, биосовместимы и устойчивы к химическому и термическому разложению. Наиболее распространенными полимерами являются полиуретан и силикон.

### *Полиуретан*

Полиуретан — это универсальный полимер, который может как представлять собой твердое вещество (например, шины на газонокосилках изготовлены из полиуретана), так и быть модифицирован для проявления эластических свойств (например, волокна спандекса, используемые в эластичной одежде, изготовлены из модифицированного полиуретана). Полиуретан в сосудистых катетерах обеспечивает достаточную прочность, чтобы позволить катетерам проходить через кожу и подкожные ткани без перегиба. Поскольку эта жесткость может также способствовать повреждению сосудов, полиуретановые катетеры используются для кратковременной сосудистой катетеризации. Большинство сосудистых катетеров, которые вы будете использовать в отделении интенсивной терапии (ОИТ), изготовлены из полиуретана, включая периферические сосудистые катетеры (артериальные и венозные), центральные венозные катетеры и катетеры для легочной артерии (ЛА).

### *Силикон*

Силикон — это полимер, который содержит кремний с водородом, кислородом и углеродом. Силикон более пластичен, чем полиуретан (например, наконечник на детских бутылочках сделан из силикона), что снижает риск повреждения сосудов, вызванного катетером. Силиконовые катетеры используются для длительного сосудистого доступа (от недель до месяцев), например для длительного проведения химиотерапии, введения антибиотиков и растворов парентерального питания в амбулаторных условиях. Единственными катетерами на силиконовой основе, встречающимися в ОИТ, являются центральные венозные катетеры с периферическим методом постановки. Вследствие своей податливости силиконовые катетеры не могут быть введены чрескожно без помощи проводника или направляющего катетера.

## **Размеры катетеров**

Размер сосудистых катетеров определяют по их внешнему диаметру, причем для этого существуют две системы единиц — французская метрическая система размеров и система, основанная на калибре проволоки.

### *Калибровочная система размеров (Gauge, G)*

Калибровочная система была введена (в Англии) для определения размеров железных проводов, а позже была принята для полых игл и катетеров. Калибр обратно пропорционален внешнему диаметру (то есть чем больше калибр, тем меньше внешний диаметр), однако между ними нет фиксированной взаимосвязи. Международная организация по стандартизации

(*International Organization for Standardization — ISO*) предложила соотношения, приведенные в табл. 1.1, для калибровочных размеров и соответствующих наружных диаметров периферических катетеров [2]. Обратите внимание, что каждый калибровочный размер связан с диапазоном внешних диаметров (фактический внешний диаметр) и что нет фиксированной связи между фактическими (измеренными) и номинальными внешними диаметрами. Таким образом, единственный способ определить фактический наружный диаметр катетера — это проконсультироваться с производителем. Калибровочные размеры обычно используются для периферических катетеров, а также для инфузионных каналов многопросветных катетеров.

**Таблица 1.1.** Калибровочные размеры и внешние диаметры периферических катетеров по калибровочной системе (Gauge)\*

Калибр, G	Фактический внешний диаметр, мм	Расчетный внешний диаметр, мм
24	0,650–0,749	0,7
22	0,750–0,949	0,8; 0,9
20	0,950–1,149	1,0; 1,1
18	1,150–1,349	1,2; 1,3
16	1,550–1,849	1,6; 1,7; 1,8
14	1,850–2,249	1,9; 2,0; 2,1; 2,2

\* Международная организация по стандартизации (ISO) 10555-5; 1996 ([www.iso.org](http://www.iso.org)). G — калибровочный размер, Gauge.

### Французская система размеров (Fr)

Французская система измерения сосудистых катетеров (названа в честь страны происхождения) превосходит калибровочную систему из-за своей простоты и универсальности. Французская шкала начинается с нуля, и каждая следующая единица представляет собой увеличение на  $1/3$  (0,33) миллиметра во внешнем диаметре [3], то есть французский размер  $\times 0,33 =$  внешний диаметр (мм). Таким образом, катетер размером 5 французских единиц будет иметь наружный диаметр:  $5 \times 0,33 = 1,65$  мм (таблица французских размеров и соответствующих наружных диаметров включена в приложение 2 в конце книги). Французские размеры могут увеличиваться до бесконечности, но большинство сосудистых катетеров имеют размер от 4 до 10. Французские размеры обычно используются для многопросветных катетеров и для однопросветных катетеров с большим отверстием [например, направляющие катетеры (интродьюсеры), описанные ниже в этой главе].



## Скорость потока в катетере

Стабильный поток ( $Q$ ) через жесткую полую трубку пропорционален градиенту давления ( $\Delta P$ ) вдоль трубки, а константа пропорциональности — это гидравлическое сопротивление потоку ( $R$ ):

$$Q = \Delta P \times 1/R. \quad (1.1)$$

Свойства течения жидкости через жесткие трубки впервые были описаны немецким физиологом (Готтифом Хагеном) и французским врачом (Жаном Луи Мари Пуазейлем), работавшими независимо в середине XIX в. Они оба заметили, что поток ( $Q$ ) через жесткие трубки зависит от внутреннего радиуса трубки ( $r$ ), длины трубки ( $L$ ) и вязкости жидкости ( $\mu$ ). Их наблюдения выражены в приведенном ниже уравнении, известном как уравнение Хагена–Пуазейля [4]:

$$Q = \Delta P \times (\pi r^4 / 8\mu L). \quad (1.2)$$

Это уравнение показывает, что постоянный ток жидкости ( $Q$ ) в жесткой трубке прямо пропорционален четвертой степени внутреннего радиуса трубы ( $r^4$ ) и обратно пропорционален длине трубы ( $L$ ) и вязкости жидкости ( $\mu$ ). Термин, заключенный в скобки ( $\pi r^4 / 8\mu L$ ), эквивалентен обратному сопротивлению ( $1/R$ , как в уравнении 1.1), поэтому сопротивление потоку может быть выражено как:  $R = 8\mu L / \pi r^4$ .

Поскольку уравнение Хагена–Пуазейля описывает ток жидкости через жесткие трубки, его можно использовать для описания тока жидкости через сосудистые катетеры и того, как размеры катетера могут влиять на скорость потока (см. далее).

### *Внутренний радиус и скорость потока*

Согласно уравнению Хагена–Пуазейля, внутренний радиус катетера оказывает серьезное влияние на ток жидкости через катетер (поскольку поток непосредственно связан с четвертой степенью внутреннего радиуса). Это проиллюстрировано на рис. 1.1, на котором показан гравитационный поток крови через катетеры одинаковой длины, но с различными наружными диаметрами [5]. В исследованиях, подобных этому, изменения внутреннего и внешнего диаметра считаются равновеликими. Обратите внимание, что относительное изменение скорости в 3 раза больше, чем относительное изменение диаметра катетера ( $\Delta$ скорость потока/ $\Delta$ диаметр = 3). Хотя величина изменения скорости потока в этом случае меньше, чем предсказано уравнением Хагена–Пуазейля (общее наблюдение с возможными объяснениями, которые выходят за рамки этого текста), наклон графика на рис. 1.1 ясно показывает, что изменение диаметра катетера оказывает заметное влияние на скорость потока.

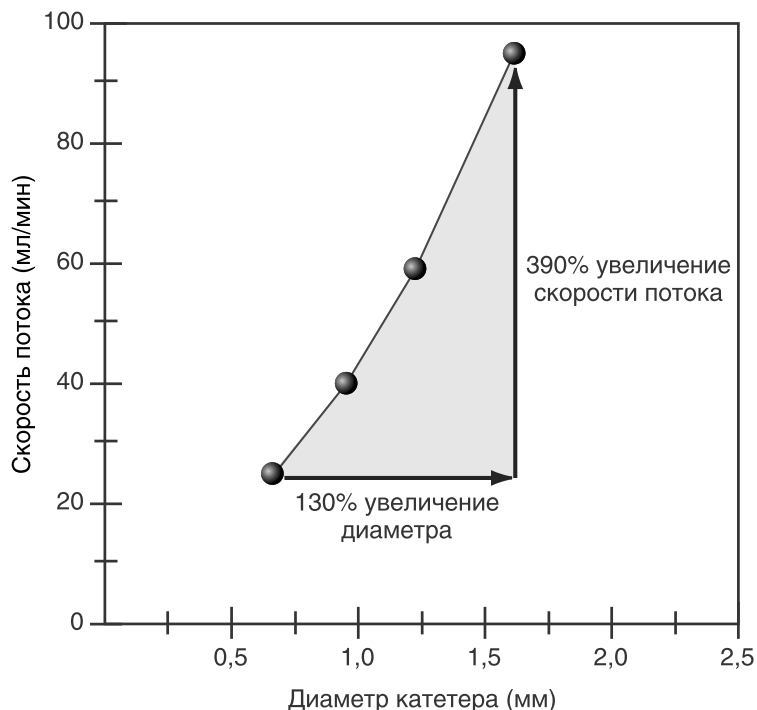


Рис. 1.1. Зависимость скорости потока от внешнего диаметра катетера

### Длина катетера и скорость потока

Уравнение Хагена–Пуазейля указывает, что скорость потока через катетер будет уменьшаться по мере увеличения длины катетера, как это показано на рис. 1.2 [6]. Обратите внимание, что скорость потока в самом длинном (30 см) катетере почти в 2 раза меньше скорости потока в самом коротком (5 см) катетере; в этом случае увеличение длины катетера на 600% связано с уменьшением потока катетера на 60% ( $\Delta$ скорости потока/ $\Delta$ длины = 0,1). Таким образом, влияние длины катетера на скорость потока пропорционально меньше, чем влияние на нее диаметра катетера, что подтверждается уравнением Хагена–Пуазейля.

Сравнение влияния диаметра и длины катетера, подтвержденное уравнением Хагена–Пуазейля и данными рис. 1.1 и 1.2, указывает на то, что при необходимости быстрой и объемной инфузии наилучшим выбором является катетер с большим отверстием, а наиболее оптимальным — самый короткий доступный катетер с большим отверстием. (Дополнительную информацию по этому вопросу см. в главе 11.) Скорости потока, связанные с различными сосудистыми катетерами, представлены в основных разделах этой главы.