

УДК 796.072.2 (075.8)

ББК 75.09

Г34

Перевод с английского *М. В. Прокопьевой*
Научный редактор русского текста *В. П. Пушкарёв*
Художник *Н. А. Раевская*

Г34 Геномика спорта, двигательной активности и питания./ Под общей редакцией Д. Барха и И. И. Ахметова. / Пер. с англ. яз. М. В. Прокопьевой.– М.: Спорт, 2022.– 584 с., ил.

ISBN 978-5-907225-78-7 (рус.)

ISBN 978-0-12-816193-7 (англ.)

В книге впервые предлагается целостный анализ достижений геномики в различных аспектах физической активности и спортивной физиологии, биохимии, спортивной медицины, психологии, антропологии и спортивного питания, подчеркивающий возможность внедрения персонализированных тренировок и управления здоровьем спортсменов. В сборнике представлены результаты исследований более 70 экспертов в данной области из 14 стран.

Для специалистов, тренеров, спортивных врачей, научных работников, преподавателей, аспирантов и магистрантов высших учебных заведений.

УДК 796.072.2 (075.8)

ББК 75.09

Редактор *Т. Н. Прокопьева*
Компьютерная верстка *С. И. Терехов*

Подписано в печать 25.12.2021
Формат 84×108/16
Усл. печ. л. 36,5. Тираж 500 экз.
Изд. № 371
Заказ №

Издательство «Спорт»
117312 Москва, ул. Ферсмана, 5а
Тел.: 8-495-662-64-30, 8-495-662-64-31
E-mail: olimppress@yandex.ru, chelovek.2007@mail.ru
www.olimppress.ru

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография». Филиал «Чеховский Печатный Двор»
142300, Московская обл., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Сайт: www.chpd.ru, e-mail: sales@chpd.ru, тел.: 8 (499) 270-73-59

© 2019 Elsevier Inc.
© Прокопьева М. В., перевод, 2021
© Издательство «Спорт», издание
на рус. яз., оформление, 2022

Содержание

Об авторах	12
------------------	----

РАЗДЕЛ I. СПОРТИВНАЯ ГЕНЕТИКА

1. Введение в генетику спорта и физических упражнений	21
<i>Жоан Пауло Л. Ф. Гильерме и Алехандро Лусия</i>	
1.1. Среда или гены?	21
1.2. Генетика и олимпийская слава: ранние исследования олимпийцев	23
1.3. Феномен спортсменов из Западной и Восточной Африки	25
1.4. Вариабельность генома человека: основные понятия	29
1.5. Методология исследований в генетике спорта и физических упражнений	31
1.6. Пробелы в исследованиях и проект «Athlome»	35
<i>Библиография</i>	36
2. Наследуемость физических качеств	42
<i>Хирофуми Дземпо, Эри Миямото-Миками, Норуюки Фуку и Харука Мураками</i>	
2.1. Введение	42
2.2. Что такое наследуемость?	43
2.3. Наследуемость скоростно-силовых качеств	47
2.4. Наследуемость выносливости	50
2.5. Наследуемость спортивных возможностей	53
2.6. Заключение	54
<i>Библиография</i>	56
3. Гены и предрасположенность к занятиям видами спорта на быстроту и силу	59
<i>Агнешика Мачеевска-Скрендо, Марек Савчук, Павел Ченичик, Ильдус Ахметов</i>	
3.1. Введение	59
3.1.1. D-аллель гена <i>ACE</i>	59
3.1.2. A-аллель rs2854464 гена <i>ACVR1B</i>	63
3.1.3. C (Arg577)-аллель rs1815739 гена <i>ACTN3</i>	63
3.1.4. G (Gly16)-аллель rs1042713 и G (27Glu)-аллель rs1042714 гена <i>ADRB2</i>	64
3.1.5. C (235Thr)-аллель rs699 гена <i>AGT</i>	65
3.1.6. A-аллель rs11091046 гена <i>AGTR2</i>	65
3.1.7. C (Gln12)-аллель rs17602729 гена <i>AMPD1</i>	66
3.1.8. G-аллель rs17664695 гена <i>ARHGEF28</i>	66
3.1.9. A (196Ser)-аллель rs1799938 гена <i>CACNG1</i>	66
3.1.10. G-аллель rs17734766 гена <i>CALCR</i>	67
3.1.11. G-аллель rs8111989 гена <i>CKM</i>	67
3.1.12. C-аллель rs2194938 гена <i>CLSTN2</i>	67
3.1.13. A-аллель rs2887 и C-аллель rs2346061 гена <i>CNDP1</i> и G-аллель rs3764509 гена <i>CNDP2</i>	68
3.1.14. T-аллель rs41274853 гена <i>CNTFR</i>	68
3.1.15. T-аллель rs7458 гена <i>COTLI</i>	69
3.1.16. A-аллель rs1531550 гена <i>CREM</i>	69
3.1.17. T-аллель rs939787 гена <i>DMD</i>	69
3.1.18. G-аллель rs1867785 и C-аллель rs11689011 гена <i>EPAS1</i>	70
3.1.19. C-аллель rs17759424 гена <i>FOCAD</i>	70

3.1.20. Генетические маркеры фолатных путей (С-аллель rs1801131 гена <i>MTHFR</i> , G-аллель rs1805087 гена <i>MTR</i> и G-аллель rs1801394 гена <i>MTRR</i>)	70
3.1.21. А-аллель rs282114 гена <i>GABRR1</i>	71
3.1.22. G-аллель rs10196189 гена <i>GALNT13</i>	71
3.1.23. Т-аллель rs852918 гена <i>GPC5</i>	72
3.1.24. Т (582Ser)-аллель rs11549465 гена <i>HIF1A</i>	72
3.1.25. G-аллель rs7247312 гена <i>HSD17B14</i>	72
3.1.26. Т-аллель rs35767 гена <i>IGF1</i> и С-аллель rs1464430 гена <i>IGF1R</i>	73
3.1.27. G-аллель rs680 гена <i>IGF2</i>	73
3.1.28. <i>IL1RN</i> *2-аллель rs2234663 гена <i>IL1RN</i>	74
3.1.29. G-аллель rs1800795 гена <i>IL6</i>	74
3.1.30. С-аллель rs6942022 гена <i>IP6K3</i>	75
3.1.31. Т-аллель rs1049434 гена <i>MCT1</i>	75
3.1.32. Т-аллель rs7337521 гена <i>MED4</i>	76
3.1.33. А-аллель rs6502557 гена <i>MPRIP</i>	76
3.1.34. Маркеры мтДНК	76
3.1.35. Т-аллель rs2070744 и G (Glu298)-аллель rs1799983 гена <i>NOS3</i>	77
3.1.36. А-аллель rs17721043 гена <i>NRG1</i>	77
3.1.37. С-аллель rs4253778 гена <i>PPARA</i>	78
3.1.38. G (12Ala)-аллель rs1801282 гена <i>PPARG</i>	78
3.1.39. А (482Ser)-аллель rs8192678 гена <i>PPARGC1A</i> и С-аллель rs10060424 гена <i>PPARGC1B</i>	79
3.1.40. G-аллель rs767053 гена <i>RC3H1</i>	79
3.1.41. С (Ala16)-аллель rs4880 гена <i>SOD2</i>	80
3.1.42. А-аллель rs10397 гена <i>SUCLA2</i>	80
3.1.43. С-аллель rs10275875 гена <i>TPK1</i>	80
3.1.44. Т-аллель rs7832552 гена <i>TRHR</i>	81
3.1.45. С (Ala55)-аллель rs660339 гена <i>UCP2</i>	81
3.1.46. С-аллель rs4934207 гена <i>WAPL</i>	81
3.1.47. С-аллель rs11865138 гена <i>ZNF423</i>	82
3.2. Заключение	82
Библиография	83
4. Генетический профиль спортсменов, тренирующих выносливость	91
<i>Екатерина Семенова, Нориюки Фуку, Ильдус Ахметов</i>	
4.1. Введение	91
4.2. Генные варианты, обнаруженные в полногеномных исследованиях	97
4.3. Новые генетические маркеры выносливости	99
4.3.1. А (Met268)-аллель rs699 гена <i>AGT</i>	100
4.3.2. G-аллель rs4950 гена <i>CHRNA3</i>	100
4.3.3. А-аллель rs6566810 гена <i>CNDP2</i>	100
4.3.4. G (105Val)-аллель rs1695 гена <i>GSTP1</i>	101
4.3.5. С-аллель rs1800795 гена <i>IL6</i>	101
4.3.6. Т-аллель rs10497520 гена <i>TTH</i>	101
4.4. Наиболее изученные маркеры	102
4.4.1. I-аллель гена <i>ACE</i>	102
4.4.2. Т (577X)-аллель rs1815739 гена <i>ACTN3</i>	103
4.4.3. А (16Arg)-аллель rs1042713 гена <i>ADRB2</i>	103
4.4.4. С-аллель rs1049305 гена <i>AQP1</i>	104
4.4.5. С (Gln12)-аллель rs17602729 гена <i>AMPD1</i>	104
4.4.6. -9-аллель гена <i>BDKRB2</i>	105

4.4.7. Т-аллель rs12722 гена <i>COL5A1</i>	105
4.4.8. А-аллель rs12594956 и G-аллель rs7181866 гена <i>GABPB1</i>	106
4.4.9. G (63Asp)-аллель rs1799945 гена <i>HFE</i>	106
4.4.10. С (Glu23)-аллель rs5219 гена <i>KCNJ11</i>	107
4.4.11. Т (Glu490)-аллель rs1049434 гена <i>MCT1</i>	107
4.4.12. Н-гаплогруппа и К-гаплогруппа мтДНК (неблагоприятные).	108
4.4.13. G-аллель rs4253778 гена <i>PPARA</i>	108
4.4.14. С-аллель rs2016520 гена <i>PPARD</i>	109
4.4.15 G (Gly482)-аллель rs8192678 гена <i>PPARGC1A</i>	110
4.4.16. А (472Gln)-аллель rs1870377 гена <i>VEGFR2</i>	110
4.4.17. Т (55Val)-аллель rs660339 гена <i>UCP2</i>	111
4.4.18. Т-аллель rs1800849 гена <i>UCP3</i>	111
4.5. Заключение.	112
<i>Библиография</i>	112
<i>Для дополнительного чтения</i>	121
5. Генетика игровых видов спорта	122
<i>Миосотис Массидда, Карла Мария Кало, Павел Ченичик, Наори Кикүти, Ильдус Ахметов, Алун Г. Уильямс</i>	
5.1. Введение.	122
5.2. Модельные характеристики игроков.	123
5.3. Генетические маркеры, связанные с предрасположенностью к занятиям игровыми видами спорта и ключевыми характеристиками игроков	124
5.4. Генетика футбола.	127
5.4.1. Модельные характеристики футболистов	128
5.4.2. Генетические маркеры, связанные с предрасположенностью к занятиям футболом и ключевыми характеристиками футболистов	129
5.4.3. Заключение и дальнейшие направления исследований.	132
5.5. Генетика регби	133
5.5.1. Модельные характеристики регбистов	133
5.5.2. Генетические маркеры, связанные с предрасположенностью к занятиям регби и ключевыми характеристиками регбистов	135
5.5.3. Заключение и дальнейшие направления исследований.	137
5.6. Заключение.	138
<i>Библиография</i>	139
6. Вариабельность митохондриальной ДНК и спортивная деятельность	147
<i>Эри Миямото-Миками, Норюки Фуку</i>	
6.1. Введение.	147
6.2. Характеристика митохондриальной ДНК (мтДНК).	147
6.3. Ранние исследования взаимосвязи полиморфизмов мтДНК с двигательной деятельностью ..	150
6.4. Митохондриальные гаплогруппы и предрасположенность к занятиям спортом	150
6.4.1. Митохондриальные гаплогруппы	150
6.4.2. Митохондриальные гаплогруппы и предрасположенность к занятиям видами спорта на выносливость	151
6.4.3. Митохондриальные гаплогруппы и предрасположенность к занятиям видами спорта на быстроту и силу	154
6.5. Анализ всей мтДНК у элитных спортсменов	156
6.6. Заключение.	158
<i>Библиография</i>	159

7. Психогенетика и спорт	164
<i>Елена Валеева, Ильдус Ахметов, Тим Риз</i>	
7.1. Введение	164
7.2. Психогенетические маркеры и спорт	166
7.2.1. Серотонергическая система	173
7.2.2. Дофаминергическая система	175
7.3. Заключение	176
<i>Библиография</i>	177
<i>Для дополнительного чтения</i>	184

РАЗДЕЛ II. ГЕНЕТИКА ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

8. Гены и реакция на аэробные тренировки	187
<i>Стефано Каньин, Франческо Чемелло, Ильдус Ахметов</i>	
8.1. Введение	187
8.1.1. Генные варианты: ассоциация с реакциями на аэробные тренировки	189
8.1.2. Некодирующие РНК как модуляторы эффекта от физических упражнений	192
8.1.3. Перекрестная связь между длинными некодирующими РНК и здоровьем, обусловленным упражнениями на выносливость	196
8.1.4. Память скелетных мышц: роль эпигенетических модификаций	196
8.1.5. Сигнальные пути, связанные с реакцией на аэробные упражнения (кодирующие гены)	197
8.1.6. Аэробные упражнения и заболевания	198
8.2. Заключение	199
<i>Библиография</i>	200
<i>Для дополнительного чтения</i>	207
9. Влияние полиморфизмов генов на реакцию к силовой тренировке	208
<i>Наоки Кикучи, Хироки Хонма, Коичи Накадзато</i>	
9.1. Введение	208
9.2. Генетические маркеры, связанные с реакцией на силовые тренировки	209
9.2.1. Генотип <i>ACE I/D</i>	209
9.2.2. Генотип <i>ACTN3 R577X</i> отдельно и в сочетании с генотипом <i>ACE I/D</i>	214
9.2.3. Генотип <i>IGF-1</i>	216
9.2.4. Генотип интерлейкина-15 и рецептора интерлейкина-15	217
9.2.5. Генотипы <i>CCL2</i> и <i>CCR</i>	217
9.2.6. Генотип <i>MSTN</i>	218
9.2.7. Генотип <i>B2BRK</i>	219
9.2.8. Генотип <i>PTK2</i>	219
9.2.9. Генотип <i>CNTF</i>	220
9.3. Использование полигенного анализа для индивидуализации тренировочного процесса	220
9.4. Заключение	222
<i>Библиография</i>	223
10. Физические упражнения и метилирование ДНК в скелетных мышцах	229
<i>Адам П. Шарплес, Роберт А. Сиборн</i>	
10.1. Введение	229
10.2. Цели и сфера применения	232
10.3. Аэробные упражнения и метилирование ДНК в скелетных мышцах	233
10.4. Силовые тренировки и метилирование ДНК в скелетных мышцах	237

10.5. Заключение	243
Библиография	243
11. Гены и эффективность снижения жировой массы в ответ на физические нагрузки	248
<i>Агата Леоньска-Дунец, Павел Ченичик, Ильдус Ахметов</i>	
11.1. Введение	248
11.2. Варианты генов и вызванное физическими упражнениями снижение жировой массы	250
11.2.1. Ген <i>FTO</i>	250
11.2.2. Ген <i>MC4R</i>	251
11.2.3. Гены <i>PPARG</i> , <i>PPARD</i> и <i>PPARGC1A</i>	252
11.2.4. Гены <i>LEP</i> и <i>LEPR</i>	253
11.2.5. Ген <i>ADIPOQ</i>	254
11.2.6. Гены <i>ADRB2</i> и <i>ADRB3</i>	255
11.2.7. Ген <i>ACSL1</i>	256
11.2.8. Ген <i>INSIG2</i>	256
11.2.9. Ген <i>FABP2</i>	257
11.3. Заключение	257
Библиография	259
РАЗДЕЛ III. ГЕНЕТИКА СКЕЛЕТНО-МЫШЕЧНЫХ ФЕНОТИПОВ, СВЯЗАННЫХ С ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ	
12. Генетические и эпигенетические детерминанты мышечной массы	267
<i>Михаил Калинин, Светлана Дроздовская</i>	
12.1. Наследуемость мышечной массы	267
12.1.1. Роль молекулярно-генетических маркеров в наследуемости мышечной массы	268
12.1.2. Площадь поперечного сечения	275
12.2. Влияние структурных белков миофибрилл на массу скелетных мышц	276
12.2.1. Факторы роста	276
12.2.2. Некодирующие РНК	278
12.3. Генетически обусловленные изменения мышечной массы под влиянием физической активности	279
12.4. Эпигенетические факторы, влияющие на мышечную массу	280
12.5. Заключение	281
Библиография	281
Для дополнительного чтения	288
13. Генетика гибкости	289
<i>Миосотис Массидда, Наокадзу Миямото, Саманта Бекли, Наоки Кикучи, Норинуки Фуку</i>	
13.1. Введение	289
13.2. Характеристика гибкости	290
13.2.1. Определение понятия «гибкость»	290
13.2.2. Измерения гибкости	291
13.2.3. Факторы, влияющие на диапазон движения и жесткость	293
13.3. Генетические маркеры, связанные с диапазоном движения	294
13.3.1. Диапазон движения и полиморфизм <i>COL5A1</i> rs12722	294
13.3.2. Диапазон движения и генотип <i>ACTN3</i> R577X	297
13.3.3. Генетические маркеры жесткости мышц	298
13.4. Гены и гипермобильность суставов при экстремальных фенотипах	298
13.4.1. Гипермобильность суставов (ГМС)	298

13.4.2. Оценка гипермобильности суставов (ГМС)	299
13.4.3. Типы гипермобильности суставов	299
13.4.4. Спектр	300
13.4.5. Наследственные заболевания соединительной ткани.	300
13.5. Заключение	303
<i>Библиография</i>	304
<i>Для дополнительного чтения</i>	310
14. Генетика состава мышечных волокон.	311
<i>Нориюки Фуку, Хироси Кумагай, Ильдус Ахметов</i>	
14.1. Введение.	311
14.2. Функции мышечных волокон.	312
14.3. Наследуемость состава мышечных волокон.	314
14.4. Влияние возраста, пола и этнической принадлежности на состав мышечных волокон	315
14.4.1. Влияние возраста.	315
14.4.2. Влияние пола	317
14.4.3. Влияние этнической принадлежности	318
14.4.4. Влияние генетических полиморфизмов на состав мышечных волокон	319
14.4.5. Комбинированное влияние полиморфизмов <i>ACTN3 R577X</i> и <i>ACE I/D</i> на состав мышечных волокон в японской популяции	323
14.5. Заключение	324
<i>Библиография</i>	325
РАЗДЕЛ IV. ГЕНЕТИКА ПРОФПАТОЛОГИЙ В СПОРТЕ	
15. Генетика мышечно-скелетных повреждений мягких тканей.	333
<i>Масуда Рахим, Андреа Гиббон, Малкольм Коллинз, Элисон В. Септембер</i>	
15.1. Введение.	333
15.2. Текущий статус	334
15.2.1. Структурные компоненты	335
15.2.2. Регуляторные компоненты внеклеточного матрикса	338
15.2.3. Сигнальные факторы	344
15.3. Полногеномные исследования	348
15.4. Будущие направления	350
15.5. Заключение	351
<i>Библиография</i>	351
16. Генетика сотрясения мозга в спорте	357
<i>Сара Мак Фи, Элисон В. Септембер</i>	
16.1. Введение.	357
16.2. Генетика предрасположенности к сотрясениям мозга.	359
16.2.1. Аполипопротеин Е	363
16.2.2. Тау-белок	365
16.2.3. Тяжелый нейрофиламент.	366
16.2.4. Интерлейкин 6 и рецептор к интерлейкину 6	366
16.2.5. Катехол-О-метилтрансфераза	367
16.2.6. Дофаминовый рецептор D2.	368
16.2.7. Член 4 семейства растворенных носителей 6	368
16.3. Краткое изложение генетики предрасположенности к сотрясению мозга	369
16.4. Генетика последствий сотрясения мозга.	371
16.4.1. Аполипопротеин Е	372

16.4.2. Тяжелый нейрофиламент	377
16.4.3. Глутаматный ионотропный рецептор типа NMDA, субъединица 2A	377
16.4.4. Член 7 семейства транспортеров растворенных веществ 17	378
16.4.5. Интерлейкин 1 β и интерлейкин 6	378
16.4.6. Каспаза 8	379
16.5. Краткое изложение генетики последствий сотрясения мозга	380
16.6. Заключение	381
<i>Библиография</i>	382
17. Ассоциация полиморфизмов генов с повреждениями мышц, вызванных физическими нагрузками и риском получения мышечных травм	391
<i>Филипп Баумерт, Эллиотт С. Холл, Роберт М. Эркин</i>	
17.1. Введение	391
17.2. Часть I: Механизмы, лежащие в основе повреждений мышц, вызванных физическими нагрузками	392
17.3. Полиморфизмы, ассоциированные с мышечными повреждениями	394
17.3.1. Полиморфизм <i>ACE I/D</i>	394
17.3.2. Полиморфизмы <i>IGF2</i> (rs3213221 и rs4244808)	394
17.3.3. Полиморфизмы, связанные с интерлейкиновой системой	395
17.3.4. Полиморфизм <i>SOD2</i> Ala16Val (rs4880)	396
17.3.5. Полиморфизм <i>SPP1</i> –66 T>G (rs28357094)	396
17.3.6. Полиморфизм <i>SLC30A8</i> C>T (rs13266634)	397
17.3.7. Полиморфизм <i>TRIM63</i> (rs2275950)	397
17.4. Часть II: Последствия реакции на мышечные повреждения	398
17.4.1. Полиморфизм <i>ACTN3</i> (rs1815739)	400
17.5. Другие полиморфизмы, ассоциированные с рабдомиолизом	401
17.5.1. Полиморфизм <i>CKM</i> NcoI (T>C) (rs8111989)	401
17.5.2. Полиморфизмы, связанные с <i>MYLK</i>	402
17.6. Другие полиморфизмы, связанные с мышечными повреждениями в результате напряжения	402
17.6.1. Полиморфизм коллаген-кодирующих генов	402
17.6.2. Полиморфизмы <i>CCL2</i>	404
17.6.3. Полиморфизм <i>HIF1A</i> rs11549465	404
17.6.4. Полиморфизмы <i>HGF</i> rs5745678, rs5745697 и rs1011964	405
17.6.5. Полиморфизм <i>MMP3</i> rs679620	406
17.6.6. Полиморфизмы <i>NOS3</i> (rs1799983 и rs2070744)	408
17.6.7. Полиморфизм <i>TNC</i> rs2014772	409
17.6.8. Полиморфизм <i>SOX15</i> rs4227	410
17.7. Итоги и заключение	410
<i>Библиография</i>	411
<i>Для дополнительного чтения</i>	424

РАЗДЕЛ V. НУТРИГЕНЕТИКА, ФАРМАКОГЕНЕТИКА И МЕТАБОЛОМИКА В СПОРТЕ

18. Персонализированное спортивное питание: роль питательных веществ в спортивной деятельности	427
<i>Винченцо Сорренти, Джада Каудулло, Флавио Лучинано, Стефано Фортинджерра, Морена Зуссо, Пьетро Джуссти, Алессандро Буриани</i>	
18.1. Введение в персонализированное питание: «Один размер не подходит всем»	427
18.1.1. Генно-нутриентные взаимодействия: эра нутригенетики и нутригеномики	428

18.1.2. Может ли нутригеномика применяться в персонализированном спортивном питании?	428
18.2. Гены, питательные вещества и нутрицевтики в спортивной деятельности	429
18.2.1. Белки и углеводы	429
18.2.2. Липиды	433
18.2.3. Витамины и минералы	436
18.3. Фитопищевая эпигеномика: роль фитонутриентов в спортивной деятельности	441
18.4. Заключение	443
<i>Библиография</i>	443
<i>Для дополнительного чтения</i>	447
19. Метаболомика и протеомика как инструменты, способствующие пониманию реакций на физические нагрузки: новая роль микробиоты кишечника в здоровье и работоспособности спортсменов	448
<i>Каймари Антони, Боке Нозми, Канела Нурия, Эрреро Пол, Мэйнерис-Першач Жорди, Арола Луис, Франческ Пуиггрос</i>	
19.1. Введение.	448
19.1.1. Новые тенденции в интегративной нутригеномике	448
19.1.2. Омиксы и интегрированные омиксы в продвижении понимания спортивной деятельности	450
19.2. Метаболомика, протеомика и биомаркеры спортивной деятельности	452
19.2.1. Использование метаболомики и протеомики для раскрытия биологических механизмов физической работоспособности и выявления пользы питания.	452
19.2.2. Посттрансляционные модификации ключевых белков энергетического обмена в ответ на физические нагрузки.	456
19.3. Микробиота кишечника в спортивной деятельности	459
19.3.1. Связь между физическими упражнениями и изменениями в микробиоте кишечника и последствиями для иммунной системы.	459
19.3.2. Стрессовое поведение, вызванное физическими упражнениями, и ось «кишечник-мозг-микрофлора»: настроение и усталость	460
19.4. Потенциальное использование эргогенных средств для улучшения спортивных результатов путем воздействия на микробиоту кишечника.	463
<i>Библиография</i>	468
<i>Для дополнительного чтения</i>	475
20. Будущее генетически обоснованных пищевых и фармакологических эргогенных средств в спорте	476
<i>Нэнси С. Гест, Бибиана Гарсия-Байло, Карен Эни, Сара Джоффре, Ахмед Эль-Сохеми</i>	
20.1. Введение.	476
20.1.1. Кофеин.	476
20.1.2. Буферные агенты	479
20.1.3. Углеводные добавки	481
20.1.4. Электролиты	483
20.1.5. Кетонные тела	486
20.1.6. Прием витамина С и коллагена при повреждениях соединительной ткани.	491
<i>Библиография</i>	493
21. Перспективы персонализированных мероприятий по снижению веса на основе данных геномики, нутригеномики, эпигеномики и метаболомики физических упражнений в фитнесе и спорте	502

Каролина Феррейра Николетти, Бруно А. Паренти де Оливейра, Марсела А. Соуза Пинхель, Карла Барбоза Нонино	
21.1. Введение	502
21.2. Изменчивость в ответ на вмешательства, связанные со снижением веса	503
21.2.1. Ген <i>FTO</i>	503
21.2.2. Ген <i>MC4R</i>	506
21.2.3. Ген <i>ACE</i>	506
21.2.4. Гены семейства <i>PPAR</i>	507
21.2.5. Ген <i>LEP</i>	508
21.2.6. Гены <i>ADRB2</i> и <i>ADRB3</i>	508
21.3. Эпигенетические изменения после упражнений для похудения	509
21.4. Метагеномика: как потеря веса в результате тренировок влияет на микробиоту кишечника.	512
21.4.1. Возможные механизмы, связывающие вмешательства по снижению веса с физической нагрузкой и микробиотой кишечника.	516
21.5. Заключение и перспективы на будущее	517
<i>Библиография</i>	517
<i>Для дополнительного чтения</i>	523
22. Благотворное влияние физических упражнений на длину теломер и старение, а также генетику неинфекционных заболеваний, связанных со старением	
Брисамар Эстэбаньез, Паула Родригес-Мигелес, Родриго Фернандес-Гонсало, Хавьер Гонсалес-Гальего, Мария Х. Куэвас	
22.1. Введение.	525
22.2. Длина теломер и старение	526
22.2.1. Механизмы, связанные с укорочением теломер, при старении.	526
22.2.2. Длина теломер и связанные со старением заболевания	530
22.3. Длина теломер и физические упражнения	535
22.3.1. Длина теломер спортсменов разных специальностей	535
22.3.2. Влияние физических упражнений на длину теломер и старение	537
22.3.3. Влияние физических упражнений на длину теломер и связанные со старением заболевания	542
22.4. Заключение	546
<i>Библиография</i>	546
23. Протеомные и метаболомные исследования в спорте и физической культуре	
Фатима Аль-Хелайфи, Давид Абрахам, Ильхаме Дибун, Мохамед А. Эльрайесс	
23.1. Омиксные технологии в спорте	556
23.2. Протеомные исследования в спорте и физической культуре	557
23.2.1. Реакция протеома скелетных мышц и миокарда в ответ на физические нагрузки	558
23.3. Метаболомные исследования в спорте и физической культуре	565
23.3.1. Метаболические изменения у спортсменов, тренирующих выносливость	568
23.3.2. Метаболические изменения у спортсменов, тренирующих быстроту и силу	570
23.3.3. Метаболическое профилирование, связанное с питанием и добавками.	571
23.4. Ограничения омиксных технологий в открытии биомаркеров.	575
23.5. Заключение	575
<i>Библиография</i>	576