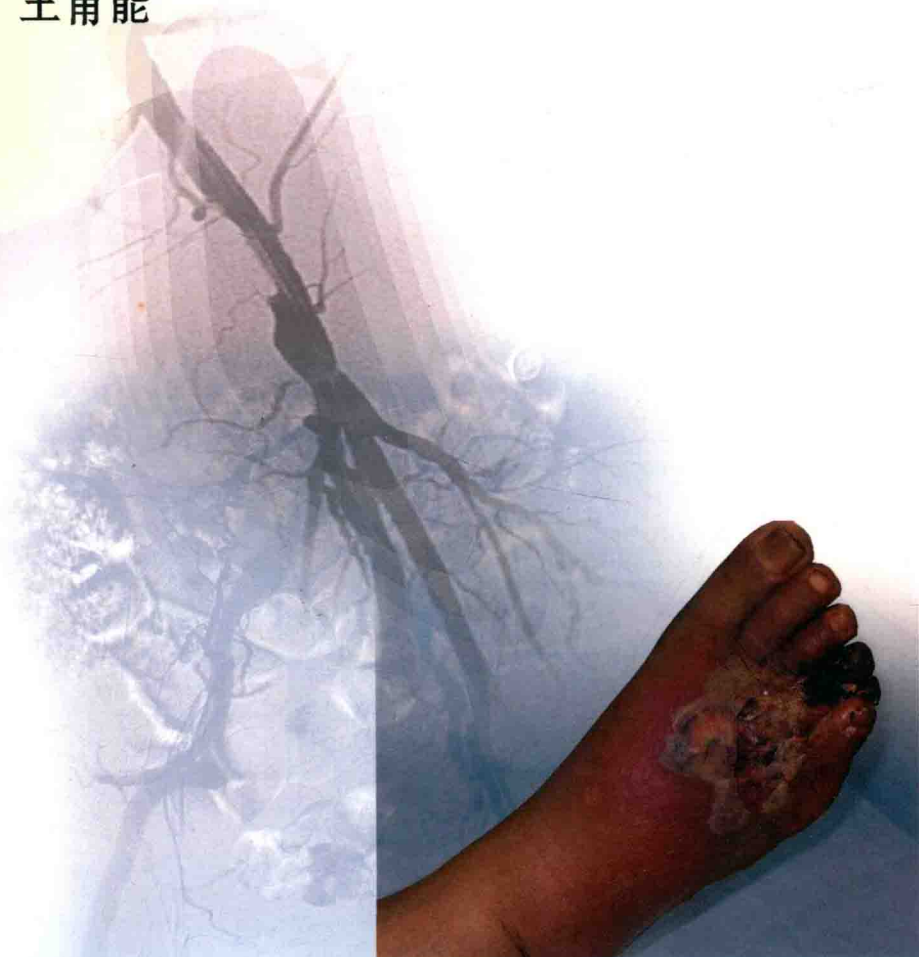


糖尿病足

临床研究图解

主 编 郎江明 魏爱生
副主编 吕丽雪 刘 天
王甫能



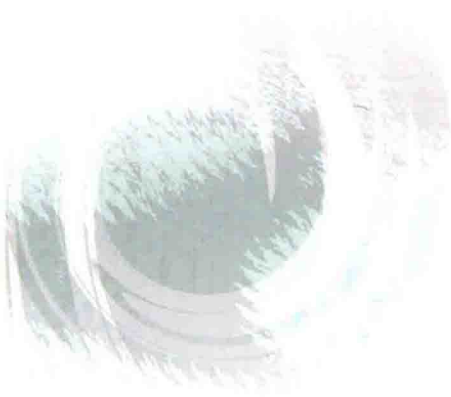
广东省出版集团



广东科技出版社 (全国优秀出版社)

糖尿病足临床研究图解

主 编 郎江明 魏爱生
副主编 吕丽雪 刘 天 王甫能



广东省出版集团
广东科技出版社
· 广 州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

糖尿病足临床研究图解 / 郎江明, 魏爱生主编. —广州:
广东科技出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-5359-6318-5

I. ①糖… II. ①郎… ②魏… III. ①糖尿病足—
诊疗—图解 IV. ①R587.2-64

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第220132号

TANGNIAOBINGZU LINCHUANG YANJIU TUJIE

策划编辑: 陈 兵 郭 飞

责任编辑: 赵雅雅 刘 耕

封面设计: 陈维德

责任校对: 杨峻松

责任印制: 罗华之

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路11号 邮政编码: 510075)

http: //www. gdstp. com. cn

E-mail: gdkjyxb@gdstp. com. cn (营销中心)

E-mail: gdkjzbb@gdstp. com. cn (总编办)

经 销: 广东新华发行集团股份有限公司

印 刷: 广东信源彩色印务有限公司

(广州市番禺区南村镇南村村东兴工业园 邮政编码: 511442)

规 格: 787mm×1 092mm 1/16 印张14 字数280千

版 次: 2014年2月第1版

2014年2月第1次印刷

定 价: 128.00元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

《糖尿病足临床研究图解》

编委会

主 编 郎江明 魏爱生
副主编 吕丽雪 刘 天 王甫能

参加编写人员 陈 苹 何东盈 黄丽容 卢 昉
郎江明 刘俊卿 吕丽雪 劳美铃
刘 天 林 旋 刘晓霞 麦伟华
魏爱生 王甫能 叶建红 誉昭红

作者简介



郎江明

广州中医药大学附属佛山市中医院大内科主任，免疫内分泌实验室（国家二级实验室）主任，国家重点专科糖尿病科学带头人，广州中医药大学硕士研究生导师，中山大学博士后协作导师。中华医学会广东省糖尿病学会副主任委员，中华医学会佛山糖尿病分会主任委员，中国中西医结合内分泌学会常委，广东省中西医结合糖尿病学会副主任委员，中国医师协会内分泌代谢医师分会委员，中国人民政治协商会议佛山市委员会委员，国内3家医学杂志编委，被评为佛山市禅城区“十大科技人物”。荣获“首届佛山市创新领军人才”称号。

在国内外刊物上发表学术论文80余篇，编写了《临床免疫诊断学》（主编），《糖尿病强化治疗学》第一版、第二版、第三版（主编），《常见内分泌疾病诊治》（主编），美国《急诊医学图谱》（主译），《相约名医系列丛书》（总主编）等10部大型专业著作。主持完成了国家、省级科研课题5项，参与国际、国内合作科研课题6项，并获得省、市科技进步奖。多次应邀到美国、法国、德国等国家讲学和参加学术交流。在糖尿病、内分泌疾病及免疫标记技术领域造诣颇深，擅长应用中西医结合方法治疗糖尿病、甲状腺疾病、肾上腺疾病、垂体病变、肥胖等内分泌代谢疾病和免疫系统疾病以及内科疑难杂症，在糖尿病领域享有声誉。



魏爱生

广州中医药大学附属佛山市中医院内分泌科主任，广州中医药大学教授，硕士研究生导师，糖尿病强化治疗中心主任，主任中医师。中华中医药学会糖尿病分会常务委员，广东省中医内科专业委员会副主任委员，广东省中西医结合学会创面处理委员会副主任委员，广东省中西医结合学会中青年工作委员会常委，广东省中医药学会糖尿病专业委员会常委，广东省中西医结合糖尿病专业委员会常委，中华医

学会佛山内分泌学分会副主任委员，广东骨质疏松委员会委员等，国内两家医学杂志编委。先后在国内外著名刊物上发表学术论文30余篇，主编完成出版了《糖尿病强化治疗学》第一版、第二版、第三版（主编），《常见内分泌疾病诊治》（主编），《相约名医系列丛书》中之《健康酒》（主编）、《健康粥》（主编）等多部专著。承担并主持完成了国家、省部级科研课题6项，参与国际、国内合作科研课题4项，获省、市科技进步奖3项。一直从事中西医结合糖尿病，内分泌代谢性疾病诊疗与研究的临床、教学及科研工作，擅长糖尿病及其并发症、代谢综合征、甲状腺疾病、肾上腺疾病、肥胖、代谢性骨病等中西医诊疗。

吕丽雪



主任护师，广州中医药大学附属佛山市中医院内分泌科护士长，广州中医药大学兼职教授，广东省糖尿病专业护理委员会常务委员，广东省教育中心糖尿病护理教育学组成员，佛山市糖尿病护理专业委员会专业组长，获“中国糖尿病教育者”资格认证。2006年荣获“佛山市卫生系统青年岗位能手”。从事糖尿病临床护理和管理工作近16年，在糖尿病足创面处理、胰岛素泵强化治疗护理、糖尿病教育及管理等方面积累了丰富的经验。

刘 天



内科副主任中医师，硕士。从事内分泌科的临床与基础研究10多年，擅长糖尿病及其并发症的中西医治疗。



王甬能

广州中医药大学附属佛山市中医院内分泌科主任医师，教授。广东省糖尿病学会青年委员，佛山市糖尿病学会副主任委员兼秘书，中国内分泌代谢医师协会广东省分会委员，广东省中西医结合创面处理学会委员，广东省中西医结合介入学会常委，《中华临床医师杂志》（电子版）特约编辑。2004年毕业于中山大学附属第一医院，获硕士学位。熟练掌握内分泌疾病的诊治。主要从事糖尿病及其并发症的临床及科研工作，重点进行糖尿病足的临床工作及研究，糖尿病下肢动脉硬化闭塞症的介入治疗。获

得省级课题多项，在中华医学系列杂志等期刊发表论文30余篇。

前 言

目前，随着人民的生活水平的逐渐提高，生活环境和饮食结构的不断改变，糖尿病的发病率逐渐升高。国际糖尿病联盟对糖尿病发病现状与发展趋势的最新预测结果显示：到2025年，我国糖尿病患者总数将接近1亿人。随着糖尿病病程的延长，其相应的并发症也日益增多，糖尿病足是一个致死率和致残率都相当高的并发症。糖尿病足是指因糖尿病患者血管病变和（或）神经病变及感染等因素，导致糖尿病患者足或下肢组织破坏的一种病变，最严重的结局是致残甚至截肢。目前，治疗糖尿病足通常采用控制血糖、改善循环、营养神经和防治感染等内科综合治疗，以及局部清创、放置引流和常规消毒换药等一般外科治疗。近年来，随着血管腔内技术的发展，血管搭桥术、动脉内膜切除术、带蒂大网膜移植术等动脉重建术以及血管介入治疗的普及迅速，使糖尿病并发症的治疗效果进一步提高。但国内在糖尿病足和下肢慢性溃疡处理方面仍较薄弱，临床效果并不理想，治疗时间长，愈合率较低，花费较高。

1990年佛山市中医院内分泌专科成立，创科以来糖尿病专科一直致力于中西医治疗糖尿病及各种并发症的研究，开展了对糖尿病足的诊治并积累了临床经验，吸引了国内外的患者前来诊治，并取得了一定的临床实效。糖尿病专科采用糖尿病足分期外治法，将溃疡分为消肿祛腐期、祛腐生肌早期、祛腐生肌后期、皮肤生长期。在清创的基础上，根据糖尿病足溃疡4个不同阶段的特点，外用中药制剂，局部湿敷伤科黄水、玉红膏纱和黄油纱，取得了较好的临床疗效。近5年开展了糖尿病足血管介入治疗作为糖尿病足治疗的重要手段之一，积累了一定的理论及临床经验。并以糖尿病足的特色治疗为热点连续举办了8期学习班，受到与会同行的欢迎和认可。

糖尿病足治疗作为佛山市中医院糖尿病专科的重点病种，其外治法的优势治疗方案不断得到完善，并被纳入国家中医药管理局重点专科糖尿病足协作组的诊疗方案中。随着专科的治疗经验日臻完善，糖尿病足的诊治人数和治愈率也逐年递增，我们对不同类型的糖尿病足伤口留下了大量详实的图片，对每一个病例，不管成功也好，失败也好，都进行了细致的经验总结，同时形成文字，列入科室的糖尿病足诊疗档案。来自省内外医院的医护人员专门来进修学习糖尿病足的创面处理，他们均觉得受益匪浅，对我们多年总结的资料索求拷贝回去和同事分享学习。这一切都促使我们把多年来治疗的病例整理出来与同行分享，如果其中有可供借鉴及学习的地方，我们将不胜荣幸。更重要的一点，我们衷心希望以此抛砖引玉，让更多的同行可以对我们的诊疗提出宝贵的意见。

本书共分为七章，第一章糖尿病足的流行病学及病因学；第二章糖尿病足的分级分类；第三章糖尿病足的专科检查，包括基本检查，血管病变检查，周围神经病变检查及足底压力测定等；第四章糖尿病足的综合治疗；第五章糖尿病足的创面处理；第六章糖尿病足的常用治疗技术，包括介入、负压封闭引流、超声清创、自体干细胞移植及中医中药外治法等；第七章糖尿病足创面处理图解。

最后，衷心感谢为此书付出辛勤劳动的广东科技出版社郭飞主任和陈维德主任，以及肖蓉、邓志、廖最梅等佛山市中医院内分泌科在读研究生。

郎江明
2013年3月1日禅城

目 录

第一章 糖尿病足的流行病学及病因学	1
第一节 糖尿病足的流行病学	1
第二节 糖尿病患者截肢的流行病学	2
第三节 糖尿病足的卫生经济学	3
第四节 糖尿病足的病因学	4
一、下肢神经病变	4
二、血管病变	6
三、感染	8
四、糖尿病知识缺乏	8
五、足部压力	8
第二章 糖尿病足的分级分类	9
第一节 糖尿病足的分级	9
一、Wagner分级系统	9
二、Texas分级系统	17
三、DEPA评分系统	19
四、Strauss分级	20
五、糖尿病溃疡严重评分	23
六、简单分级系统	24
第二节 糖尿病足分类	26
一、病因分类	26
二、病变性质分类	27
第三章 糖尿病足的专科检查	29
第一节 基本检查	29
第二节 血管病变检查	31
第三节 周围神经病变检查	33

第四节	足底压力测定	36
第五节	下肢血管彩色多普勒超声波图解	37
第六节	下肢血管磁共振血管造影图解	43
第七节	下肢血管造影图解	46

第四章 糖尿病足的综合治疗..... 49

第一节	基础治疗	49
第二节	内科治疗	49
	一、降糖治疗	49
	二、抗感染治疗	50
	三、改善微循环和神经病变	50
	四、支持治疗, 改善低蛋白状况	51
	五、局部清创换药	51
第三节	其他治疗	51
	一、调节血脂	51
	二、控制血压	52
	三、戒烟	52
	四、截肢	52

第五章 糖尿病足的创面处理..... 53

第一节	影响糖尿病足溃疡愈合的因素	53
第二节	糖尿病足创面处理原则	54
	一、把握局部与全身关系	54
	二、转化伤口	54
	三、减轻污染程度, 减小创伤	54
	四、促使伤口闭合痊愈	55
第三节	糖尿病足创面清创	55
	一、外科清创术	55
	二、机械性清创	56
	三、化学性清创	56

四、自溶性清创	57
五、生物性清创	57
六、联合清创	58
第四节 各类糖尿病足创面处理要点	58
一、湿性坏疽的处理	58
二、干性坏疽的处理	58
三、肉芽生长阶段创面的处理	59
四、水疱的处理	60
五、压力性溃疡的处理	60
六、窦道的处理	61
七、假性愈合性结痂的处理	62
第六章 糖尿病足的常用治疗技术	63
第一节 介入治疗	63
一、介入治疗方法	63
二、介入治疗的适应证	63
三、介入治疗的禁忌证	63
四、常用的介入治疗方法	64
第二节 负压封闭引流技术	65
一、负压封闭引流术的特点	65
二、负压封闭引流术的优势	65
三、负压封闭引流术的禁忌证	65
四、负压封闭引流术治疗的装置及图例	66
第三节 超声清创	66
一、超声清创适应证	67
二、超声清创禁忌证	67
三、超声清创仪使用步骤	67
第四节 自体干细胞移植	68
一、适应证	68
二、禁忌证	68

三、移植方法	68
第五节 中医中药外治法	68
一、消肿祛腐期	68
二、祛腐生肌期	69
三、皮肤生长期	70
第六节 糖尿病足综合治疗图解	70
一、湿性坏疽治疗图例	70
二、干性坏疽治疗图例	84
三、混合型坏疽治疗图例	92
第七章 糖尿病足创面处理图解	113
第一节 糖尿病足的治疗与研究	113
第二节 糖尿病足的治疗与发展	148
参考文献	209
附: 糖尿病足减压鞋	211

(28.5%)、脑血管病(24.3%)，吸烟率为38.8%。足溃疡诱因以物理因素(77.7%)为主。足溃疡和(或)坏疽患者中，溃疡以单发(57.3%)、1级和2级溃疡(63.2%)为主，合并坏疽者28.8%，部位多在足趾(88.0%)，干性坏疽居多(49.1%)。足溃疡以混合型溃疡为主(60.4%)，67.9%的溃疡合并感染。糖尿病足患者多为高龄、文化程度低、收入低者；多已合并大血管及微血管病并发症。足溃疡中单发、表浅及缺血溃疡多见，合并感染率高。

天津医科大学代谢病医院资料显示随着年龄增加，糖尿病足的发病率也明显升高，以60~69岁年龄组的发病率最高(37.1%)，其次是70岁以上组(26.4%)和50~59岁年龄组(26.0%)，三组患者占了全部糖尿病足患者的89.5%，可见50岁以后糖尿病足的发病率大幅度提高，且随年龄的增加呈上升趋势。范丽凤等报告35例住院糖尿病患者合并足溃疡率为12.78%，<60岁组足溃疡发生率为11.05%，>60岁组足溃疡发生率为14.44%，足坏疽发生率为3.4%。

第二节 糖尿病患者截肢的流行病学

全球约1.5亿糖尿病患者中，有超过15%的患者将在其生活的某一时期发生足溃疡或坏疽。因糖尿病足造成截肢者是非糖尿病患者的15倍，每年的截肢患者中约有50%发生于糖尿病患者，而这些糖尿病截肢患者中有85%以上是因足部溃疡恶化导致深部感染或坏疽所致。由于糖尿病患者容易造成足部损伤，加之白细胞功能和细胞免疫受损导致抵抗力低下，所以较一般人感染的机会更多。轻度软组织感染常见的致病菌为需氧的链球菌等。当感染侵及深部组织时，较多见的是多种细菌的混合感染，伤口分泌物或拭取物细菌培养常见的是金黄色葡萄球菌，其次是链球菌和大肠杆菌，以及链球菌属和拟杆菌属，厌氧菌和足部真菌感染也常成为细菌入侵的门户。

糖尿病足的截肢率随年龄的增加而具有种族差异。New等报告英国的新诊断糖尿病患者的下肢截肢率为每年47.5/10 000，79例患者(其中59例男性，20例女性)经历94次截肢，其中16次截肢(20.2%)发生在诊断糖尿病1年之内。芬兰的研究显示，经过年龄调整以后糖尿病截肢率男性为34.9/10 000，女性为23.9/10 000；而非糖尿病的男性为3.4/10 000，女性为1.7/10 000，提示糖尿病患者男性和女性其截肢率分别比同性别的非糖尿病患者群高10.3倍和13.8倍。WHO多国多中心研究显示，白人的截肢率为14.2/10 000，亚裔为3.4/10 000。

四川大学华西医院报告糖尿病患者截肢率为9.5%，糖尿病周围血管病变、糖尿病周围神经病变、糖尿病肾病、糖尿病病程是导致糖尿病足发生的主要危险因素。天津医科大学代谢病医院报告糖尿病截肢率为17.3%，右下肢多于左下肢，50岁以上者多于较年轻者。英国的一项关于糖尿病足截肢患者的回顾性研究发现，无论截肢的部位如何，总是右侧高于左侧。可能与大多数人在运动时，尤其起步或停步时，惯用右脚，使右脚负荷较多的压力有关，这点也间接证实机械压力对足溃疡的重要性。采取有针

对性的预防和治疗措施，糖尿病足的截肢率近年有所下降。德国的一项前瞻性研究表明，合适的鞋垫可有效预防糖尿病足发生。

对于严重缺血性糖尿病足患者来说，接受经皮血管成型术比接受血管旁路移植术具有更高的治愈率和肢体挽救率。在一项900例报道中，50%~60%的腘动脉-远端血管旁路术5年通畅率几乎可达76%，5年内可拯救87%的患肢。一组8年367例患者足背动脉旁路手术结果显示，围手术期死亡率为1.8%，85%患者因濒临截肢而存在手术指征。29例（7.5%）在手术后30天内失败，其中19例成功地再次手术。5年随访初期和二期通畅率分别为68%和82%，肢体存活率为87%。糖尿病患者进行动脉重建率为非糖尿病患者7~16倍，年龄段提前非糖尿病患者7年。合并神经病变、手术时是否存在足部溃疡、糖化血红蛋白（HbA_{1c}）水平和年龄均与各阶段糖尿病患者手术结果相关。早期进行周围血管重建能够增强足部微循环，可为神经性和神经缺血性足溃疡更好地提供营养物质和抗生素。动脉重建术后，糖尿病患者有更高的存活率。

第三节 糖尿病足的卫生经济学

糖尿病足是美国、英国等西方国家糖尿病住院的首位原因，给医疗保障系统和医疗保险带来沉重的经济负担。美国非创伤性截肢中的一半是由糖尿病引起的，糖尿病足溃疡和截肢的医疗耗费几乎相当于其余糖尿病并发症的医疗花费总和。Reiber等报告，美国2型糖尿病患者足溃疡的医疗花费为1.5亿美元，平均每例下肢截肢患者医疗花费为24 700美元。英国糖尿病足的医疗花费为1 430万英镑，平均每例患者截肢和应用人工假肢的医疗花费为8 500英镑。瑞典糖尿病足的医疗花费占到整个医疗费用的25%，每例糖尿病足从诊断到愈合平均医疗费用为14 627美元，如果截肢则增加13 700美元。国际糖尿病联盟公布了全球糖尿病下肢并发症的医疗花费：足溃疡为16 580美元，足趾和其他远端的截肢为25 241美元，大截肢为31 436美元，一个足溃疡患者平均2年门诊费是28 000美元。所以预防足溃疡和截肢有很高的费用效益比。

我国糖尿病卫生经济学的研究较少。根据2002年全国11个大城市（北京、上海、南京、西安、重庆等）的调查，无并发症的糖尿病患者住院花费是4 924元。解放军第306医院、武汉市中心医院、哈尔滨医科大学第二医院等医院组织进行的中国部分省市糖尿病足调查及医学经济学分析显示，全国11个省市、14家三级甲等医院糖尿病足溃疡患者平均住院日数为26天，住院总费用为14 906元。206例糖尿病足患者的主要费用的分布为药品费7 661元、检查费2 567元、治疗费1 548元、处置-换药费771元。糖尿病足医疗花费大，以药品花费最多。因此，对于教育程度低、具有心血管危险因素、病程较长的中老年糖尿病患者，加强糖尿病足的教育和增加足部护理知识是必要的。

天津医科大学代谢病医院分析糖尿病足患者的住院费用和住院天数，结果显示糖尿病足溃疡患者平均住院天数为38天，住院总费用18 913元，平均每天花费498元。西

药费（13 174元）在所有住院费用中占的比重最大，其次是治疗费（1 800元）、化验费（1 012元）、床费（638元）等，护理费（189元）所占比重最小。糖尿病足患者的住院费用呈逐年增加的趋势。对照组和截趾组、对照组和截肢组间住院费用比较有显著性差异（ $P<0.05$ ），截趾组和截肢组间住院费用比较无显著性差异（ $P>0.05$ ）。

加强糖尿病足的宣传教育，提高糖尿病患者自我足保健意识和能力。①选择合适的鞋、鞋垫和袜子，定期检查糖尿病患者足病变的危险因素并给予矫正；②对初诊糖尿病患者的糖尿病足危险因素进行评估；③对已有糖尿病足并发症的患者加强护理教育；④积极开展多学科合作；⑤继续开展社区人群的糖尿病及并发症的患病率调查与防治研究工作，都有利于预防和治疗糖尿病足，进而改善糖尿病患者的预后，提高糖尿病患者的生活质量。

（郎江明 刘天 麦伟华）

第四节 糖尿病足的病因学

糖尿病足病的发生是多种危险因素共同作用的结果。其定义是与下肢远端神经异常和下肢远端外周血管病变相关的足部感染、溃疡和（或）深层组织破坏。最常见的后果是慢性溃疡，最严重的结局是致残甚至截肢，大大降低了患者的生存质量，给患者带来极大痛苦及沉重的经济负担。据国外报道，糖尿病患者中约15%有不同程度足溃疡，大约1%的糖尿病患者被截肢。糖尿病足病在许多国家已是截肢的首位原因。因此，在糖尿病发病率迅速增长的今天，糖尿病足病的防治工作必然是我国广大临床医生面临的一个挑战。

从糖尿病足病的定义可以看出，糖尿病足病的病因是糖尿病所致的下肢远端神经异常和下肢远端外周血管病变。糖尿病患者并不是自发地出现溃疡。因此，了解溃疡如何演变，才可使预防溃疡和截肢的方案发挥作用，从根本上防治糖尿病足病。

一、下肢神经病变

糖尿病下肢神经病变，发生在20%~50%的糖尿病患者，包括下肢的痛性神经病变及感觉麻木或感觉缺失。疼痛性病变者夜间疼痛比较严重。正常情况下疼痛和温度感觉可以给人以保护，当糖尿病足病患者下肢感觉麻木或感觉缺失时，这意味着患者缺乏了足保护的本能。多数情况下，神经病变并不直接引起溃疡，但是在无知觉情况下患者容易发生足的损伤。例如：因感觉缺失，使穿了狭小的鞋或鞋内异物而无察觉，或赤足走路，均可引起足部皮肤的破损和溃疡并发生感染；因无知觉，如用过热的水洗脚，可引起足部的烫伤或者溃疡；嵌甲引起的溃疡因感觉缺失而无疼痛，患者不知休息，也不知及时治疗等。糖尿病神经病变也常引起皮肤干燥和在压力大的区域出现胼胝，引起步态的改变，使行走时局部压力增加，在压力大的区域形成溃疡。

糖尿病神经病变主要是由于微血管病变、代谢障碍、氧化应激等所致。糖尿病多

发神经病变时,失去对损伤的保护作用,加之自主神经病变引起无汗和皮肤干裂,形成足部溃疡的病理基础。

1. 微血管病变。糖尿病患者长期糖、脂、蛋白质代谢紊乱,造成血小板黏着和凝集异常、红细胞变形能力降低及聚集性增强、血浆蛋白异常等。血小板黏着和凝集异常可能是引起毛细血管闭塞的重要因素,红细胞变形能力降低及聚集性增强,不能穿过管径细小的毛细血管,加之血浆蛋白如纤维蛋白原等含量升高,使血液黏稠度增大,导致内皮损害。最值得注意的是毛细血管基底膜的增厚,可能与糖尿病和高血糖引发的代谢变化有关,但这不导致毛细血管管腔狭窄,小动脉血流也可以正常甚至有所增加。理论上,足部毛细血管基底膜增厚可以损害创伤后的白细胞迁移和充血反应,这可能增加糖尿病足对感染的易感性。到目前为止鲜有文献报道确切的证据证实此观点。

2. 代谢障碍。高血糖被认为是糖尿病晚期并发症的重要原因。长期高血糖状态导致一系列代谢紊乱,众多代谢产物损伤血管内皮细胞、平滑肌细胞及周围神经轴突,间接影响支持性间充质成分,造成血管和神经的结构和功能改变。

(1) 多元醇代谢异常:当血糖浓度升高时,过量的葡萄糖在醛糖还原酶的作用下还原成山梨醇。一方面,山梨醇不能通过细胞膜而堆积于细胞内,使细胞内渗透压升高,从而导致神经施万细胞和毛细血管细胞水肿、变性和坏死。另一方面,葡萄糖、山梨醇的结构与肌醇相似,竞争抑制细胞对肌醇的摄取与合成,并且持续性高血糖也抑制钠泵依赖性肌醇的转运,使钠泵酶活性明显下降,细胞增生活力下降,最后死亡。

(2) 氧化应激:糖尿病对神经系统的损害主要是由于高血糖引起的代谢和血管内皮功能紊乱,最终导致细胞氧化应激和对线粒体的损害。氧化应激对分裂细胞最显著的作用是导致DNA变性,使基因组不稳定和发生突变,不具备分裂能力的神经元细胞,蛋白质和脂质的损伤要比DNA损伤的后果严重,因为这会使行使轴突转运和信使功能的蛋白质活性下降,而且神经组织对能量需要较高,线粒体DNA对氧化应激易感,可导致能量调节失控。有学者提出,氧气和过氧化物等引起的氧化应激可引起糖尿病大鼠模型坐骨神经的神经内膜小动脉舒张功能障碍、神经传导速度下降。另外,可导致许多神经营养因子如神经生长因子等的减少,从而减弱受损神经纤维的再生能力。

3. 基因学说。近些年,糖尿病性神经病相关基因的研究取得了很大进展。目前已经发现多种与发病有关的基因,其中较受重视的有醛糖还原酶基因、神经生长因子基因及 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATP}$ 酶基因。此外,鞘脂激活蛋白原(Prosaposin)基因、抗氧化酶基因、一氧化氮合酶基因、对氧磷脂酶基因、有丝分裂原活性蛋白酶基因等也与糖尿病性神经病的发生发展有一定关系。白细胞介素-6(IL-6)的G(-174)C基因多态性与2型糖尿病的发生风险有关,血管紧张素转换酶(ACE)I/D的基因存在使女性2型糖尿病患者发生周围神经病的危险性增加,而与男性却没有明显的相关性。目前研究表明糖尿病性神经病是一种多基因参与的复杂疾病,对其候选基因的研究工作还有待进一步进行。