

人工真皮修复材料 研究与转化



夏照帆 肖仕初 余振定 谭荣伟 主编



科学出版社

人工真皮修复材料研究与转化

夏照帆 肖仕初 余振定 谭荣伟 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书首先总结了皮肤的结构与功能以及创面修复技术的发展现状和趋势；随后系统性阐述了 Lando[®]人工真皮修复材料的结构、原理、理化性能、生物相容性和免疫安全性的研究内容。全书密切结合临床实践，就 Lando[®]人工真皮修复材料在深度烧冻伤、外伤性全层皮肤缺损、手外伤创面、小腿及足踝部创面、瘢痕整复创面、慢性创面、其他创面（如恶性皮肤肿瘤切除创面和蛇咬伤创面等）以及特殊性的儿童创面治疗中的应用进行了总结和分析，列举了大量的典型病例，并总结了不同适应证中的临床应用经验；最后就 Lando[®]人工真皮修复材料应用的适应证、禁忌证和临床使用操作规范及注意事项、并发症防治等进行了总结，供临床应用参考。

本书不仅对临床医护人员的临床实践具有重要的指导意义，而且可为从事生物医用材料及相关领域的科研人员、高校教师和研究生提供参考或借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

人工真皮修复材料研究与转化 / 夏照帆等主编. —北京：科学出版社，2020.1

ISBN 978-7-03-062692-9

I. ①人… II. ①夏… III. ①人工合成—真皮—生物材料—研究 IV. ①R318.08

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第233814号

责任编辑：翁靖一 / 责任校对：杜子昂

责任印制：师艳茹 / 封面设计：东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2020年1月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2020年1月第一次印刷 印张：10 3/4

字数：199 000

定价：98.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

编委会名单

主 编：夏照帆 肖仕初 余振定 谭荣伟

编 委 (按姓氏笔画顺序排序)：

丁小珩	马 军	王 欣	王 峰
王甲汉	石胜军	叶朝辉	申传安
冯庆玲	吕国忠	朱世辉	朱达克
朱庆棠	刘 琰	纪世召	李 峰
李志清	李秀忠	李宗瑜	李楚鋈
杨 磊	肖仕初	吴 军	余振定
汪道新	沈运彪	沈余明	陈 旭
陈昭宏	范锜铨	罗高兴	罗鹏飞
邝京宁	郑兴锋	郑勇军	贵道锋
胡大海	胡振生	胡瑞斌	宫可同
姚 刚	夏成德	夏照帆	郭光华
唐洪泰	崔正军	谢卫国	谭荣伟
薛明宇	霍 然	魏在荣	糜菁熠

序

中国作为世界第一人口大国，每年因各种因素导致的皮肤缺损患者众多，其中需要依靠皮肤移植手术治疗的患者占据多数，治疗需求巨大。但是，临床上传统的自体皮移植术是一种“拆东墙补西墙”的办法，容易导致供区形成瘢痕或继发畸形，而且修复面积受自体皮源的限制，从而降低患者的生活质量，增加患者的心理负担和医疗负担。我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》将“人口与健康”列为重点领域，将“先进医疗设备与生物医用材料”确定为优先主题和重点研究方向，提出要开发人体组织器官替代等新型生物医用材料。因此，把握社会经济发展和科学技术发展的战略机遇，发展用于皮肤修复的新型生物医用材料，改善和提高众多皮肤缺损患者的生活质量，对于我国社会经济发展具有重大和长远意义。

人工真皮是一种作为真皮替代物发展起来的生物医用材料，其常见产品含有胶原海绵层和硅橡胶层，分别模拟人体皮肤真皮层和表皮层的功能。自国际首个人工真皮被报道用于临床后，经过三十年来的研究与发展，人工真皮逐渐成为皮肤修复市场的主流选择，但是，该类产品的核心技术主要被欧美等发达国家掌握，我国人工真皮修复技术研究起步较晚。Lando[®]双层人工真皮修复材料历经八年研发和技术积累，2017年被批准上市成为我国首个国产化人工真皮产品，打破了同类产品全部依赖进口、价格昂贵的局面，为皮肤缺损修复和重建提供崭新的选择。在该产品的临床转化过程中，虽有国外已上市产品的临床文献作为参考，但由于国内医疗环境不同，以及人工真皮相关研究处于快速发展阶段，因此这些资料的参考价值有限。

鉴于我国人工真皮修复技术的巨大市场需求以及相关理论指导的欠缺，迫切需要相关的论著来指导人工真皮产品在临床上的应用。在应用 Lando[®]人工真皮修复皮肤缺损创面的过程中，我们的一线临床工作者通过深入研究和探索，积累形成了丰富的临床经验，能够为我国人工真皮修复技术的推广提供更加适宜的指导。该书不仅系统地介绍了皮肤的结构与功能、皮肤修复技术的发展，还系统地阐述了 Lando[®]人工真皮的研究和应用，涉及科室广泛，包括烧伤外科、整形外科、创伤骨科、手足外科、慢性创面科室以及儿科等，适应证也由传统的烧伤及烧伤后瘢痕整形扩大到骨或肌腱外露、撕脱伤、供瓣部位、溃疡、畸形重建及肿瘤切除等其他全层皮肤缺损创面。

该书为众多科研人员和临床医生劳动和智慧结晶，相信该书的出版不仅能够提高医护人员对 Lando[®] 双层人工真皮修复材料的认识，为人工真皮修复治疗新技术的推广提供经验参考，造福广大皮肤缺损患者，还能够为今后人工真皮的改进方向提供思考和启发，推动我国人工真皮修复材料的研究与发展。



中国科学院院士

2019 年 10 月

前 言

皮肤是机体与外界环境之间的屏障，具有防止体液丢失、阻止微生物入侵、调节体温等多重生理功能。但是各种外界因素如车祸、火灾，以及某些病理因素，例如糖尿病、皮肤肿瘤等，可导致皮肤的毁损或缺失，破坏皮肤的正常生理功能，严重时甚至危及生命。人工真皮修复材料是基于组织工程学发展起来的一种真皮缺损修复材料，自 20 世纪 90 年代第一个人工真皮产品用于临床后，人工真皮修复材料及其应用得到了很大的发展，种类不断丰富，临床适应证愈加广泛，为皮肤缺损患者提供了治疗新手段。国产首个人工真皮——Lando[®]人工真皮修复材料于 2017 年获国家Ⅲ类医疗器械注册证，其具有引导真皮再生，恢复外观功能和减少瘢痕形成，减轻供区损伤的优点，在深度烧伤、冻伤、外伤性全层皮肤缺损、骨肌腱外露等创面的治疗以及疤痕整复中均获得了良好的修复效果。国内其他一些人工真皮产品也正处于研究转化阶段。然而，目前国内尚无人工真皮修复材料的相关专著出版，人工真皮修复技术在国内尚未得到很好的普及和推广。为此，作者对 Lando[®]人工真皮修复材料的设计、研发和转化工作进行了系统性总结，该书介绍了人工真皮修复材料的结构、原理和性能，并结合 Lando[®]人工真皮修复材料的临床实践，详细总结了其在各类创面的应用经验和体会，期望能给广大临床工作者提供参考，并为人工真皮修复材料的研发带来启发和思考。

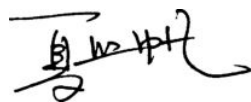
全书共分为 12 章：第 1 章，创面修复材料与技术概述；第 2 章，人工真皮修复材料概述；第 3 章，人工真皮修复材料性能研究；第 4 章，人工真皮修复材料在深度烧冻伤创面治疗中的应用；第 5 章，人工真皮修复材料在外伤性全层皮肤缺损治疗中应用；第 6 章，人工真皮修复材料在手外伤创面治疗中的应用；第 7 章，人工真皮修复材料在小腿及足踝部创面治疗中的应用；第 8 章，人工真皮修复材料在瘢痕整复创面治疗中的应用；第 9 章，人工真皮修复材料在慢性创面治疗中的应用；第 10 章，人工真皮修复材料在其他创面治疗中的应用；第 11 章，人工真皮修复材料在儿童创面治疗中的应用；第 12 章，人工真皮修复材料临床使用操作规范。

在此感谢所有作者的努力付出，他们在完成大量的临床工作和科研工作之余，抽出时间参与本书的撰写。本书还参考、总结了国内外相关研究成果，在此向相关作者表示感谢。作者还要感谢科学出版社相关领导和编辑团队的大力支持，使得此书得以顺利出版。

最后，诚挚感谢科技部国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项

“主动诱导组织重建的新型真皮替代物研发”(项目编号: 2018YFE0194300)、深圳市发改委战略性新兴产业发展专项“人工真皮修复材料规模化标准制造中试关键技术研发及生产线建设”(深发改[2019]561号)、深圳市科创委技术攻关项目“快速修复大面积皮肤损伤细胞喷雾系统关键技术研发”(项目编号: JSGG20180504170419462)、广东省兰度再生医学院院士工作站、广东省医用高分子植入材料工程技术研究中心和深圳市医用高分子植入材料工程技术研究中心等项目经费和平台对本书出版的支持。

由于人工真皮修复材料相关研究不断深入,加之作者经验和时间有限,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请同行专家和广大读者批评指正!



中国工程院院士

2019年10月19日

目 录

序

前言

第 1 章	创面修复材料与技术概述	1
1.1	皮肤的结构与功能	1
1.1.1	皮肤的结构	1
1.1.2	皮肤的功能	4
1.2	皮肤缺损覆盖与修复	5
1.2.1	天然创面覆盖物	7
1.2.2	人工合成创面覆盖物	8
1.2.3	创面移植术	9
1.3	皮肤组织工程支架材料与技术的发展及应用	12
1.3.1	组织工程表皮	12
1.3.2	组织工程真皮	12
1.3.3	组织工程复合皮肤	16
1.3.4	皮肤组织工程展望	17
	参考文献	18
第 2 章	人工真皮修复材料概述	25
2.1	人工真皮简介	25
2.1.1	材料构成、结构与适应证	26
2.1.2	作用机理	27
2.2	适应证和禁忌证的探讨	31
	参考文献	32
第 3 章	人工真皮修复材料的性能研究	33
3.1	概述	33
3.2	关键理化性能研究	33
3.2.1	上层理化性能研究	34
3.2.2	下层理化性能研究	35
3.3	生物相容性评价研究	36
3.3.1	概述	36
3.3.2	生物相容性评价	36

3.4	免疫安全性研究	46
3.4.1	免疫原性体外研究	46
3.4.2	小鼠免疫原性试验研究	47
3.4.3	临床免疫研究	58
3.5	灭菌工艺研究	58
3.5.1	概述	58
3.5.2	常用灭菌方法	58
3.5.3	高能电子束灭菌	59
3.6	动物实验研究	59
3.6.1	概述	59
3.6.2	体内降解研究	60
	参考文献	66
第4章	人工真皮修复材料在深度烧冻伤创面治疗中的应用	68
4.1	绪论	68
4.2	病例展示	68
4.3	本章小结	76
	参考文献	77
第5章	人工真皮修复材料在外伤性全层皮肤缺损创面治疗中的应用	78
5.1	绪论	78
5.2	病例展示	78
5.3	本章小结	83
	参考文献	86
第6章	人工真皮修复材料在手外伤创面治疗中的应用	87
6.1	绪论	87
6.2	病例展示	87
6.3	本章小结	99
	参考文献	101
第7章	人工真皮修复材料在小腿及足踝部创面治疗中的应用	102
7.1	绪论	102
7.2	病例展示	102
7.3	本章小结	112
	参考文献	113
第8章	人工真皮修复材料在瘢痕整复创面治疗中的应用	114
8.1	绪论	114
8.2	病例展示	114

8.3 本章小结	121
参考文献	122
第 9 章 人工真皮修复材料在慢性创面治疗中的应用	123
9.1 绪论	123
9.2 病例展示	124
9.3 本章小结	128
参考文献	129
第 10 章 人工真皮修复材料在其他皮肤创面治疗中的应用	130
10.1 绪论	130
10.2 病例展示	131
10.3 本章小结	134
参考文献	135
第 11 章 人工真皮修复材料在儿童创面治疗中的应用	136
11.1 绪论	136
11.1.1 儿童创面特殊性以及人工真皮在儿童创面的应用现状	136
11.1.2 人工真皮在儿童创面应用的优势和不足	137
11.2 病例展示	138
11.3 本章小结	147
参考文献	148
第 12 章 人工真皮修复材料临床使用操作规范	149
12.1 术前准备	149
12.1.1 手术室要求	149
12.1.2 产品使用规格及数量估算	149
12.1.3 无菌要求	149
12.2 手术操作	149
12.2.1 清创	150
12.2.2 浸泡	150
12.2.3 贴附和裁剪	150
12.2.4 固定	151
12.2.5 包扎	151
12.2.6 换药	151
12.2.7 分离	152
12.2.8 自体皮移植	152
12.3 人工真皮移植术后护理	152
12.3.1 安放和移动患者	152

12.3.2 康复治疗	153
12.4 手术问题及解决方案	153
12.5 并发症及处理措施	154
12.5.1 血肿	154
12.5.2 积液	155
12.5.3 感染	155
12.5.4 人工真皮血管化不良	155
参考文献	156
关键词索引	157



1.1 皮肤的结构与功能



1.1.1 皮肤的结构

皮肤是人体最大的器官，覆盖于身体表面，是阻隔外界侵害的最大屏障，具有保护、感觉、体温调控、分泌/排泄、吸收、物质代谢和局部免疫等功能^[1]。人体不同部位的皮肤厚度不同，一般为 0.5~4.8mm^[2]。

皮肤是一个复杂的多层结构器官，从外到内依次由表皮层、真皮层和皮下组织三部分组成^[3]，此外还包括毛发、指(趾)甲、皮脂腺和汗腺等诸多具有特殊功能的附属器，以及血管、神经、肌肉和脂肪等其他组织^[4]，如图 1-1 所示。

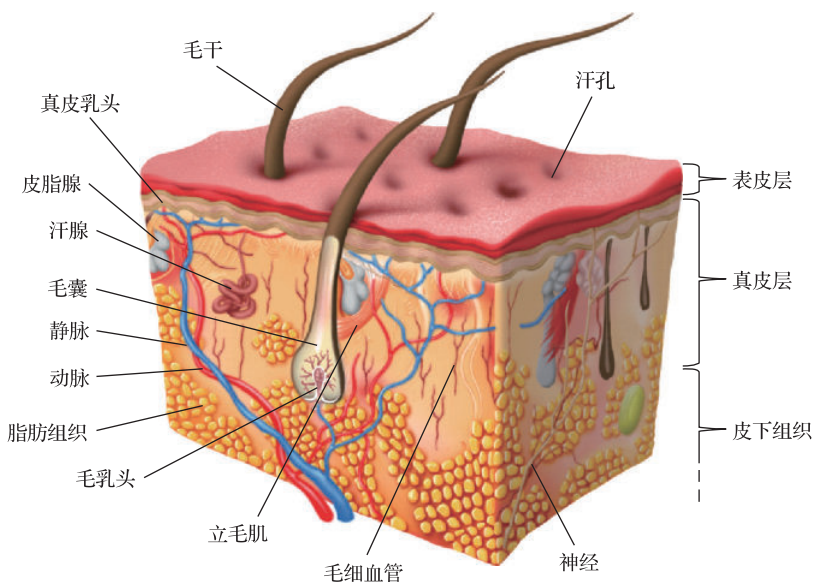


图 1-1 人体皮肤结构示意图

1.1.1.1 表皮层

表皮层处于皮肤最外层,厚度为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ ^[5],几乎不含血管、淋巴管和神经组织。表皮层主要起保护和免疫的作用。表皮也是多层结构,由表至里包括角质层、透明层、颗粒层和生发层^[6]。有些部位表皮的生发层又可分为棘状细胞层和基底细胞层。表皮层主要细胞群为角质形成细胞,除此之外还有少量的黑色素细胞、朗格汉斯细胞和默克尔细胞^[7]。表皮基底层及毛囊的外毛鞘内含有表皮干细胞,它具有持续增殖分化潜能,使得表皮终身不断地进行新陈代谢,从而维持外层细胞的死亡脱落与基底干细胞分裂形成新表皮细胞之间的平衡^[8]。人体正常表皮的更替周期约为 28 天,更替周期一般与表皮厚度呈正比^[9]。

1.1.1.2 真皮层

真皮层处于表皮层的下方,与其紧密相连。厚度为 $1\sim 4\text{mm}$,不同部位真皮厚度不同^[10]。真皮层由中胚层分化而来,呈不规则的致密结缔组织形态,承担了皮肤的感觉、体温调节、分泌/排泄、吸收、物质代谢和免疫等重要功能^[11,12]。

真皮层由外至里可分为乳头层和网状层^[13]。乳头层为波浪形乳头状隆起,与表皮基底层交错相接,这些乳头隆起部位聚集非常多毛细血管和毛细淋巴管,以及神经末梢和触觉小体;网状层位于乳头层下方,包含弹性纤维、网状纤维和胶原纤维,呈网状交错分布,还含有较大的血管、淋巴管、神经和附属器,纤维之间含有少量基质和细胞。细胞种类丰富,包括:纤维细胞、巨噬细胞、淋巴细胞、肥大细胞、朗格汉斯细胞、噬色素细胞和真皮树枝状细胞等^[14]。

胶原纤维、网状纤维及弹性纤维之间相互交错形成一个网状支架结构,使皮肤具有一定的弹性、韧性和饱满度^[15]。

1.1.1.3 皮下组织

皮下组织位于真皮层下方,与肌肉、筋膜、腱膜或骨膜等组织相连。厚度较真皮层厚,随部位、性别和营养状态不同而有所差异。皮下组织包含有疏松的结缔组织和脂肪小叶,也称皮下脂肪层,具有良好的弹性,可以缓冲外界压力以保护身体器官和维持体温。除脂肪外,还分布着大量的血管、淋巴管、神经和汗腺等^[16]。

1.1.1.4 附属器

皮肤附属器由外胚层分化而来,包括毛发、皮脂腺、汗腺和指(趾)甲等,承担皮肤的特殊功能^[17]。

1) 毛发

人体表面除手掌和足底外，基本都生长了毛发，起保护身体的作用。毛发的形态因年龄、部位、性别和种族等因素而有所区别^[18]。毛发由毛囊、毛根和毛干构成。毛干在皮肤外表，而鞘状毛囊和毛根则位于真皮层。毛干与毛囊下端形成毛球，其凹陷处与血管及神经末梢相连，是毛发的营养通道^[19]。

2) 皮脂腺

皮脂腺是皮肤的重要分泌腺体之一，存在于大多数皮肤中，仅手掌、足底和足背等少数部位缺乏。皮脂腺由分泌部和导管部构成，分泌部位于真皮层，靠近毛囊，导管部位于毛囊与立毛肌之间，导管开口于毛囊上端或皮肤表面，立毛肌收缩触发皮脂腺排出皮脂，对皮肤及毛发起柔润保护作用^[20,21]。

3) 汗腺

汗腺也是人体的重要腺体之一，是皮肤的“呼吸通道”，由腺体分泌部和导管部构成，螺旋盘绕状的分泌部位于真皮层和皮下组织中。根据分布部位、分泌物及腺体结构的不同，汗腺可分为大汗腺和小汗腺两种。大汗腺又称顶泌汗腺，导管开口于毛囊上端或皮肤表面^[22]，主要位于乳晕、腋窝和会阴处，受肾上腺皮脂激素调控，分泌水和脂类物质，经细菌分解后形成不饱和脂肪酸，具有特殊的臭味^[23]。小汗腺又称外泌汗腺，分布于全身各处^[24]，导管开口于皮肤表面的汗孔，受神经系统支配，排出水和离子等代谢物，调节人体体温和无机盐平衡^[25]。

4) 指(趾)甲

指(趾)甲是皮肤的一种特殊附属器，由表皮角质层细胞增厚形成的多层板状结构。主要分为甲板和甲根，甲板即为我们日常俗称的指(趾)甲，其暴露于皮肤外面，甲板下面的组织为甲床，其近端的甲根藏在皮肤深部，为甲床提供营养^[26]。指(趾)甲犹如“盾牌”，可以保护手指和足趾末端，另外还能反映身体状态^[27]。

1.1.1.5 其他组织

除了表皮层、真皮层、皮下组织和附属器，皮肤中还存在大量肌肉、神经、血管和淋巴管等其他系统的组织^[28,29]。皮肤较粗的动脉和静脉血管分布于皮下组织和真皮网状层下部，毛细血管则分布于网状层上部至乳头层，上下交错形成血管网，为皮肤提供营养传输^[30]。皮肤淋巴管基本沿着血管走向，由真皮乳头层的毛细淋巴管逐渐汇集成较粗的淋巴管，流入相应的淋巴结，构成皮肤的淋巴免疫系统^[31]。

皮肤及皮下组织的肌肉分横纹肌和平滑肌两种^[32]。横纹肌主要为面部的表情肌和颈部的颈阔肌；平滑肌最常见的为立毛肌，除立毛肌外，真皮层和皮下组织血管、腺体旁也含有平滑肌。皮肤肌肉的作用是在自主神经的支配下，完成身体自主运动反射^[33]。皮肤的神经主要分为感觉神经和运动神经。来自脑脊神经的感觉神经末梢使皮肤具有触觉、温觉、冷觉、痛觉和压觉等^[34]；来自交感神经节后

纤维的运动神经分布于皮肤附属器周围，主要支配立毛肌等肌肉活动^[35]。

1.1.2 皮肤的功能

皮肤具有屏障功能、感觉功能、体温调节功能、吸收功能、分泌/排泄功能、代谢功能和免疫功能等七大生理功能^[36,37]。

1.1.2.1 屏障功能

皮肤首先起到保护人体、屏蔽外界伤害的作用，能屏蔽物理性损伤、化学性损伤、防御微生物侵入并能防止营养物质丢失^[38]。

对于物理性损伤，皮肤真皮层和皮下脂肪层具有弹性缓冲作用；皮肤最表面的致密角质层加强皮肤的耐磨性；皮肤黑色素能吸收紫外线，防止紫外线损伤。对于化学性损伤，皮肤角质层细胞具有抗弱酸弱碱的作用。对于微生物侵入，致密的角质层能抵挡较大体积微生物，角质层弱酸的环境不利于一部分微生物寄居，已经寄居表层的微生物能随角质层定期脱落。此外皮肤表面马色拉菌等寄居菌产生的脂酶，能杀死葡萄球菌、白念珠菌和链球菌等。除了防御，皮肤通过神经控制毛孔张合，能有效控制水分丢失；同时角质层具有半透膜性质，还能预防体内营养和电解质流失^[39]。

1.1.2.2 感觉功能

皮肤感觉灵敏，表皮下方分布着大量感觉神经和运动神经末梢，受到外界刺激后，能通过神经传导，达到大脑皮层并进行分析处理，产生痛(痒)、冷、温、压和触等单一感觉以及糙、滑、湿、硬和软等复合感觉，并引起相应的神经反射^[40]。此外，通过触摸，皮肤还具有形体觉、定位觉和两点辨别觉^[41,42]。

1.1.2.3 体温调节功能

皮肤是维持体温恒定的重要阀门^[43]。皮肤是温热的调节器，通过皮肤毛细血管缩张，以及汗液分泌的多少来适应外界气温的变化，保持体温恒定。遇到冷应激时，交感神经刺激引发血管收缩，动静脉吻合关闭，血流放缓，皮肤减少散热，毛孔关闭，以维持体内温度；遭遇热应激时血管舒张，动静脉吻合开启，血流加速，皮肤增加散热，毛孔打开，排除体内热量^[44]。

1.1.2.4 吸收功能

皮肤具有吸收外界物质的功能，主要通过角质层、皮脂腺、汗腺通道和毛囊进行吸收^[45]。影响皮肤吸收功能的因素很多，皮肤的部位和结构、被吸收物质的性质和外界温湿度环境，都影响皮肤吸收的效率^[46]。经皮吸收是皮肤局部药物治疗的理论依据^[47]。

1.1.2.5 分泌/排泄功能

皮肤通过大、小汗腺的汗液分泌和皮脂腺的皮脂排泄来调控体温,此外这些腺体还具有排泄一定量的废物的作用^[48]。大汗腺分泌液呈乳状,较普通汗腺黏稠,经细菌发酵后具有特殊的气味特征,在青春期后期或情绪激动时分泌增加。目前大汗腺生理功能尚不明确,可能类似动物的气味交流信号。小汗腺分泌的汗液 99% 为水分^[49],还有 1% 的成分为钠盐、钾盐、尿素和乳酸^[50],汗液分泌对于人体调节水分和电解质平衡至关重要。

皮脂腺主要分泌胆固醇酯、甘油三酯等脂类混合物^[51],在表皮形成保护角质层的皮脂膜。

1.1.2.6 代谢功能

皮肤除了含有大量水分外,还储存了脂肪、蛋白质、糖和维生素等物质^[52],并参与人体的新陈代谢^[53]。

皮肤中的糖类包括多糖、黏多糖和葡萄糖,为皮肤细胞工作提供所需能量。皮肤中葡萄糖含量约为血糖的 2/3,以表皮层含糖量最高。糖尿病患者皮肤含糖量升高,易发生真菌和细菌感染^[54]。

皮肤中的蛋白质主要包括纤维性和非纤维性蛋白质两种,角蛋白为最重要的纤维性蛋白质之一,主要由皮肤角质形成细胞和毛囊上皮细胞代谢产生^[55]。

皮肤中的脂类一般指脂肪和类脂质两种,脂肪在皮下具有储存和释放能量功能,而类脂质是细胞膜的主要成分,以及某些生物活性物质的合成原料^[56]。

皮肤还可存储大量水分和电解质,可以间接反映全身水、电解质情况的变化。

1.1.2.7 免疫功能

皮肤也是人体的重要防火墙,是全身免疫系统的重要组成部分。皮肤主要通过免疫分子和免疫细胞实现其免疫功能^[57]。免疫分子包括:免疫球蛋白、细胞因子、神经肽和补体^[58];免疫细胞主要包括:淋巴细胞、吞噬细胞、肥大细胞和朗格汉斯细胞^[59]。皮肤免疫系统的启动和应答需要免疫分子和免疫细胞的联合参与^[60]。

1.2 皮肤缺损覆盖与修复



当皮肤遭受热力烧伤、化学烧伤、外力损伤、电烧伤和辐射损伤等外界因素损伤,或局部瘢痕、肿瘤癌变和慢性病等内在因素的侵害时,可导致皮肤的有序