



著者 [意] Carla Stecco
主译 王行环 贺大林 魏强

人体筋膜系统 功能解剖图谱

FUNCTIONAL ATLAS *of the*
HUMAN FASCIAL
SYSTEM

English Language Editor: Warren Hammer
Forewords by Andry Vleeming & Raffaele De Caro

 北京科学技术出版社



著 者 [意] Carla Stecco

主 译 王行环 贺大林 魏 强

副主译 孟详喻 曾宪涛

人体筋膜系统 功能解剖图谱

 北京科学技术出版社

ELSEVIER

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65) 6349-0200

Fax: (65) 6733-1817

Functional Atlas of the Human Fascial System, I/E
Copyright © 2015 by Elsevier Ltd. All rights reserved.
ISBN-13: 9780702044304

This translation of Functional Atlas of the Human Fascial System, I/E by Carla Stecco was undertaken Beijing Science & Technology Publishing Co. Ltd and is published by arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

Functional Atlas of the Human Fascial System, I/E by Carla Stecco 由北京科学技术出版社进行翻译, 并根据北京科学技术出版社与爱思唯尔(新加坡)私人有限公司的协议约定出版。

人体筋膜系统功能解剖图谱(王行环 贺大林 魏强 主译)

ISBN: 978-7-5304-9123-2

Copyright 2017 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at the website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. (other than as may be noted herein)

注 意

本译本由Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 和北京科学技术出版社完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。由于医学科学发展迅速, 临床诊断和给药剂量尤其需要经过独立验证。在法律允许的最大范围内, 爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任, 亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

Published in China by undertaken Beijing Science & Technology Publishing Co. Ltd under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

著作权合同登记: 图字01-2017-2605号

图书在版编目(CIP)数据

人体筋膜系统功能解剖图谱 / (意) 卡拉·斯德科 (Carla Stecco) 著; 王行环, 贺大林, 魏强主译. —
北京: 北京科学技术出版社, 2017.8

书名原文: Functional Atlas of the Human Fascial System

ISBN 978-7-5304-9123-2

I. ①人… II. ①卡… ②王… ③贺… ④魏… III. ①筋膜—解剖—图谱 IV. ①R322.7-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第156560号

人体筋膜系统功能解剖图谱

作 者: [意] Carla Stecco

主 译: 王行环 贺大林 魏 强

责任编辑: 于庆兰

责任印制: 李 茗

图文制作: 北京永诚天地艺术设计有限公司

出 版 人: 曾庆宇

出版发行: 北京科学技术出版社

社 址: 北京西直门南大街16号

邮政编码: 100035

电话传真: 0086-10-66135495 (总编室)

0086-10-66113227 (发行部)

0086-10-66161952 (发行部传真)

电子信箱: bjkj@bjkjpress.com

网 址: www.bkydw.cn

经 销: 新华书店

印 刷: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

开 本: 889mm × 1194mm 1/16

字 数: 633 千字

印 张: 24

版 次: 2017年8月第1版

印 次: 2017年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5304-9123-2/R · 2340

定 价: 248.00元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。

京科版图书, 印装差错, 负责退换。

译者名单

译者 (按姓氏拼音排序)

- | | |
|-----|----------------|
| 陈劲草 | 武汉大学中南医院 |
| 戴冀斌 | 武汉大学人体解剖学教研室 |
| 龚侃 | 北京大学第一医院 |
| 郭中强 | 武汉大学中南医院 |
| 贺大林 | 西安交通大学第一附属医院 |
| 刘同族 | 武汉大学中南医院 |
| 孟详喻 | 武汉大学中南医院 |
| 裴斌 | 湖北医药学院附属襄阳医院 |
| 彭谋 | 中南大学湘雅二医院 |
| 任学群 | 河南大学淮河医院 |
| 尚政军 | 武汉大学口腔医院 |
| 孙万群 | 复旦大学附属中山医院徐汇医院 |
| 王行环 | 武汉大学中南医院 |
| 魏强 | 四川大学华西医院 |
| 吴开杰 | 西安交通大学第一附属医院 |
| 曾宪涛 | 武汉大学中南医院 |

秘书 孟详喻

序言一

我眼前此书是一本全新的人体筋膜系统解剖图谱。其着力于探讨筋膜与肌肉组织的统一性及有效传导躯体负荷相互作用时的关联性。我相信，本书将有助于我们更好地理解人体的奥秘。

为便于读者理解躯体构成，经典的解剖学图谱将人体按照区域及横截面进行划分。由于不同组织间的相互作用，着眼单个组织以试图了解错综复杂的人体并不利于恰当地分析躯体如何发挥功能。此外，支持着整个骨骼系统的筋膜、韧带和肌肉组成了网络以传导躯体所负荷的机械应力。

不同于局部解剖学，功能解剖学应呈现肌肉与肌肉、内部骨骼、外部筋膜之间作为整体相互作用的必要信息。而这些常被传统大体解剖所忽略。肌肉收缩与相关结构被动作用所产生的应力和作用时间使关节在不同角度自由运动。肌肉系统作为感受器官与相关被动结构互相作用，产生反馈信息进而调控该系统。

不同的肌肉筋膜结构拥有不同的弹性系数，构成了错综复杂的躯体：从表层的皮肤到骨骼之间，结缔组织可被拉伸及挤压的性能尤为特殊。将之综合在一起，探讨其物理性质及功能是理解人体各种复杂功能的必要前提。

这部全新的图谱有助于我们理解躯体独特的构造，以及我们如何通过各种各样的运动传达信息。它将为我们的视角来探寻这一奇迹。

第一章的精彩概述让我们对全书充满期待。作者积十余年之功，在本章描述了整个躯体筋膜结构。

读者阅读此书时，会看到一个崭新的世界——精美的彩图配上精确的文字，打通了整个解剖学。

本书作者出生于科学和医学世家。Carla Stecco教授的众多不朽篇章，阐明了筋膜在运动系统中实体功能学的概念。

我很荣幸认识Stecco教授，多年来，钦佩于她对学术追求的高标准、严要求。本书每一章都

呈现出了这种高水准。有了献身科学的人们，有了精准的实体解剖，以及描绘这些的卓越才能，才使我们得以理解人体的五彩缤纷。

进行精确的人体解剖是一种非常特殊的技能，既需要学术造诣亦要求灵巧的技能。筋膜的许多特性在相关研究领域尚未被探明。实际上作者只有反复多次探索，界定研究方法，通过最好的人体解剖技术，才能呈现出这让人叹为观止的影像和图画。

作者行云流水般地将筋膜和结缔组织与肌肉、骨骼、关节和器官的相互联系绘成本书。

阅读此书不仅能提高你的解剖学知识与技能，还能揭示当我们运动时应力如何从表至里传导。

也许我们需要像Carla Stecco这样的意大利骨科医师、解剖学家，她从本质上理解了拉丁语“E motione”的另一层含义——“运动时”。这正是我们在这些精美图片中所见的：功能解剖学展现了躯体“运动时”组织独特的解剖层面。

我向你保证，本书的图片是我见过最精美的图片之一。尽管是二维图像，但新鲜标本被解剖得如此谨慎、精确，几乎相当于三维视图——协调一致滑动运行中的筋膜系统似乎触手可及。

此书对于理解运动系统和结缔组织整合的解剖学而言是一本新的标准图谱。它阐明了筋膜系统的作用，是作者卓越解剖技能的缩影。

阅读此书的同道会很容易从学术视角理解不同结缔组织层如何与肌肉和骨骼相关联。

这是一本美不胜收的书。Stecco巧夺天工般地展现了我们躯体的真实构造。我郑重将它推荐给各位！

Andry Vleeming博士

美国新英格兰大学医学院解剖学教研室教授
比利时根特大学康复医学与运动治疗学教授

世界腰盆区疼痛大会主席

序 言 二

为一本书写序言总是让人满足且自豪，但给我同事Carla Stecco创作的这本书写序言，却让我由衷感到荣耀。我与Carla Stecco相识多年，她对筋膜的精深研究让我钦佩。数年来，她在筋膜研究领域取得傲人成绩，已经成为一位国际一流的解剖专家。Stecco是从一名解剖专业学生成长起来的。童年时期，她和父亲为了深入学习筋膜，便一同解剖小动物。成为医学生后，她开始研究人体筋膜。从26岁起，她在巴黎大学度过了漫长的时间，并被允许解剖新鲜尸体。孜孜不倦地解剖，使她第一次阐明了人体各种各样的筋膜及其与肌肉、关节、血管和神经的联系。初次相识，我便被她对于解剖的热情以及卓越的天赋所打动。我逐渐发现她成为一位教师和真正学者的潜质。她对教学的经验、对研究的兴趣以及对发表论文的热情使她成为一名业务精湛、受人钦佩的著者。多年后，我不得不赞叹她打破传统、解放思想获得一手材料的勇气。即使有时研究成果有悖于正统观点，她也总是信心百倍。近年来她的观点不断得到认同，本书也得以出版——说明那些研究成果是正确的。

本图谱首次准确描绘了人体筋膜。它运用了

人体解剖学研究的科学方法。事实上，这些年来，物理治疗师、整骨治疗师、按摩师、手法治疗师以及体育教练都认识到筋膜系统的重要作用。本书的图片首次系统地呈现了人体筋膜。现在，我们理解了它的界限以及宏观和微观结构特性。筋膜层次结构、被作用后应力的传导、本体感受，以及三者之间的关系——对它们的深入认识有助于建立肌筋膜-骨骼解剖学构架。本书的数据将会成为其他研究者的标准。从解剖学视角研究筋膜有助于找到治疗筋膜综合征的更好方法。

本书编排有条不紊，前三章概述了结缔组织、深筋膜和浅筋膜，之后五章用图画描绘了筋膜。全书一以贯之地解释了肌肉筋膜的联系以及筋膜的连续性。

我们必须感谢Carla Stecco所创作的这本有用的书——《人体筋膜系统功能解剖图谱》。

Raffaele De Caro博士

人体解剖学教授

意大利帕多瓦大学分子医学教研室

人体解剖研究所主任

意大利解剖学家联合会主席

前言

大多数解剖学图谱详细描绘了身体的器官和肌肉，然而覆盖在这些结构之上的筋膜常被忽略，只能留待读者想象。通常情况下，人们只关注筋膜局部区域内微不足道的一个功能：覆盖于组织表面的膜。同样的，解剖学家认为只有把结缔组织除去，才能充分研究关节、肌肉、肌腱，以及器官。许多解剖操作根据以往文献有了这种先入为主的观念。不幸的是，这些研究仅仅阐述了运动系统的一部分。筋膜作为运动系统的另一部分却被忽视，甚至被摒弃了。

近些年来，相关研究揭示了躯体运动不仅仅是神经刺激引起的单个肌肉收缩。肌肉作为运动系统的一部分必须有条不紊地收缩、舒张。负责协调肌肉收缩的是筋膜——作为关节间的桥梁、肌肉间的分隔、收缩时的信使。肌肉协调一致的运动有赖于这些筋膜结构赋予其外形，协助其滑动。研究骨骼肌系统却忽视筋膜的病理学家们常常难以明确患者疼痛的病因，于是称之为“非特异性”。通常，研究者将肌肉看成独立的单元，这阻碍了对于筋膜功能的进一步理解。只有认识了筋膜系统的组成、形态及功能，才能更准确地认识解剖学。

传统解剖学家在其研究中无视筋膜系统，导致临床医师的治疗只关注肌肉、关节和韧带，而忽略了针对筋膜收缩和紧张的病理改变的治疗，结果疗效不如人意。治疗师只有深入认识筋膜层次及其相互关系后，才能有针对性地选择治疗方式和手腕力道以解决筋膜的异常——只有这些知识才能提高手法水平。另外，外科医师充分掌握了手术相关筋膜的知识，就能采取出血最少、暴露最好的手术路径。

此书基于十余年来我对数百例新鲜人类尸体进行解剖的成果之上。如此我才能对自然状态下新鲜的筋膜、筋膜间的解剖关系、筋膜的滑动和筋膜的平面进行最深入地观察。后者在防腐处理后的尸体上是不可能观察到的。亲自解剖才能对

人体筋膜有如此独特的视角。以往研究筋膜，常常将其与身体某一特定部位独立开来，让人以为筋膜起于和终止于某一节段，然而事实并非如此。

我在本书中强调两点：筋膜平面的连续性；筋膜联系肌肉、神经和血管的功能性。我个人认为筋膜是一个拥有独特的宏观和微观特性的器官系统，发挥特殊功能，拥有特异的病理变化。基于此，我对筋膜进行了严格的定义，关节囊、韧带、肌腱和疏松结缔组织都被排除于定义之外。事实上，筋膜与它们相延续，但其拥有自身独特的显微特性和功能。

我试着将相关领域文献中关于筋膜的不同定义和描述归纳在一起。关于筋膜组织、筋膜层次和筋膜特性的公认定义将有助于本领域未来的研究，不断改善临床实践，提供更简单更准确的研究方法。

我非常感谢De Caro教授（意大利帕多瓦大学）的鼎力支持与Delmas教授（法国巴黎笛卡尔大学）的通力合作。我必须感谢我的同事Veronica Macchi教授和Andrea Porzionato教授，有了他们的工作和帮助，我才得以对筋膜进行显微和活体研究。相较于尸体，活体研究揭示了筋膜更多信息。我敢肯定，研究者们将成功地对筋膜进行影像学评估（超声、CT和MRI）。我希望，本书能够启发治疗师们，把筋膜刻入他们脑海。

本书第一章通过纤维、细胞和胞外基质的百分比阐明了筋膜的组成成分，将结缔组织进行了分类。该组成成分界定了不同类型结缔组织（尤其是筋膜）的组织学和力学特征。第二章从宏观和微观的角度描述了浅筋膜的一般特征。第三章以同样的方式分析了深筋膜。随后第五章从局部解剖的角度描绘了筋膜。本图谱采用常规解剖学术语指代各种筋膜。但我想强调的是筋膜在身体不同节段之间是连续的，筋膜和肌肉是互相连接的。这对于理解筋膜在调节肌肉活动中的关键作

用和作为全身本体感受器非常重要。筋膜之间的联系可以作为牵涉痛分布区域的另一种解释，强调了双下肢、躯干和双上肢之间的联系。值得强调的是，必须以整体视角研究筋膜。多年来，手法治疗师通过图表、功能筛查和物理测试认识到

肌肉内部的联系。我希望本书将为这种联系提供直观的图像展示。

Carla Stecco

致 谢

致我亲爱的丈夫Giuseppe、我的孩子Elettra和Jago，为了完成本书我牺牲了许多陪伴他们的时光。

致我的父亲，他鼓励我跳出经典解剖学的视野，启迪我孜孜不倦地研究筋膜系统。

致Warren Hammer以及他的助理Martha Cook Hammer，他们对此书的完成提供了宝贵建议，使它清晰明了。

不要被教条束缚，那意味着顺从他人的想法生活。不要让其他人喧嚣的观点掩盖你内心真正的声音。最重要的是，你要有勇气去听从直觉和心灵的指示。（——史蒂夫·乔布斯，《斯坦福报》2005）

——Carla Stecco

目 录 | CONTENTS

第一章	结缔组织	1
第二章	皮下组织和浅筋膜	23
第三章	深筋膜	52
第四章	头颈部筋膜	104
第五章	胸部和腹部筋膜	141
第六章	背部筋膜	185
第七章	上肢筋膜	217
第八章	下肢筋膜	289
索引		367

第一章 结缔组织



一、结缔组织的组成

结缔组织（connective tissues, CT）是人体组织的四大基本类型之一（其他三种分别是上皮组织、肌肉组织和神经组织）。它参与机体和器官的组成，使组织和器官之间互相连接并提供结构支持。结缔组织的名称来源于它连接器官和组织的功能。结缔组织在机体中普遍存在，被视为把人体各个部位连接在一起的“胶水”。

结缔组织由三种主要成分构成：细胞、纤维和细胞外基质（ECM）（图1.1）。细胞完成组织的新陈代谢，纤维体现了组织的机械属性，细胞外基质使组织具有可塑性和延展性。结缔组织中最主要的细胞类型是成纤维细胞。成纤维细胞生成胶原纤维，并分泌细胞间的基质。其他类型的细胞如脂肪细胞和未分化的间充质细胞也可出现在结缔组织中。这三种主要成分所占的比例在人体中的各个部位均有所不同，主要取决于各个部位

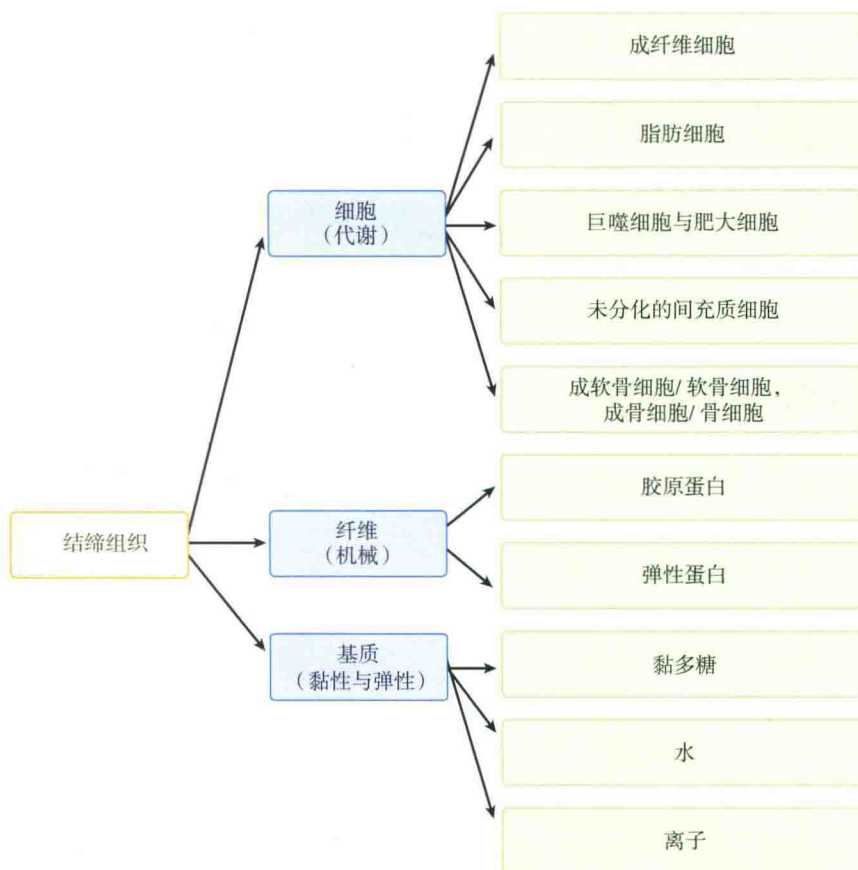


图1.1 结缔组织的构成



的结构特点。某些部位的结缔组织排列疏松，细胞种类较多；某些部位的结缔组织绝大部分由纤维构成，而某些部位的结缔组织主要由细胞外基质构成。细胞外基质的黏稠度可变性很大，变化范围可从似凝胶材料到似刚性材料。因此，结缔组织的黏稠度变化范围可从疏松结缔组织凝胶一般的柔软到骨头一般的坚硬。不同类型的结缔组织在结构上的分类，主要是基于组成元素的种类和排列方式。例如，坚硬的结缔组织，如肌腱和韧带，其中胶原纤维占很大比例而含有较少的细胞。反之，由较多细胞组成的结缔组织如脂肪组织则比较柔软。

结缔组织具有许多功能：

- 结构支持：组成机体的结构框架，维持器官和系统的解剖结构，构成骨骼和器官的包膜。
- 机体组织之间的连接：如韧带、肌腱和筋膜。
- 保护器官：形成包膜将器官包绕起来并将器官与周围的结构分开，填充在器官与器官的间隙之间并允许器官做必要的运动，防止这些可移动的结构之间发生摩擦、挤压和损伤性的碰撞。
- 代谢功能：提供营养支持。血液中的所有代谢养料穿过毛细血管床，经结缔组织扩散进入与之邻接的细胞和组织。反过来，细胞和组织的代谢废物经结缔组织扩散后回流入毛细血管。结缔组织介导并调控各类物质交换活动。
- 储存能量：如脂肪组织（一种特殊的结缔组织）。
- 调节物质的扩散。
- 形成瘢痕组织：在外伤后的修复过程中扮演最基本的角色。

所有的结缔组织细胞都来源于间充质细胞。间充质细胞存在于胚胎中，绝大部分的结缔组织起源于胚胎的中胚层（中胚叶），但是头部的一些结缔组织起源于神经嵴（源自外胚层）。间充质细胞只存在于胚胎中，然而一些间质样的细胞存在

于成人结缔组织中，并在损伤后应答中保留了分化能力。

（一）细胞外基质

细胞外基质（extracellular matrix, ECM）是结缔组织位于细胞外的组成成分和支持组织。这种基质将作用在组织上的机械压力分散，并且为嵌入其中的细胞提供结构上的环境。它由基质和纤维组成，形成了一个框架，使得细胞可以黏附其上并在其中移动（Standring, 2008年）。这种细胞基质是由水、胞外蛋白、糖胺聚糖（GAGs）和蛋白多糖以不同的比例组成的。它边界清晰，无色透明且有黏性。这些纤维有不同的类型，但主要的类型是胶原纤维和弹性纤维。这些纤维决定了组织的力学特性。

1. 基质

基质（ground substance）是一种位于细胞周围无定形的凝胶样物质。它不包含纤维（例如胶原纤维和弹性纤维），但包含细胞外基质的其他所有组成成分，又被称为纤维外基质。基质为细胞提供支持和营养。它决定了结缔组织的顺应性、流动性和完整性，同时也是细胞外基质其他成分的润滑剂和黏合剂（Hukins和Aspden, 1985年）。基质中大分子的存在使胶原纤维在受外力作用滑动时受到的摩擦力较小，其运动范围受到纤维间交叉连接的限制。胶原蛋白、水分子和基质分子都有导电性和极化的特性。偏振波可能存在并且质子在胶原纤维之间的跃迁比神经传导的电信号更快（Jaroszyk和Marzec, 1993年）。

（1）蛋白多糖

基质中包含蛋白多糖（proteoglycans），是由许多糖胺聚糖（GAG）分子共价连接在一个核心蛋白上的超级大分子，其形态近似于包绕试管刷主干的鬃毛。糖胺聚糖是由重复的二糖单位组成的长链多糖，每个二糖单位中的其中一种糖是氨基葡糖，因此命名为糖胺聚糖。糖胺聚糖中的许多糖都有硫酸基和羧基团，使其高度负电荷化。基于糖基的类别、连接的性质和硫酸化程度的差别，公认糖胺聚糖家族有7种不同的糖胺聚糖分



子。这些糖胺聚糖分子分别为透明质酸、4-硫酸软骨素、6-硫酸软骨素、硫酸皮肤素、硫酸角质素、硫酸肝素和肝素。

糖胺聚糖的弹性不足以形成一个球形的结构，并且使它保持伸展状态以获得与之体积相对应的足够的表面积。高密度的负电荷吸引水分子而形成水合凝胶。这种凝胶使结缔组织膨胀且具有弹性，同时也调控着各种代谢物的扩散。特别是它为水溶性分子的快速扩散提供了条件，同时抑制大分子和细菌的运动。它的黏弹性允许组织在受压之后恢复原来的形状，同时为胶原纤维之间的无摩擦运动创造了条件，这是为了吸收作用于组织上的力，保护胶原蛋白网免受过度压力的损害。含水量的不同决定了基质的状态是溶胶还是凝胶，随之决定嵌入其中的胶原纤维的流动性。分子量较小的蛋白多糖，如核心蛋白聚糖，只有一条单链糖胺聚糖，在胶原纤维的组成和分布上起作用。蛋白多糖也存在于细胞膜上和细胞内，调节细胞与基质之间的相互作用。

(2) 透明质酸

透明质酸（hyaluronan, HA）是疏松结缔组织中最具代表性的糖胺聚糖，也是唯一一个没有

硫酸基团的糖胺聚糖。不同于典型的糖胺聚糖，透明质酸极长且硬，包含一条含有几千糖基的长链，而相较之下其他糖胺聚糖只含有几百或更少的糖基。此外，透明质酸不与核心蛋白连接组成蛋白多糖的一部分，而蛋白多糖反过来通过一种特殊的连接蛋白直接与透明质酸相连形成一个大分子。这些亲水性大分子在软骨基质中特别丰富，是形成胀压的原因，使软骨成形。透明质酸提供像含水的眼睛一样胀满的结构，脐带的脐带胶质（Wharton's Jelly）中的透明质酸可保护胎儿血管免受压迫（图1.2）。

透明质酸通过大剂量的溶剂水（容量为溶质的10 000倍）为皮肤提供水分。当肌肉和肌腱在骨骼上或腱膜下滑行的时候，它也起到润滑剂的作用。看起来这些滑行间的相互作用受到富含透明质酸的细胞外基质的成分和功效的影响。这一层富含透明质酸的基质可保护肌肉，支持创伤后修复，在损失肌纤维之后刺激卫星细胞增殖。富含透明质酸的基质病变将导致疼痛、炎症和某些功能丧失。在创伤愈合早期透明质酸的含量十分丰富，其功能为打开组织间隙以使细胞通行。透明质酸与细胞受体结合及其与细胞骨架间的相互

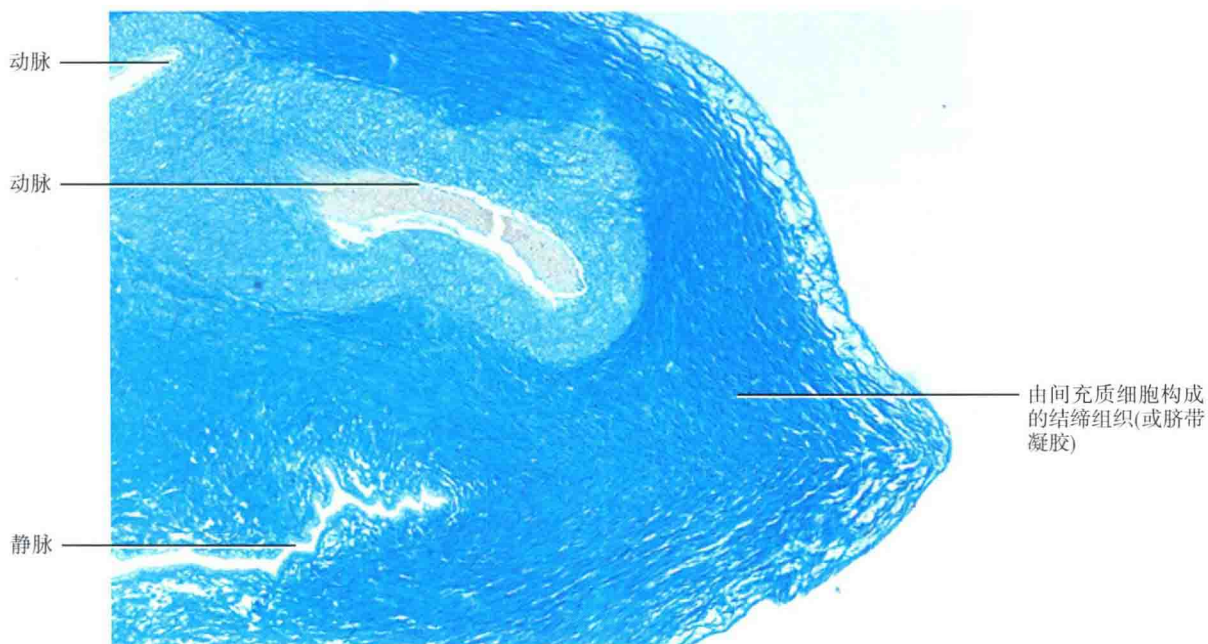


图1.2 脐带的组织学切片（阿尔新蓝染色，50×）。注意由间充质细胞构成的结缔组织被染成蓝色，突出显示了脐带的细胞外基质中丰富的透明质酸



作用使细胞具有运动能力。

透明质酸在胚胎发育时期和快速生长的组织中特别丰富，且存在于任何修复和再生的部位。近来研究发现，随着链长的改变，尤其是在其碎片化时，透明质酸有多样的，甚至截然相反的生物学功能，例如促血管生成、炎症性和免疫刺激性。

透明质酸的代谢周期为2~4天，而其他硫酸化的氨基葡聚糖的周期为7~10天。这意味着产生透明质酸的细胞必须保持活性，否则基质的数量有减少的风险。糖胺聚糖的副产物对细胞有反馈作用，可以调控其合成。已经明确的是，结缔组织细胞的机械性扭曲可对细胞外基质合成产生刺激作用（Adhikari等，2011年）。

（3）连接蛋白

连接蛋白（link proteins）使基质中的蛋白聚糖复合物保持稳固，并形成巨大的试管刷样立体结构。在所有的连接蛋白中，研究最多的是黏着斑蛋白（vinculin）、血影蛋白（spectrin）和肌动球蛋白（actomyosin）。上述连接蛋白可以调节细胞、纤维和基质其他组成成分的相互作用，主要任务是将胶原纤维连接到细胞膜上和组织细胞外基质中的弹性纤维。对于个别连接蛋白而言，其他特殊功能包括引导可移动的细胞穿过结缔组织，控制胞核、线粒体、高尔基体的活性，将细胞骨架与细胞外基质连接，等等。在老化的过程中，连接蛋白的数量将增加，这将降低结缔组织的可移动性。

2. 纤维

结缔组织细胞分泌两种类型的纤维（fibres）：胶原纤维和弹性纤维。在不同类型的结缔组织中上述纤维的数量和比例均有所不同。两种纤维均由长肽链构成的蛋白质所组成。

（1）胶原纤维

胶原纤维（collagen fibres）具有强度高、可塑性强的特点。一般来说，每条胶原纤维都由名为胶原纤维丝的螺纹样亚基所构成，每条纤维丝又是由胶原蛋白分子按照头尾对齐交叠排列的方式组成。纤维丝的强度取决于毗邻的胶原蛋白分

子之间的共价键。胶原蛋白分子（又称为原胶原蛋白）由三条相互缠绕的多肽链（每条都被称为 α 链）组成，形成向右的三重螺旋结构。除了链的尾端之外，每三个氨基酸中就有一个是甘氨酸。糖基和三重螺旋连在一起，所以胶原蛋白被形象地称为糖蛋白。 α 链形成的螺旋并不全部相同，基于链内的差异将其定义为不同类型的胶原蛋白。按照发现年代的先后顺序以罗马数字对其进行命名，其中最重要的类型有：

- I型胶原蛋白是最普遍的类型，占了胶原蛋白家族的90%。它被发现存在于皮肤真皮层、骨骼、肌腱、筋膜、器官的包膜和许多其他部位。这些纤维丝聚集形成直径为2~10 μm 的厚束，为结缔组织提供了高抗拉强度（500~1000 kg/cm^2 ）。
- II型胶原蛋白是骨的主要成分，这些纤维更加精细。
- III型胶原蛋白或称网状纤维，直径更小，且典型地不聚集成束而形成厚纤维。它们排列成网眼状的图案，为由细胞构成的各种各样的组织和器官提供支撑框架，如肝脏。这些纤维同样存在于上皮细胞的边界、疏松结缔组织、脂肪细胞的周围、小血管、神经、肌腱和肌肉内的结缔组织（图1.3）。在所有结缔组织的发育过程中，在新的结缔组织形成时，它们都是首先被分泌出来的，在瘢痕组织中也一样。
- IV型胶原蛋白形成网状结构而不是纤维丝，也是上皮细胞基膜的基本成分。

胶原纤维是由成纤维细胞合成的。支持造血和淋巴组织基质的III型纤维是由网状细胞产生的，周围神经的神经内膜是由施万细胞产生的。平滑肌细胞（出现于血管的中膜和消化道的肌层）能够分泌所有类型的结缔组织纤维。

单个胶原纤维通常顺着机械负荷的主要走行方向排列。在病理性的情况下，由于基质密度的改变，胶原纤维彼此靠近，可能形成病理性的横向连接。这也将阻碍正常胶原蛋白网络的形成。

胶原纤维的代谢周期一般为300~500天，

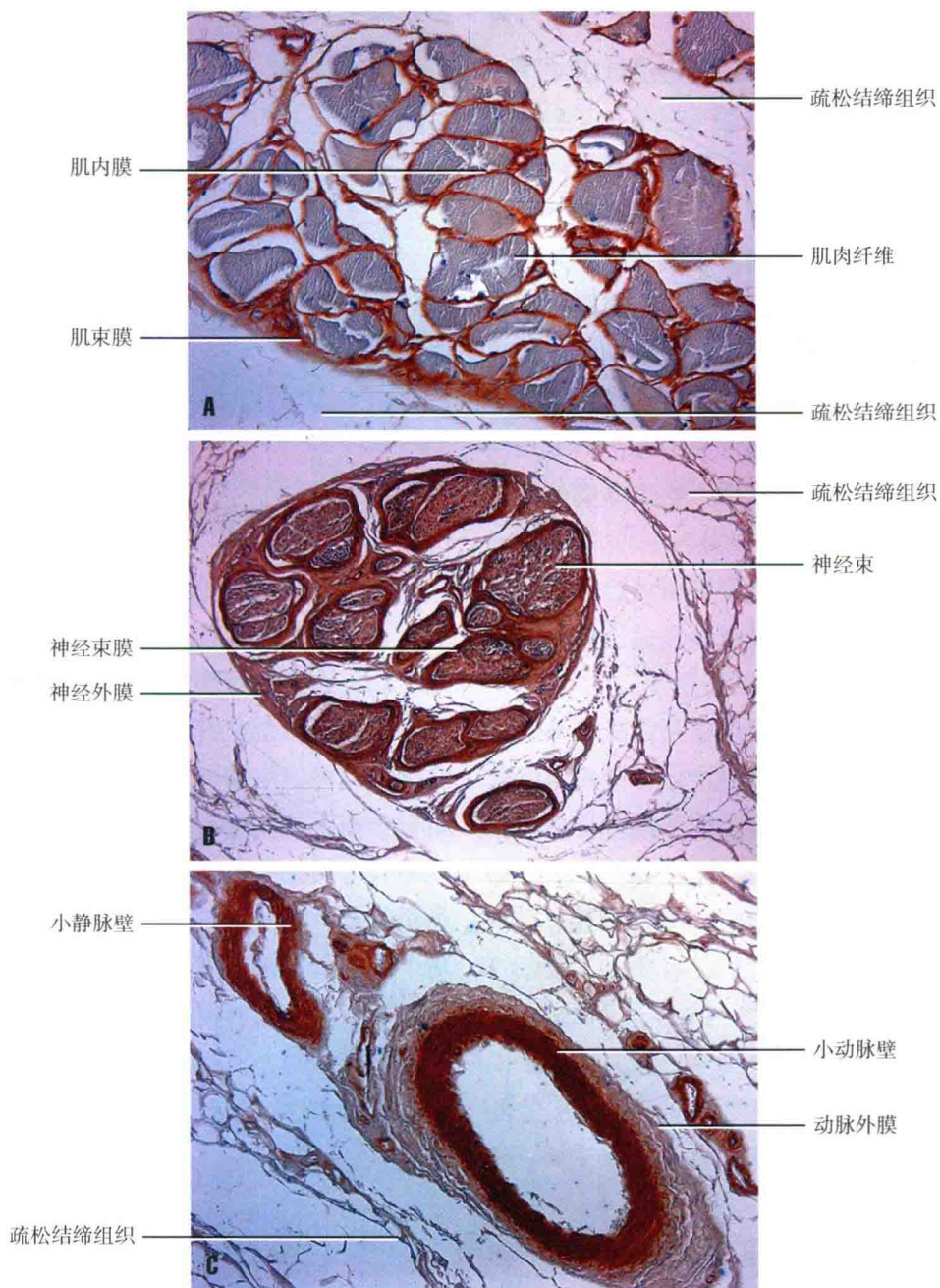


图1.3 免疫组织化学染色显示胶原纤维在肌肉(A)、外周神经(B)和小血管(C)中的存在和定位。注意Ⅲ型胶原纤维在肌内膜与肌束膜、神经束膜以及小动脉壁和小静脉壁中大量存在

Carano与Siciliani (1996年) 已经证明伸展状态的成纤维细胞可通过增加胶原酶的分泌而延长此周期。胶原酶是一种在胶原纤维降解过程中起重要作用的酶。上述研究人员还证明了周期性的拉伸比持续不断的拉伸更为高效。拉伸和压缩为成纤维细胞传递一种即时而均衡的形态变化, 但是10~15分钟后细胞形态重新适应了这种新的力学环境, 导致了一种生物活性化的丢失。这也提示

了新的机械性刺激对新的生物学反应是非常有必要的。

(2) 弹性纤维

弹性纤维 (elastic fibres) 比胶原纤维更细, 并排列成分支型的模式以形成三维立体网状结构。它使组织具备应对伸展的能力, 弹性纤维与胶原纤维交织以限制其伸展, 防止组织撕裂。弹性纤维由两种结构元件构成: 弹性蛋白 (elastin)



和原纤蛋白 (fibrillin)：

- 弹性蛋白是一种与胶原蛋白有关的蛋白质，但具有一条与众不同的多肽主干，导致其能随意地卷曲。这种分子螺旋的结构并不稳固，因为它可以从一种形状变为另一种。卷曲的弹性蛋白分子可以被拉伸，并且当拉伸的力量被撤回时，分子又弹回原来的状态。两种大的氨基酸名为锁链素和异锁链素，与弹性蛋白相连，导致弹性蛋白之间以共价键相连，并形成弹性蛋白基质。在拉伸和弹回的过程中，整个基质都处于忙碌状态。
- 原纤蛋白是一种纤维样糖蛋白。其在弹性纤维发育过程中先于弹性蛋白出现，被认为起到组织结构形成的作用。

在大多数情况下，弹性纤维是由成纤维细胞产生的，然而动脉的弹性纤维由血管中膜的平滑肌细胞产生。平滑肌细胞产生的弹性材料只有弹性蛋白而无原纤蛋白，因此不形成弹性纤维。相反，弹性蛋白排列成网状片层，或在平滑肌层之间排列成同轴的片层。

临床精粹 1.1 爱-唐综合征

病因：I型或III型胶原纤维的缺失导致胶原蛋白渐进性退化。身体的不同部位都可能受到影响，例如关节、心脏瓣膜、器官壁和动脉壁，因此产生不同临床类型的爱-唐综合征 (Ehlers-Danlos syndrome)。其共有的临床症状为关节活动度增大、疼痛和肌力下降。Clayton等 (2013年) 通过证明患者具有本体感受障碍而支持了我们的假说，即结缔组织的损伤是本体感受障碍的关键因素 (见第三章)。

(二) 结缔组织细胞

在结缔组织中可以找到许多不同种类的细胞，相较之下成纤维细胞更为重要，脂肪细胞和未分化的间充质细胞也可在结缔组织中发现。如果脂肪细胞含量丰富，且排列有序形成小叶，那么这种结缔组织被称为脂肪组织。成纤维细胞可以分化成不同的细胞，从而形成不同类型的结缔组织，包括负责形成软骨的成软骨细胞 (图1.4) 和负责产生骨的成骨细胞。最后，总是在结缔组织中出现的有巨噬细胞和肥大细胞，还有一些短

软骨覆盖的股骨髁

髌骨

十字韧带

半月板

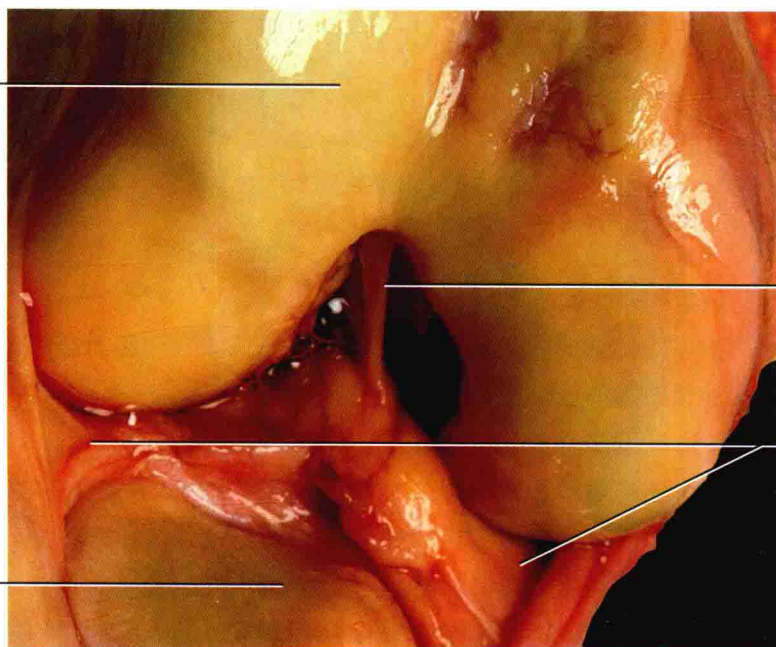


图1.4 肉眼观膝盖软骨：股骨髁和髌骨表面。软骨形成光滑表面。注意髌骨关节面软骨的退化



临床精粹 1.2 马方综合征

马方综合征 (Marfan's syndrome) 是发生于结缔组织的遗传障碍性疾病, 病因是原纤维蛋白-1基因 (FBN1) 的突变。马方综合征有一系列从温和型到严重型的表现。马方综合征的患者表现为身材高大、四肢长、手指细长。除了骨骼的特点之外, 马方综合征患者的眼睛、心脏瓣膜、主动脉、皮肤、肺和肌肉组织同样受累。在过去的30年里, 随着有创性医疗手段的进展, 外科手术治疗运用于心血管问题, 特别是二尖瓣脱垂、主动脉扩张、主动脉夹层, 已经使该病患者的预期寿命得到极大提高。

暂移行停留的细胞如淋巴细胞、浆细胞和白细胞。

1. 成纤维细胞

成纤维细胞 (fibroblasts) 是结缔组织中主要的细胞。成纤维细胞的主要作用是不断分泌细胞外基质的前体物质, 如胶原纤维、弹性纤维和基质中所有的复合碳水化合物, 从而保持结缔组织结构的完整性。它们有助于基质的形成, 其细胞骨架形态有可能影响所分泌基质物质的沉积。成纤维细胞通过新纤维和蛋白质的降解与合成, 在重建基质的过程中也起着一定作用。与上皮细胞在人体结构中的排列方式不同, 成纤维细胞不形成扁平单细胞层, 也不受基底膜一端的极化连接物的限制。

如同结缔组织中的其他细胞一样, 成纤维细胞源自原始的间充质, 其寿命在鸡胚中为 (57 ± 3) 天。组织的损伤刺激成纤维细胞, 并导致细胞的有丝分裂。成纤维细胞的增殖和退化与日常生活中步行、跑步和其他运动等机械性行为相伴随。即使在休息和睡眠时这种机械性行为都会刺激结缔组织。单次剧烈运动之后, 髌骨跟腱中的胶原蛋白合成增加了几乎100%, 3天后效果依然显著。在训练期初始阶段, 跟腱中胶原蛋白的代谢 (即合成与分解的平衡) 增加, 胶原蛋白净消耗。这使得跟腱进行调整, 以适应更大强度的训练模式。直到训练持续进行, 胶原蛋白才出现净增长。

成纤维细胞在创伤愈合过程中也起着至关重

要的作用。最初的创伤发生于结缔组织和血管后, 生长因子导致成纤维细胞的数量增加, 成纤维细胞汇集于伤口处并开始分泌新的胶原蛋白, 生成新的肉芽组织, 协助组织重构。肉芽组织的细胞外基质是由成纤维细胞产生并改造。最初, 成纤维细胞产生的Ⅲ型胶原蛋白, 为一种形式较弱的结构蛋白; 接着, 它们产生存在于瘢痕组织中的Ⅰ型胶原蛋白, 其更坚固且存在时间更长。瘢痕是成纤维细胞在修复过程中储存的胶原蛋白。

经受高频率拉伸的肌腱可能更易受炎症的影响, 并最终组成纤维细胞拉伸而出现退化。成纤维细胞周期性的拉伸, 特别是当拉伸的频率增加时, 将增加促炎性细胞因子环氧合酶 (COX-1 和 COX-2) 和前列腺素 E_2 的产生 (Yang等, 2005年)。因此, 成纤维细胞的过度刺激可能是反复发生的运动问题的根源。最新的研究 (Kaux等, 2013年) 阐明了在肌肉和肌腱的康复过程中离心性运动优于向心性运动的原因。有观点认为离心性运动的负载模式对成纤维细胞产生更大的刺激, 因此增加胶原蛋白分泌, 从而刺激创伤组织的愈合。拉伸也可导致肌腱中成纤维细胞的对齐。

Abbott等 (2013年) 推导认为结缔组织, 特别是成纤维细胞, 是整个身体细胞与细胞之间信号通信网络的一部分。他们的研究表明成纤维细胞在组织拉伸的几分钟之内即产生活跃的细胞骨架应答信号:

“结缔组织中可能存在涉及钙离子和 (或) ATP的同源细胞-细胞信号传导, 可能伴随活跃的组织收缩与舒张发生。可以想象, 整个身体的结缔组织构成一个网络, 产生动态的、遍布全身的细胞活跃性波动变化, 时间短则数秒、长则数分, 伴生于外部或内部产生的作用于身体的机械力。”

成纤维细胞的一种特殊类型是见于肌腱、筋膜和瘢痕中的肌成纤维细胞 (Hinz等, 2012年)。这些细胞的细胞质中含有为其收缩创造条件的肌动蛋白纤维。在创伤修复期间, 成纤维细胞需要转换为肌成纤维细胞, 然后产生细胞外的胶原纤维沉积物。他们的研究显示平滑肌类型的肌动蛋