



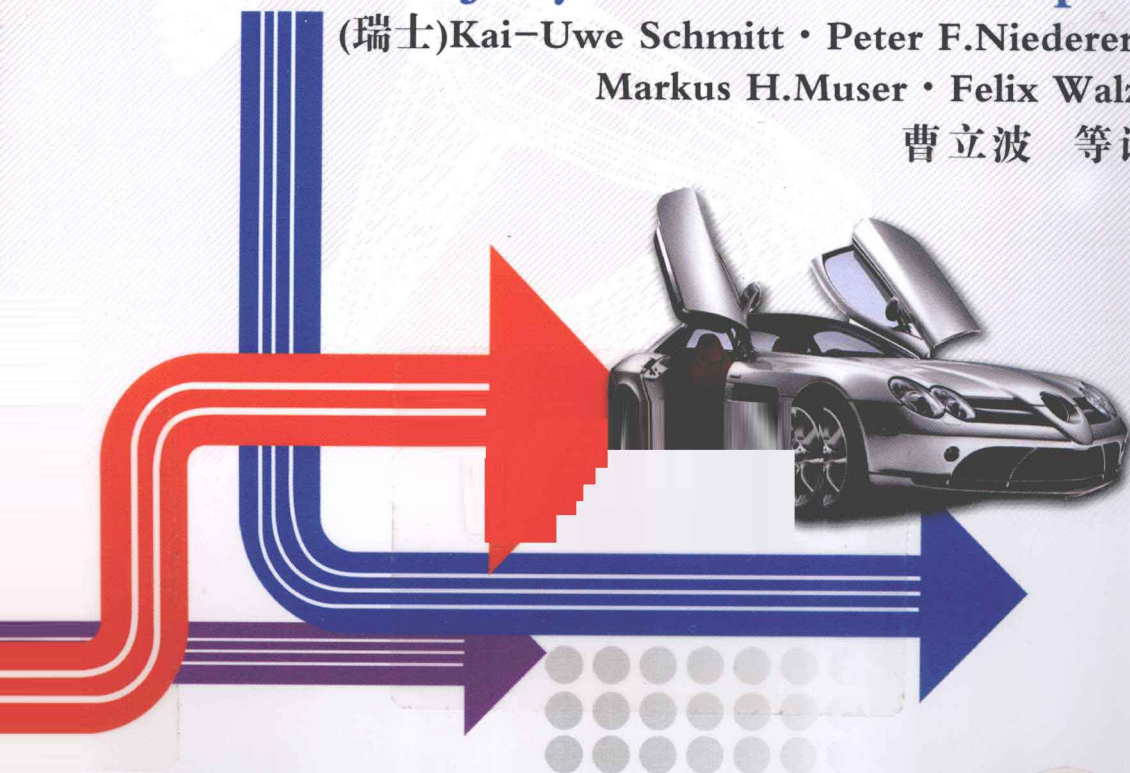
国际制造业先进技术译丛

汽车与运动损伤 生物力学

Trauma Biomechanics

Accidental injury in traffic and sports

(瑞士) Kai-Uwe Schmitt · Peter F. Niederer 著
Markus H. Muser · Felix Walz
曹立波 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际运动生物力学技术译丛

汽车与运动损伤 生物力学

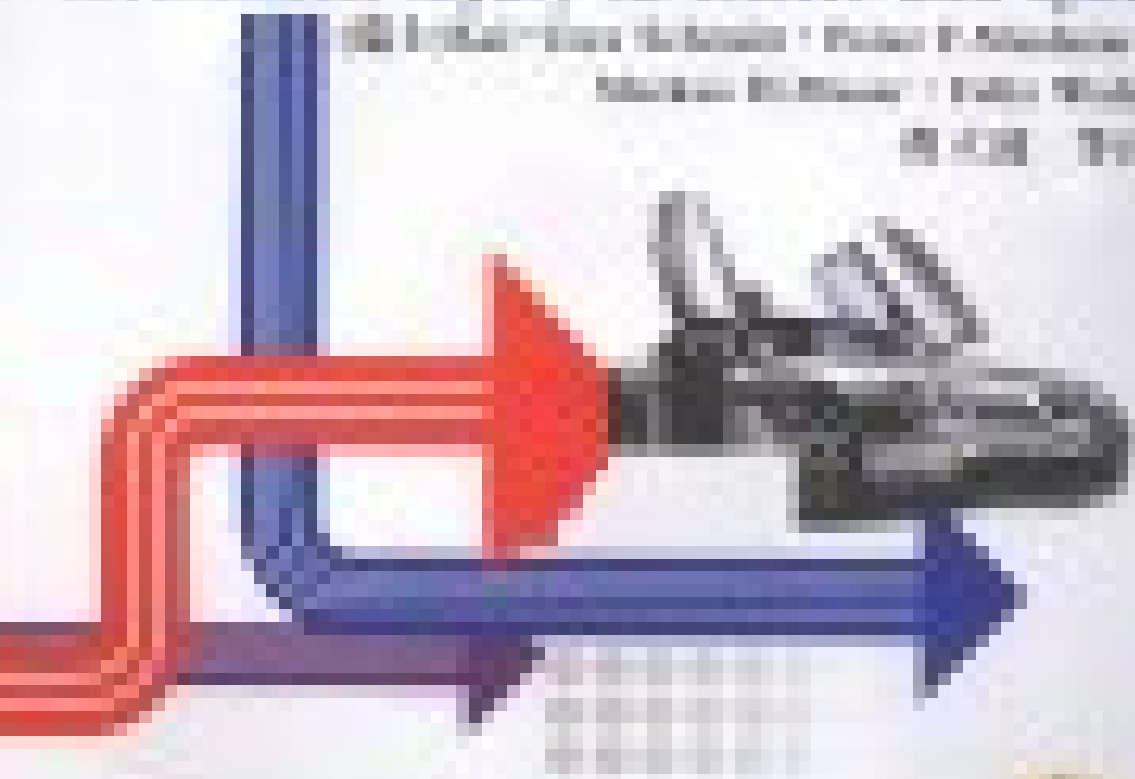
Trauma Biomechanics

Accidental Injury in traffic and sports

Ed. by Hans-Joachim Wildenauer + Peter F. Schmitt

Michael Bräuer + Frank Noll

© 2008 - 176 S.



CHENGDU UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND SPACE



国际制造业先进技术译丛

汽车与运动损伤生物力学

Trauma Biomechanics
Accidental injury in traffic and sports

(原书第 2 版)

(瑞士) 凯-乌韦·施密特 彼得 F. 尼德雷尔
马库斯 H. 穆塞尔 费力克斯·华尔兹 著
曹立波 白中浩 蒋彬辉 任锡娟
肖开艳 唐明福 陈天志 邵宝永 朱宁宇 译

机械工业出版社

Trauma Biomchanics: Accidental injury in traffic and sports
Kai-Uwe Schmitt, Peter F. Niederer, Markus H. Muser, Felix Walz
ISBN 978-3-540-73872-5 Springer Berlin Heidelberg New York
ISBN 978-3-540-22299-61. Auflage Springer Berlin Heidelberg New York

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilm or in any other way, and storage in data banks. Duplication of this publication or parts thereof is permitted only under the provisions of the German Copyright Law of September 9, 1965, in its current version, and permission for use must always be obtained from Springer. Violations are liable to prosecution under the German Copyright Law.

Springer is a part of Springer Science + Business Media

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004, 2007

本书简体中文版由 Springer-Verlag 授权机械工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 图字 01-2008-0309

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车与运动损伤生物力学/ (瑞士) 施密特 (Schmitt, K.) 等著; 曹立波等译. —北京: 机械工业出版社, 2012. 3

(国际制造业先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-37373-5

I. ①汽… II. ①施… ②曹… III. ①汽车—交通事故—损伤—生物力学 IV. ①R641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 024094 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 尹法欣 责任编辑: 尹法欣 陈 洁

版式设计: 石 冉 责任校对: 于新华

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京富生印刷厂印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 10.5 印张 · 200 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-37373-5

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

本书是国外从事损伤生物力学研究的人员经常用作参考的书籍。本书共分 9 章，分别介绍了人体从头部到脚部的基本解剖结构、生物力学特点、损伤评价方法及损伤准则等方面的内容。

本书既可以作为全国车辆工程专业或创伤医学专业的本科生、研究生教材，也可以作为从事损伤生物力学研究的医生、工程师的参考书。

英文版前言

因为交通事故，全世界每天有十四万多人受伤，三千多人死亡，以及一万五千多人变成残障人士。同样的，因为参与运动所造成的伤害也非常频繁，这些事故所造成的社会经济损失不计其数。损伤力学（或称创伤力学）应用力学原理来研究生物材料在极端状况下的受力响应以及耐受程度。设计保护器材的工程师可根据损伤力学中所发现的不同力学参数及其在功能与结构上所造成的影响来设计保护器材，以减少甚至消除可能发生的损伤。

本书搜集了有关解剖学、损伤分类学、损伤机理和损伤准则的内容。据我所知，这是第一本概括美国与欧盟已经或即将采用的损伤准则以及耐受值的书。虽然本书专门写给刚开始研究损伤力学的医生与工程师，并列出了还算完整的参考文献给他们去作进一步研究，但对于早已研究过这门学问的研究者而言，本书也是一本很不错的参考书籍，因为它提出了各个损伤机理和损伤准则所根据的生物力学基础。当更多人了解并重视这项课题后，就更能减少、预防汽车与运动中的损伤。我非常喜欢本书，也相信您会有同样的感受。

杨金海 (King H. Yang)

美国韦恩州立大学

生物与医学工程系和机械工程系教授

生物工程中心主任

译 者 序

生物力学是一门涵盖力学和医学等多学科领域的交叉学科，也是从事汽车碰撞安全性研究及运动损伤研究的基础。20 世纪 90 年代以来，随着我国汽车碰撞安全法规的实施及 C-NCAP（中国新车碰撞安全评定规程）评分制度的推出，我国的汽车碰撞安全性研究已越来越得到重视。然而，与其密切相关的基础学科——损伤生物力学的研究却一直发展缓慢，难以满足相关研究人员对于了解损伤机理及开展深入的安全性研究的需要。因此，译者希望通过翻译出版本书，促进国内汽车安全性研究和损伤生物力学研究水平的提高。

本书的翻译出版得到美国韦恩州立大学生物工程中心杨金海教授的大力支持和精心指导，美国韦恩州立大学的金鑫博士和冒浩杰博士也对翻译全文进行了仔细校对。对他们的辛勤工作，译者在此表示衷心感谢！尽管在翻译和校对过程中都持以小心谨慎的态度，译著中仍然可能存在不当之处，敬请读者不吝赐教。

译 者

英文版致谢

作者们深深感谢他们的朋友以及同事为撰写本书所提供的科学著作、评述与讨论内容。更进一步地讲，我们要谢谢生物力学与损伤国际研究理事会委员们的大力协助与支持。

凯-乌韦·施密特
彼得 F. 尼德雷尔
马库斯 H. 穆塞尔
费力克斯·华尔兹

目 录

英文版前言

译者序

英文版致谢

第一章 概述	1
第一节 本书主要内容	2
第二节 历史发展进程	5
第二章 损伤生物力学的研究方法	11
第一节 统计学、事故现场研究和数据库	11
第二节 损伤标准、损伤等级和损伤风险	14
第三节 基本力学概念与事故重建	16
第四节 试验模型	20
第五节 标准化试验规程	24
第六节 数字化仿真	34
参考文献	37
第三章 头部损伤	39
第一节 头部解剖学结构	39
第二节 头部损伤类型及损伤机理	41
第三节 头部的生物力学响应及耐受限度	44
第四节 头部损伤的损伤准则	48
第五节 运动中的头部损伤	51
第六节 头部损伤的预防	54
参考文献	57
第四章 脊椎损伤	61
第一节 脊椎解剖学结构	62
第二节 脊椎损伤机理	64
第三节 脊椎的生物力学响应及耐受限度	70
第四节 脊椎损伤准则	73
第五节 运动中的脊椎损伤	82
第六节 颈部软组织损伤的预防	83
参考文献	88
第五章 胸部损伤	95
第一节 胸部解剖学结构	95

第二节 胸部损伤机理	97
第三节 胸部的生物力学响应	101
第四节 胸部耐受限度及损伤准则	107
第五节 运动中的胸部损伤	109
参考文献	110
第六章 腹部损伤	112
第一节 腹部的解剖学结构	112
第二节 腹部损伤机理	113
第三节 腹部生物力学响应	115
第四节 腹部损伤耐受限度	116
第五节 安全带对腹部损伤的影响	117
第六节 运动中的腹部损伤	118
参考文献	118
第七章 骨盆和下肢损伤	120
第一节 骨盆和下肢解剖学结构	120
第二节 骨盆和下肢损伤机理	121
第三节 骨盆及下肢的碰撞耐受限度	128
第四节 骨盆及下肢损伤准则	131
第五节 运动中的骨盆及下肢损伤	132
第六节 下肢损伤的预防	134
参考文献	136
第八章 上肢损伤	140
第一节 上肢解剖学结构	140
第二节 上肢的损伤影响范围及损伤机理	141
第三节 上肢碰撞耐受限度	143
第四节 损伤准则及来自安全气囊的损伤风险的评估	144
第五节 运动中的上肢损伤	145
参考文献	148
第九章 长期载荷作用下产生的损伤和疾病	151
第一节 职业健康	153
第二节 运动	154
第三节 家务劳动	156
第四节 结论	156
参考文献	156

第一章 概述

人类终其一生都要承受各种力的作用。人体在与外界接触的过程中，除了重力和电磁场力之外，还会受到许多其他力场的作用；另外，人体内不同的器官和组织之间，在生理过程中也会产生许多种力。在整个生物界的演化过程中，各种形式的生命体都会调整其生理来适应周围的自然环境，有些甚至需要力的作用才能实现一些特殊的功能，例如骨骼重塑等。

生物力学这门科学致力于分析、测量和模拟人体以及动物、植物在各种载荷的作用下所受的影响。由其定义表明，生物力学是一种定量的研究。人们所关注的力的范围是非常广泛的，其中，内力可能产生于分子的运动、细胞级别的纤维收缩以及肉眼可见的肌肉收缩，还有生物液流动以及包括渗透作用在内的生物传输过程中产生的压力和切应力。相应地，生物体在日常生活中所承受的外力，达到了无限大的范围。人们所关注的力囊括了从几皮牛 ($1\text{pN} = 1 \times 10^{-12}\text{N}$) 到几兆牛 ($1\text{MN} = 1 \times 10^6\text{N}$) 的各种力（由于过小的力缺乏生物力学效果，过大的力会导致完全损坏，所以过低和过高的力几乎不考虑），并且这些力可以发生在很短的时间 [例如几皮秒 ($1\text{ps} = 1 \times 10^{-12}\text{s}$)] 或者长到好多年。

不可避免地，作用在人体的内力与外力有时会使人体产生损伤。这些负面后果通常又与我们可能在日常生活中遇到的不幸事件中承受过大的突发外力打击联系在一起。一般来说，内力的作用往往受到解剖学或者生理学约束而免于造成人体损伤。然而，由于剧烈的咳嗽导致肋骨断裂、痉挛性收缩引起肌肉纤维撕裂或低血容量性休克时内脏出血，这些都是身体内力所造成的损伤案例。

损伤生物力学或创伤生物力学是生物力学领域中专门研究生物体与力的相互作用产生损伤的相关特殊学科，也是本书的主要内容。因为现实生活中存在各种各样的损伤类型、损伤机理和容易产生损伤的活动，所以，各种人类活动和可能发生超负荷的情况都必须考虑。显而易见，损伤生物力学具有多学科特性。首先，损伤生物力学涵盖了人们所关注的广泛领域，例如从体育运动中的宏观运动过程分析到微观的分子横跨膜运动的模拟等。其次，从这些不同领域获取的知识有助于开展损伤生物力学研究。为了深入理解损伤过程的各个方面，从宏观规模到微观分子水平的各方面都需要被考虑。因此，为了对整个领域有更深刻的理解，损伤生物力学内容涉及了基础力学、解剖学和生理学等。

第一节 本书主要内容

为了说明本书中涉及的内容和范围的局限性，有必要作以下一些说明：

1) 必须区分由意外、突发性、单一事件（严格意义上称为事故）造成的损伤和长期承受不恰当的受力产生的慢性损伤。举例来说，车辆与行人碰撞过程中，行人头部撞击发动机罩产生的损伤和过响的音乐造成耳部听觉细胞逐渐被破坏两起案例均与损伤相关，然而它们的损伤类型、损伤机理、耐受限度、损伤标准、事故重建和分析方法以及保护措施是根本不同的。涉及保险和责任时，研究过程也有很大的不同。

2) 在交通事故中，整个碰撞过程大约持续 100 ~ 200ms，而损伤通常发生在碰撞初期。在许多案例中，当事人并没有意识到事故的发生，也不能对即将来临的危险作出及时反应。通常，肌肉开始起作用的时间要比眼睛和耳朵的反应延迟 60 ~ 80ms，因而在事故中肌肉对于人体保护的作用是次要的，可以不予考虑。这种情况从根本上不同于慢性过载产生损伤的情况。在承受慢性过载荷时，人体通常事先会先有生理反应和心理反应。

3) 另一个重要的方面就是年龄。随着年龄的增长，人体生物力学特性不断发生变化，尤其是损伤限度随着年龄增长会越来越差，这种情况是由多种原因造成的。其中，人体内水分的减少和胶状物质横向链的增加，会导致组织柔性减少；另外，骨质中矿物质也随着年龄增长而减少，所以随着年龄的增长，人体越发容易发生骨折，在正常的生理载荷下出现的老年自发性骨折的情况也是广为人知的。在工业化国家，老年人对自发性骨折问题应该特别关注。

4) 在病理改变时人体的力学响应也是很重要的。在泌尿学中观察到的膀胱周围应力集中导致肾脏受损，颈部以前存在的损伤会加大挥鞭伤的效应，都是众所周知的并发症。

5) 在非常特定的情况下，处于分子阶层的微损伤在一定程度上有利于组织再生。如图 1-1 所示，由于松质骨中的微损伤导致微假体骨痂的形成，这可以作为损伤刺激骨骼重塑的例子。在长距离高强度的徒步旅行之后，微损伤在正常的脚骨中是很常见的。相反，长期过度承载可能会导致



图 1-1 微假体骨痂形成

注：图所示的是一个人体髌骨顶部切片（活组织）的 3D 微断层 X 射线图（即 micro CT），微骨折诱导新骨骼形成 [R. 穆勒 (R. Muller) 教授]

十分不利的影响。如图 1-2 所示的一位马拉松运动员的骨骼，由于过度训练导致其骨骼大幅度去矿化。

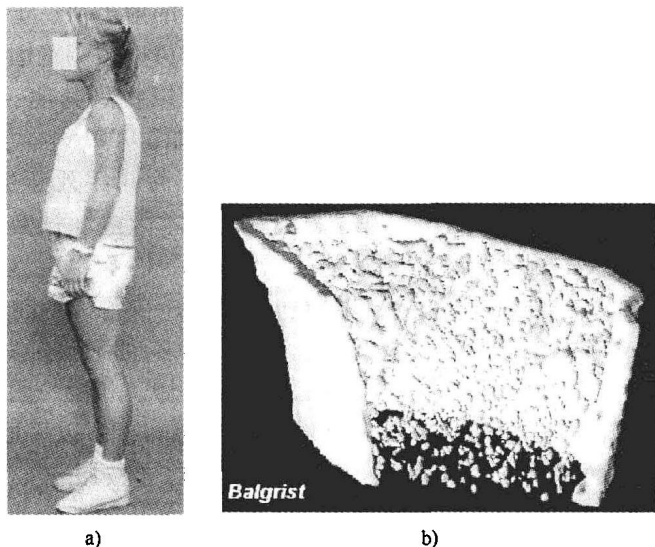


图 1-2 一位马拉松运动员的骨骼

a) 28 岁妇女 b) 其腕关节处的桡骨微断层 X 射线图

注：作为一名马拉松运动员，长期过度训练导致其桡骨处严重去矿化 [M. 丹巴赫尔 (M. Dambacher) 教授]。

6) 运动（体育运动、做家务等）或者机动（交通）过程中也会产生损伤。虽然在严格的规定限制下，生物学中广泛使用动物模型作研究，然而，运动和相关的损伤机理往往是非线性的，因此难以采用比例放大的方法来将老鼠的特性用于人类。因此，除了基本的生理方面知识外，只有少量的有关损伤生物力学方面的信息是从动物试验中得到的。

7) 当考虑整个与损伤相关的因素，例如事故原因、频率、预防、减轻、重建、长期后遗症以及对社会经济的影响等时，这必须由临床医师来做，因为是医生为门诊和住院的病人进行损伤治疗。在大部分与损伤风险相关的研究报告中，人们经常忽略的内容是整体死亡率下降在一定程度上是由于紧急救援、紧急救护程序和重症护理服务事业的迅速发展。可是，让医生来作事故及损伤机理的分析有时是错误的，因为医生对整个事故往往并不能完全了解，这或许和医生的主要工作是治疗病人有关。为此，对导致损伤事故的严重性以及因果关系进行主观性评估必须具有综合学科知识。事故分析时除了要考虑从临床医师那里获取的医疗信息外，同时也需要考虑各种技术环境和生物力学环境。因为法庭判决往往采用一些事故分析专家提供的信息作为重要证据，所以这些专家需要受到专门的教育

和拥有大量实际经验。

8) 本书局限于因意外而造成的损伤机理。然而,也可适当引用犯罪、暴力和战争环境中产生的损伤,相关研究内容还包括基本的射击伤、士兵保护服、仅产生低损伤的警用武器等。推荐对这些有兴趣的读者可以去浏览国际红十字协会(<http://www.icrc.org>)的一些出版物,在那里还可以找到其他一些参考资料。同时,不应低估在任何事件中故意损伤的重要性,如,2001年,美国有12 000人死于枪械事件(其中并不包括意外枪械事件),而同年死于交通事故的有11 000人(其中并不包括驾驶者)。在这方面,非技术因素(社会、政治、心理以及与社会方面相关的因素)也特别重要。

9) 当然,不发生事故也就不会产生损伤。因此,在各种可能造成损伤的情况下,都应该优先考虑预防损伤。最近几十年里,许多政府已经意识到预防交通事故发生的重要性,并且将其作为一项重要的工作来做。相反,国内和国际的运动协会认为运动中的损伤预防主要属于运动医学的范畴,所以采取严格的规章,禁止一些特别暴力的运动,同时不断研发保护性设施,例如头盔、护胫以及加强教育等来保护运动员。保险公司进一步支持各种预防损伤的活动并将其视为自己的部分使命,特别是有关工伤事故和家庭事故方面的活动。虽然所有这些预防性活动都是针对事故发生前的活动,但是在损伤产生和治疗后,伤员还需要长时间恢复。当然,为此政府部门、运动联盟、职业协会、临床治疗以及保险公司作出了极大努力。由于本书专注并局限于创伤生物力学,因此在预防及复原方面仅限于和产生损伤直接有关的知识。

虽然在体育活动、工作、家务活动中产生的损伤也同样很显著,但是创伤生物力学中许多系统的、定量的研究还是与交通事故有关。其主要有两个原因:第一,与本章将会讨论的其他人类活动相比,交通事故造成了更多重伤和致命伤,造成的社会损失也更高。因此,伴随着政府干涉、法规制定,交通事故责任问题使汽车工业处于极大的压力之下(公众对于R. 纳德(Ralph Nader)的著作《任何速度下均不安全》反应极其强烈),并刺激其开展深入研究和开发活动。第二,和其他类型的事故一样,虽然交通事故类型多、可变性大,但是也可以确定一些典型的、具有代表性的碰撞事故,例如车辆与障碍物正面碰撞或者进行90°侧面碰撞,这使得它们可以被确定为典型试验并进行定量的分析。相反,在体育活动、工作和家庭场所内,很难发现造成损伤的典型情况。

据统计,从生物力学的角度来看,有关运动伤等伤害的文献虽然比交通伤多,但是却不太严谨。其中,对损伤机理的描述性的解释、医疗对策、对受训者和负责工作场所安全的人的实用建议大大超过了对损伤的定量分析。搜寻到的包含人体损伤承受极限和损伤标准的定量信息的运动伤的有关文献,都会涉及交通事故分析中才有的结果。显而易见,开展运动事故研究的项目都是资金雄厚、有

背景的运动项目,例如英式足球、美式足球、滑雪等。不突出的体育活动,例如定向赛跑很少受人们的关注。

从解剖学和生理学的角度看,慢性过载荷情况下产生的损伤比交通事故中产生的损伤可变性更大。很难或者是不可能区分慢性过载荷损伤和因其他缘故而得的疾病。心理的影响对慢性过载荷损伤特别重要,而定量的信息却很少。例如,机械结构的振动或者工厂、娱乐场所的噪声标准被法规所限制,而这些法规是依据长期统计结果而不是依据生理试验制定的。

由上述可知,本书的主要内容是基于交通事故的损伤生物力学。在本章描述了基本定义和基本方法,后续章节将根据解剖学纲要划分的人体区域进行系统的编写,并且集中对从损伤机理角度来看是特别重要的部分进行讨论。然后,描述损伤可能产生的范围、潜在的损伤机理以及这些身体部位对载荷的生物力学响应,讨论基于已知的损伤极限值和损伤标准来评价损伤的可能性。在介绍了交通事故的损伤后,借助于那些与理解损伤机理相关的特殊的解剖部位,对运动损伤也进行了讨论,包括损伤分析和损伤极限标准。此外,每一章中的一个重要部分是致力于介绍一些推荐的或规定的保护措施以便来减轻损伤。另外,本书还提供了一些与损伤防护方法相关的其他信息和特殊主题。为了便于进一步阅读,在每一章的后面都给出了参考文献。

最后,第九章介绍慢性受载损伤的内容。可是,与此种损伤相关的许多实际内容都属于人机工程学、工厂安全和职业安全危害管理的范围。例如,在长期飞行过程中人体内血液流动不畅即血栓症,是由于人机座椅设计和乘员行为的问题,而不属于损伤生物力学的范畴。由于本书主要介绍损伤生物力学,所以不包括这些内容。读者可在美国职业安全健康管理网页 (<http://www.osha.gov>) 找到相关信息。

第二节 历史发展进程

生物力学作为一门科学,和力学一样古老。G. A. 博雷利 (Giovanni Alfonso Borelli) (1608—1679) 一生中大部分时间用于分析鸟类的飞行运动和鱼的游动,连续性力学的创始人 L. 欧拉 (Leonhard Euler) (1707—1783), 写过一篇有关动脉内血液流动的原理的论文 (“*Principia pro motu sanguinis per arterias determinando*”, 《确是血液在动脉中的流动原理》)。然而,直到 20 世纪中叶,损伤生物力学或创伤生物力学才成为一个系统性的研究学科,这主要归因于危险无处不在、随时可能降临,而损伤是与生命相关的一种自然特征。读者不应忘记在 1945 年以前的 2 000 年内,欧洲的停战期从未超过 15 年! 骑士将身穿的铁甲作为直接有效的预防损伤措施。

已知的第一位科学地、系统地从事损伤生物力学研究的人是德国慕尼黑的解剖学家 O. 梅塞雷尔 (Otto Messerer), 他在 1880 年出版了以他的研究结果为内容的《人体骨骼的弹性与强度》一书 (Cotta Publ., Stuttgart)。他的研究活动在当时相当孤立, 然而, 人们为了纪念他所作出的贡献而使用 “Messerer-wedge” 一词, 如今这个词组在法庭科学中相当有名。

如前文所述, 目前的损伤生物力学领域主要以交通伤为研究中心, 然而, 据历史上记载, 损伤生物力学起源于航空业。第一届美国国家街道和公路安全会议 (1924) 中涉及的内容以简单实用的方面为主, 例如交通灯的颜色和驾驶员培训, 生物力学没有受到人们的关注。但是, 那时的空军队员在训练、飞行中会承受极大的载荷, 故在空军中损伤生物力学已经是一项重要的内容。在研究很多飞机事故后, 有 “损伤生物力学之父” 之称的 H. 德黑文 (Hugh DeHaven) 开始着手于损伤机理分析。1942 年, 他发表了第一部著作《对从 50 ~ 100ft[⊖]高空跌落的幸存者受力分析》。随后的几年内, 空军将研究焦点集中于损伤生物力学, 超音速飞行的研发和弹射座椅动力学研究促进了损伤生物力学的研究。随后, 空军开始通过基础试验方法——无损伤的志愿者试验来确定人体生物力学响应和开发假人测试装置。

在航空损伤生物力学领域中最著名的开拓者是 J. P. 斯塔普上校 (Colonel John Paul Stapp), 他以其试验工作而著名, 其中包括一些亲身承受各种冲击的试验。在 20 世纪 50 年代初的一系列壮观的试验中, 其中一项是他亲自乘坐速度大约 1 000km/h 的火箭式滑板上, 而火箭式滑板要求在 1.4s 内停止在水池内, 则火箭式滑板要做加速度为 40g 的减速运动 (见图 1-3)。据报道, 试验中他并没



图 1-3 斯塔普上校坐在 “音速一号” 火箭式滑板上
注: 他大约需要承受 40g 的加速度 (<http://www.stapp.org>)。

⊖ 1ft = 0.304 8m

有受到严重的伤害。时代杂志称斯塔普上校为“地球上最快的人，同时也是美国空军第一英雄” [Time, September 12, 1955]。斯塔普上校创建了每年一次的“Stapp 汽车碰撞会议”，如今这个会议仍然是讨论损伤生物力学相关问题的一个顶级平台。斯塔普上校死于 1999 年，享年 89 岁。

不久，宇航学着手于在完全相反条件即失重条件下进行人体生理学研究，仍然在损伤生物力学上取得了一些发展。例如，第一个三维人体动态仿真模型 (R. D. Young, Texas A&M, 1970) 的开发就是为了分析人体在缺乏外力时的运动状态。对于交通事故，R. R. 麦克亨利 (McHenry) (Calspan Corp., Buffalo) 开发了第一个计算机模型用于分析前碰撞事故中人体的运动过程。在这种情况下，外力的影响是很重要的，因此，他对人体部位与外部结构的相互作用的模拟进行了大量仿真。受计算机的条件和数值计算的复杂性的限制，第一代的模型仅用于平面 (二维) 运动分析。

在汽车运输时代早期，人们认为安全问题主要取决于驾驶员，要求驾驶员应该对自己、车内其他乘员、其他车辆内的乘员、骑自行车的人以及行人的安全负责。第二次世界大战以前，人们曾经考虑过使用乘员约束系统，但并未普遍推广 (见图 1-4)。20 世纪二三十年代，汽车制造商也考虑到安全因素而逐渐改进汽车设计，例如采用可靠耐用的四轮汽车制动系统，用夹层安全玻璃取代平板玻璃作为风窗玻璃。随后的开发集中在采用密闭的集束大灯和无内胎车轮上，并采用全钢车体取代木质结构，以增强汽车的刚性。



图 1-4 由 G. D. 勒博 (Gustave D. Lebau) 所申请的汽车座椅安全带专利 (1903)

第二次世界大战后，汽车机动性能迅速提高，但是随之而来的是交通事故损伤的数量急剧增加，致使安全问题急需进一步强化。汽车碰撞损伤研究计划 (ACIR, Cornell University, 1951) 代表着第一次系统研究和分析有关交通事故的损