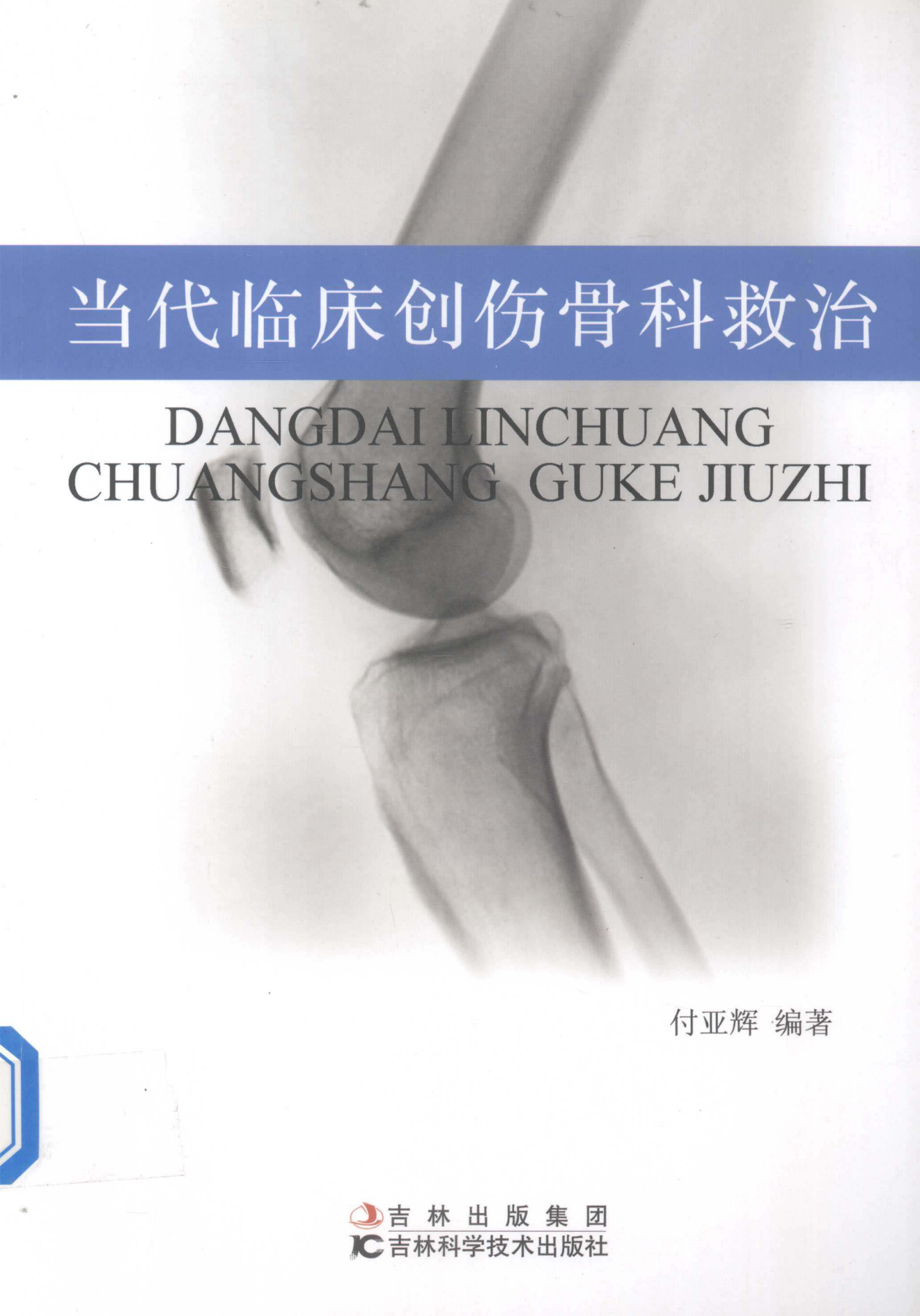


A grayscale X-ray image of a human knee joint, showing the femur, tibia, and patella. The image is positioned vertically, with the femur at the top and the tibia below it. The patella is visible on the right side of the femur.

当代临床创伤骨科救治

DANGDAI LINCHUANG
CHUANGSHANG GUKE JIUZHI

付亚辉 编著

A logo consisting of a stylized red and white circular emblem with a blue outline.

吉林出版集团
吉林科学技术出版社

当代临床创伤骨科救治

付亚辉 编著

 吉林出版集团
 吉林科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

当代临床创伤骨科救治 / 付亚辉编著. —长春：吉林科学技术出版社，2014. 5
ISBN 978-7-5384-7700-9

I. ①当… II. ①付… III. ①骨损伤—诊疗 IV. ①R683

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第089707号

当代临床创伤骨科救治

编 著 付亚辉
出 版 人 李 梁
责任编辑 许晶刚 丁 雷
装帧设计  东壁图书
制 版 天津市浩达图文设计制作中心
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 352千字
印 张 15
印 数 1-1000册
版 次 2014 年 5 月第 1 版
印 次 2014 年 5 月第 1 次印刷

出 版 吉林出版集团
吉林科学技术出版社
发 行 吉林科学技术出版社
地 址 长春市人民大街4646号
邮 编 130021
发行部电话/传真 0431-85677817 85635177 85651759
85600611 85670016
储运部电话 0431-84612872
编辑部电话 0431-85630195
印 刷 天津午阳印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5384-7700-9
定 价 48.00元
如有印装质量问题可寄出版社调换
版权所有 翻印必究

前 言

骨科学是研究运动系统伤病的科学。它内容丰富，涉及面非常广，近数十年发展迅速，成果辉煌。我国临床医药学界的学者们勇于探索，敢于实践，在临床治疗学领域的许多方面均取得了较好的创新进展，使我国临床治疗学在当今世界医学中占有重要的地位。

骨科疾患多而复杂，尤其骨折患者在骨科所占比例较大，病情紧急，并发症较多，如不及时治疗或治疗不当，往往留下较严重的后遗症，甚至残疾，严重影响健康和生活质量，故慎重选择骨折治疗方法，使临床医师亦有章可循，有据可依、可查，减少医患矛盾和纠纷，是编写本书的主要目的之一。

本书较全面地阐述了骨外伤基本理论，如骨的生物力学、骨折概述、骨外伤的处理、骨与关节损伤的影像诊断、严重骨折创伤并发症等。对现代骨科技术，如关节镜、人工关节置换、骨移植、显微外科技术等，从各章做了详细介绍。在此基础上，重点对手、上下肢、脊柱脊髓、骨盆、周围神经及四肢血管的疾病和创伤作了论述，特别对颈胸腰椎管狭窄、腰椎间盘突出、儿童脊柱畸形、先天性马蹄内翻足及髋关节脱位等均辟有专论。体现了本书理论与实践并重的特点。总之，《当代临床创伤骨科救治》一书为各级骨科医师提供了一个可行性、综合性的信息来源，将成为他们临床实践中的好助手。

在编写过程中，作者参阅了国内有关教材和专著，由于时间紧迫，编者的能力和水平有限，加之改革的框架结构是初步尝试，教材中难免存在错误和疏漏之处，恳请使用本教材的同仁和学生提出宝贵意见，以求再版时改进和完善。

付亚辉

目 录

第一章 绪论	1
第二章 骨折总论	7
第一节 骨的生物力学	7
第二节 骨折概述	23
第三节 骨折的闭合复位与外固定	30
第四节 骨折内固定技术	37
第五节 外固定架在骨创伤中的应用	41
第六节 多发性创伤与多发性骨关节损伤	47
第七节 开放性骨折与关节损伤	50
第八节 骨折延迟愈合和不愈合	54
第三章 骨与关节损伤的影像诊断	58
第一节 骨与关节损伤的 X 线诊断	58
第二节 骨与关节损伤的 CT 诊断	59
第三节 骨与关节损伤的 MRI 诊断	60
第四节 骨与关节损伤的肌电图诊断	61
第五节 关节镜在关节创伤中的应用	63
第六节 肌肉骨骼系统超声检查及常见疾病的超声表现	64
第四章 严重骨折创伤并发症	66
第一节 影响全身的并发症及其防治	66
第二节 局部并发症及其防治	73
第三节 骨折后遗症及其防治	76
第五章 周围神经创伤	79
第一节 周围神经损伤的原因、分类	79
第二节 周围神经损伤的诊断	80
第三节 周围神经损伤的治疗	85
第四节 重要周围神经损伤的治疗	89
第五节 周围血管损伤的原因、分类	97
第六节 周围血管损伤的诊断及急救处理	99
第七节 周围血管损伤的修复	102
第八节 周围血管伤后的并发症及防治	107
第九节 特殊部位的周围血管损伤	109
第六章 截肢	117
第一节 截肢技术的一般原则	117
第二节 下肢截肢技术	121

第三节	上肢截肢术·····	125
第七章	手、腕部、前臂损伤·····	129
第一节	手部骨折与脱位·····	129
第二节	腕部骨折与脱位·····	137
第三节	前臂骨折·····	148
第八章	肩肘部和胸部损伤·····	155
第一节	肘部骨折·····	155
第二节	肘关节脱位·····	160
第三节	肱骨干骨折·····	162
第四节	肩部骨折·····	163
第五节	肩关节脱位·····	170
第六节	肋骨骨折·····	178
第七节	胸骨骨折·····	179
第九章	脊柱与脊髓损伤·····	180
第一节	脊柱骨折·····	180
第二节	脊髓损伤·····	190
第十章	髋关节损伤·····	193
第一节	外伤性髋关节脱位与骨折·····	193
第二节	股骨颈骨折·····	203
第三节	股骨转子间骨折·····	207
第四节	股骨干骨折·····	209
第五节	股骨远端骨折·····	211
第十一章	膝关节损伤·····	213
第一节	髌骨脱位·····	213
第二节	膝关节韧带损伤·····	214
第三节	膝关节半月板损伤·····	216
第四节	胫骨平台骨折·····	218
第五节	胫腓骨干骨折·····	219
第十二章	小腿、足与踝关节损伤·····	221
第一节	胫腓骨骨干骨折·····	221
第二节	踝关节骨折·····	223
第三节	距骨骨折·····	226
第四节	跟骨骨折·····	228
第五节	跟腱断裂·····	230
参考文献 ·····		232

第一章 绪 论

一、创伤的概念

现代科学技术辞典（1980）解释“创伤是一种机械或物理因素引起的损伤，亦称外伤”；Haddon（1980）认为，“创伤是由于外界能量传入体内并超过机体耐受力而引起的伤害”。国外在公共卫生等非临床医学文献中常用“损伤”（injury）一词，而在临床和急救医学中则常用“创伤”（trauma）一词。《现代创伤学》（1998）解释创伤的含义可分为广义和狭义两种。广义而言，创伤是指人体受到外界某些物理性（如机械力、高热、电击等），化学性（如强酸、强碱、糜烂性毒剂等）或生物性（如虫、蛇、狂犬的咬蛰等）致伤因素作用后，所引起的组织结构的破坏。狭义而言，创伤是指机械力能量传给人体后所造成机体结构完整性的破坏。

多年以来，创伤一直被作为外科学的一个课题或病种，其主要内容无非是研究创伤的诊断和救治。随着科学技术的不断发展以及医学学科的不断细分，创伤医学已成为一门独立的学科，即创伤学（traumatology）。现代创伤学的范畴即包括各个部位创伤及其并发症的诊断、治疗和防护，同时也包括创伤的基础理论研究，如创伤感染学、创伤免疫学、创伤病理生理学、创伤病理解剖学、创伤分子生物学、创伤生物学、创伤营养代谢学等。此外，创伤的组织救护和急救器材、创伤的流行病学、创伤分类和严重度的评分，创伤的抢救与急救、创伤麻醉、创伤生物力学、创伤康复及创伤弹道学等，都是创伤学的重要内容。因此现在可以认为，创伤学是临床医学与基础研究相结合，并与其他学科相交叉的一门综合性学科。

二、创伤伤员的医学分类

为了进行准确的医学诊断和合理的临床治疗，一般都是采用伤部、伤型、伤因和伤情四方面相结合的方法，即可做到明确诊断，也能表示出损伤的严重程度。例如：右股骨中下段闭合性横断骨折。

1. 伤部

根据解剖生理关系，将人体分为 8 个部位，即颅脑、颌面、颈、胸、腹、骨盆、脊柱脊髓、上肢和下肢。据有关资料报道，头颈伤约占 15%~20%，躯干伤占 15%~20%，上肢伤占 25%~30%，下肢伤占 30%~35%，多发伤占 5%。

2. 伤型

①根据体表是否完整分为开放伤和闭合伤。开放性创伤包括：擦伤、撕裂伤、切伤、砍伤、刺伤。闭合性创伤包括：挫伤、挤压伤、扭伤、震荡伤、关节脱位和半脱位、闭合性骨折、闭合性内脏伤。

②根据火器伤伤道形态分为贯通伤、盲管伤、切线伤和反跳伤。

③根据体腔（颅腔、胸腔、腹腔、盆腔、脊髓腔、关节腔）是否被穿透，分为穿透伤和非穿透伤。

3. 伤因

- ①机械因素 如锐器切割、钝器打击、重物挤压、火器射击等。
- ②物理因素 如高温、低温、电流、放射线、激光等。
- ③化学因素 如强酸、强碱、化学战剂等。
- ④生物因素 如虫、蛇、犬等咬螫伤。

平时以机械性损伤多见，战时则以火器伤多见。如有两种或两种以上性质不同的致伤因素同时或相继作用于人体所致的损伤，称为复合伤。例如：核爆炸产生的光辐射、核辐射和冲击波可造成放射性复合伤、烧冲复合伤。

4. 伤情

目前尚无统一分类法，一般将伤情分为轻伤、中度伤、重伤。

① 轻伤 约占总伤员数的 30%~40%，无内脏伤，仅有体表轻微擦伤或挫伤，或小的开放性软组织伤，小的单纯骨折等。

② 中度伤 约占总伤员数的 30%~35%，损伤较重，虽一般无生命危险，但需及时治疗和处理，如广泛的软组织伤、开放性骨折、机械性呼吸道阻塞、肢体挤压伤、胸腹腔脏器伤等。

③ 重伤 约占总伤员数的 20%~25%，多为重要脏器和部位的严重损伤或复合伤，延误治疗有生命危险，即使积极救治，也可能出现并发症或遗留后遗症，如脑挫裂伤、颈椎骨折等。

三、创伤严重程度的评分法及应用

现代创伤评分始创于 70 年代，根据 30 年来的研究和实践，结合临床的需求创立了多种评分方案，但主要概括为二个类别：一是院前评分；另一是院内评分。由于评分具有定量表达严重伤和多发伤的标准化作用，因此至 80 年代，创伤的临床和研究工作中未用创伤评分说明伤员伤情的严重程度者，被视为非标准化缺陷，对其临床总结或论著文章的科学性和准确性亦难以评价。90 年代北美和欧洲创伤评分已广泛应用于创伤临床和研究工作。近几年来，国内也日渐重视，随着现代诊断和监测手段的不断进步，评分工作已从经验型转化为数理统计型，即应用数学理论和计算方法，用计算机管理和运算，这将使创伤的评分更加系统、简便、准确，必将有利于创伤的临床救治及评分的研究，使其更加理想和完善。

1. 院前评分

1.1 创伤记分简称 TS (trauma score) 内容见表 1-1 根据创伤记分判别伤情及预后。TS1~3 者，生理变化大，死亡率高(>96%)；4~13 者，生理变化明显，救治效果显著；14~16 者，生理变化小，存活率高(96%)。TS<12 为重伤标准，TS 灵敏度为 63%~85%，特异度为 75%~99%，准确度为 98.7%。

表 1-1 创伤记分

级 别	分 值	级 别	分 值
A.呼吸（次/min）		1.睁眼	自动睁眼 4
10~24	4		呼吸睁眼 3
25~35	3		刺痛睁眼 2
>35	2		不睁眼 1
<10	1	2.语言反应	回答切题 5
0	0		回答不切题 4
B.呼吸状态			答非所问 3
正常	1		只能发音 2
浅或困难小	0		不能言语 1
C.收缩压（kPa）		3.运动反应	按吩咐动作 6
>12.0	4		刺痛能定位 5
9.33~12.0	3		刺痛能躲避 4
6.67~9.20	2		刺痛肢体屈曲 3
<6.67	1		刺痛肢体伸展 2
0	0		不能运动 1
D.毛细血管充盈		GCS 总分	14~15 5
<2 秒	2		11~13 4
>2 秒	1		8~10 3
无	0		5~7 2
E.格拉斯哥昏迷指数			3~4 1
A+B+C+D+E 总分=创伤计分			

1.2 CRAMS 评分 根据生理指标与外伤部位相结合，用循环、呼吸、腹胸部、运动、语言 5 个参数的英文字头建立了 CRAMS 评分，内容见表 1-2。

表 1-2 CRAMS 评分

参 数	级 别	分 值
C.循环	毛细血管充盈正常和收缩压>13.3kPa	2
	毛细血管充盈延迟和收缩压 13.3kPa	1
	毛细血管充盈正常和收缩压<13.3kPa	0
R.呼吸	正常	2
	异常（费力、浅或>35 次/min）	1
	无	0
A.腹胸部	腹或胸无压痛	2
	腹或胸有压痛	1
	腹肌抵抗、连枷胸或胸腹有贯通伤	0
M.运动	正常或服从命令	2
	仅对疼痛有反应	1
	固定体位或无反应	0
S.语言	正常自动讲话	2
	胡言乱语或不恰当语言	1
	无或不可理解	0

5 个参数级别分值的总和即为该评分。<7 为重伤，病死率为 62%；≥7 为轻伤，病死率为 0.15%。其灵敏度为 83%~91.7%，特异度为 49.8%~89.8%。

1.3 院前指数（PHI） 以收缩期血压、脉率、呼吸状态、神志 4 项生理指标作为评

分参数，每项又分为 3~4 级，4 个参数得分之和即为 PHI。有胸腹部贯通伤者再加 4 分为 PHI 最后分值。内容见表 1-3。

表 1-3 PHI 评分

参 数	级 别	分 值	参 数	级 别	分 值
收缩压（kPa）	>13.3	0	呼吸	正常	0
	11.5~13.5	1		费力或浅	3
	10.0~11.3	2		<10 次/min 或需插管	5
	0~9.86	5	神志	正常	0
脉率（次/min）	≥120	3		混乱或好斗	3
	51~119	0		无可理解的语言	5
	<50	5			

0~3 为轻伤，死亡率为 0，手术率为 2%；4~20 为重伤，死亡率为 16.4%，手术率为 49.1%。灵敏度为 94.4%，特异度为 94.6%。

2. 院内评分

2.1 AIS-ISS 评分 将全身分为 6 个部分，面部单列，从中选出 3 个最重要伤情计算分值，精简伤情见表 1-4。

对单一部位伤可用 AIS 说明损伤程度，对多部位、多发伤和复合伤则须用 ISS 评分。ISS<16 为轻伤，≥16 为重伤，≥25 为严重伤。根据近年来的实践，其方法实用价值较高，正在逐渐广泛应用于创伤临床和研究工作。

2.2 APACHE II 评分 用 12 个常规生理生化指标（A）、年龄（B）、慢性健康状态（C）、以记分法衡量病情严重程度和预后。APACHE II 评分分值为 A、B、C 三项之和，最高值为 71，一般患者在 55 以下，分值增加，患者死亡危险亦增大。

表 1-4 AIS-ISS 精简伤情表（钝伤）

AIS					
分值	1	2	3	4	5
伤情	轻度	中度	重度不危及生命	重度危机生命	危重或可成活
头颈部	1. 头部外伤后头痛/头晕	1. 意外事故致记忆衰退缺失	1. 昏迷 1~6h	1. 昏迷 1~6h，伴神经障碍	1. 昏迷伴有不当的动作
	2. 颈椎扭伤，无骨折	2. 嗜睡/木僵/迟钝，能被语言刺激唤醒	2. 昏迷<1h 伴神经障碍	2. 昏迷 6~24h 恰当反应	2. 昏迷>24h
		3. 颅底骨折	3. 颅底骨折	3. 仅对疼痛刺激有恰当反应	3. 脑干损伤
		4. 粉碎、开放或凹陷性颅顶骨折脑挫裂伤/蛛网膜下腔出血	4. 粉碎、开放或凹陷性颅顶骨折脑挫裂伤/蛛网膜下腔出血	4. 颅骨骨折性凹陷>2cm	4. 颅内血肿>100ml
		5. 甲状腺挫伤	5. 颈动脉内膜撕裂/血栓形成	5. 脑膜破裂或组织缺失	5. 颈 4 或以下的颈髓完全损伤
		6. 臂丛神经损伤	6. 喉、咽挫伤	6. 颅内血肿≤100ml	
		7. 颈椎棘突或横突骨折	7. 颈髓挫伤	7. 颈髓不全伤	
		8. 颈椎轻度压缩骨折（≤20%）	8. 颈椎或椎板、椎弓根或关节突骨折	8. 喉压、轧伤	
			9. >1 个椎体的压缩骨折或前缘压缩>20%	9. 颈动脉内膜撕裂/血栓形成伴神经障碍	

面部	1.角膜擦伤 2.舌浅表裂伤 3.鼻骨或下颌骨 枝骨折 4.牙齿折断/撕 脱/脱位	1.颧骨、眶骨， 下颌体或髁状 突骨折 2.LEFORT I 骨 3.巩膜/角膜裂 伤	1.视神经裂伤 2.LEFORT II 骨折 3.膈肌破裂 4.肋骨骨折 ≥ 4 5.锁骨下或无名动 脉内膜裂伤/轻度裂 伤/血栓形成 6.轻度吸入性烧伤 7.胸椎脱位或椎板 或椎弓根或关节突 骨折 8.椎体压缩骨折 >1 椎骨或高度 $>20\%$	1.LEFORT III 骨折 2.纵隔积血或积气 3.双侧血气胸 4.连枷胸 5.心肌挫伤 6.张力性气胸 7.血胸 $\geq 1000\text{ ml}$ 8.气管断裂 9.主动脉内膜撕裂 10.锁骨下或无名 动脉重度裂伤 11.脊髓不完全损 伤综合征	1.多肺叶挫伤或裂 伤 2.心脏裂伤 3.支气管/气管破 裂 4.连枷胸/吸入烧 伤需机械通气 5.喉、气管分离 6.多肺叶撕裂伤 伴张力性气胸，纵 隔积血积气或血 胸 $>1000\text{ ml}$ 7.脊髓裂伤或完 全损害
胸部	1.肋骨骨折 2.胸椎扭伤 3.胸壁挫伤 4.胸骨挫伤（有 血、气胸或血气 纵隔加1）	1.2~3肋骨骨折 2.胸骨骨折 3.胸椎脱位或棘 突或横突骨折 4.胸椎轻度压缩 骨折（ $\leq 20\%$ ）	1.肺挫伤/裂伤 ≤ 1 2.单侧血或气胸 3.膈肌破裂 4.肋骨骨折 ≥ 4 5.锁骨下或无名动 脉内膜裂伤/轻度裂 伤/血栓形成 6.轻度吸入性烧伤 7.胸椎脱位或椎板 或椎弓根或关节突 骨折 8.椎体压缩骨折 >1 椎骨或高度 $>20\%$	1.多肺叶挫伤或裂 伤 2.纵隔积血或积气 3.双侧血气胸 4.连枷胸 5.心肌挫伤 6.张力性气胸 7.血胸 $\geq 1000\text{ ml}$ 8.气管断裂 9.主动脉内膜撕裂 10.锁骨下或无名 动脉重度裂伤 11.脊髓不完全损 伤综合征	1.重度主动脉裂 伤 2.心脏裂伤 3.支气管/气管破 裂 4.连枷胸/吸入烧 伤需机械通气 5.喉、气管分离 6.多肺叶撕裂伤 伴张力性气胸，纵 隔积血积气或血 胸 $>1000\text{ ml}$ 7.脊髓裂伤或完 全损害
腹部	1.擦伤/挫伤，表 浅裂伤：阴囊、 阴道、阴唇、会 阴 2.腰扭伤 3.血尿	1.挫伤/浅表裂 伤：胃、肠系膜、 小肠、膀胱、输 尿管、尿道 2.轻度挫伤/裂 伤：胃、肝、脾、 胰	1.浅表裂伤：十二 指肠、结肠、直 肠、膀胱、输尿 管、尿道 2.穿孔：小肠/肠 系膜、膀胱、输 尿管、尿道 3.大血管重度挫伤/ 轻度裂伤或血腹 1000ml 的肾、肝、 脾、胰 4.轻度髂动/静脉裂 伤后腹膜血肿 5.腰椎脱位或椎板、 椎弓根、关节突骨折 6.椎体压缩骨折 >1 椎骨或 $>20\%$ 前缘 高度	1.穿孔：胃、十二 指肠、结肠、直 肠、膀胱、小 肠、直肠 2.穿孔伴组织缺 失：胃、膀胱、 肠、输尿管、尿 道 3.严重肝裂伤 4.严重髂动或静脉 裂伤 5.不全截瘫 6.胎盘剥离	1.重度裂伤伴组 织缺失或严重污 染：十二指肠、结 肠、直肠 2.复杂破裂：肾、 肝、脾、胰 3.完全性脊髓损 害
四肢	1.挫伤：肘、肩、 腕、踝 2.骨折/脱位： 指、趾 3.扭伤：肩锁、 肩肘、指、腕、 髌、踝、趾	1.骨折：肱、桡、 尺、腓、胫、锁、 跟、趾骨支或骨 髌 2.脱位：肘、手、 肩、肩锁 3.严重肌肉/肌 腱裂伤 4.内膜裂伤/轻 度撕裂伤 5.坐骨神经撕裂 6.内膜裂伤/轻度 撕裂伤：股动脉 7.重度裂伤（ $\pm$ ）血 度撕裂：腕、肱、 桡动脉；腕、股、 腓、胫、或股静 脉（开放、 移位、粉碎加1）	1.骨折：肱、桡、 尺、腓、胫、锁、 跟、趾骨支或骨 髌 2.脱位：腕、踝、 膝、肘、髌、趾 3.膝下或上肢离 断 4.膝韧带断裂 5.坐骨神经撕裂 6.内膜裂伤/轻度 撕裂伤：股动脉 7.重度裂伤（ $\pm$ ）血 度撕裂：腕、肱、 桡动脉；腕、股、 腓、胫、或股静 脉（开放、 移位、粉碎加1）	1.骨盆粉碎性骨折 2.膝上外伤性离 断/性骨折 3.重度撕裂伤：股 或肱动脉 4.严重髂动或静 脉裂伤 5.不全截瘫 6.胎盘剥离	1.骨盆碾压性骨折 开放性骨盆碾压 性骨折 2.膝上外伤性离 断/性骨折 3.重度撕裂伤：股 或肱动脉 4.严重髂动或静 脉裂伤 5.不全截瘫 6.胎盘剥离

体表	1.擦 / 挫 伤：1.擦 / 挫 伤：> II 度~III 度烧伤/脱 II 度~III 度烧伤/ II 度~III 度烧伤/ ≤1.25cm 面 / 25cm 面/手，> 套伤达体表总面积 脱套伤达体表总面 脱套伤达体表总 手，≤50cm 身 50cm 身体 20%~29% 积 30%~39% 面积 40%~49% 体 2.裂 伤：> 5cm 2.表 浅 裂 伤：面/手，> 10cm ≤5cm 面/手，身体 ≤10cm 身体 3.II 度~III 度烧 3.I 度 烧 伤 至 伤/脱套伤达体 100% 表总面积10%~ 4.II 度~III 度烧 19% 伤 / 脱 套 伤 < 10% 体 表 总 面 积
----	---

注：AIS=6 最大损伤 自动确定为 ISS=75
头/颈部：碾压骨折，脑干碾压撕裂，断头、颈三节以上，颈髓下轧/裂伤 或完全横断，有或无骨折。
胸部：主动脉完全离断，胸部广泛碾压。
腹部：躯干横断。
体表：II 度或III度烧伤或脱套伤≥90%体表面积。

第二章 骨折总论

第一节 骨的生物力学

一、生物力学基础

生物力学是一门新兴的边缘科学，它的应用和研究有着悠久的历史。Galileo（1638年）首先发现施加载荷与骨形态有关系。Bell（1834年）指出骨可以使用尽可能少的材料来承担负荷。Ward（1838年）报告增加压缩载荷可增加骨的形成。Luduig（1852年）著述认为重力和肌力对维持骨的质量是必要的。Herman Von Meyer 在 1867 年的报告中指出，骨的内部结构和外部形态一样，与其承受载荷的大小及方向有直接关系。Wolf（1892年）发表了著名的《骨转化定律》，这一法则已得到临床和实验的支持。

近年来，生物力学引起人们的广泛关注，发展十分迅速。骨生物力学是医学生物力学的一个分支，是力学、生理学、解剖学等有关学科结合而成的一门新兴学科，其研究对象为骨关节力学性质、骨疾病，内外固定、骨矫形，促进骨折愈合，以及假体的研制和应用等。

（一）基本概念

1.应力：应力是指单位面积上的负荷力，它是对外来负荷作用于一个结构上的反应。

人体总是处于平衡状态的，骨骼受到的作用力必然会引起内力，它总是与外力维持平衡的。假定我们用一个假想的截面将骨头截开，然后画上内力，根据平衡条件就可以算出内力的大小，这种方法就叫做截面法。

衡量一个物体内力的大小，应该用单位面积上内力的大小为依据，这个单位面积上的内力大小叫做应力，写成公式为

应力=内力/截面面积

或 应力=外力/截面面积

即 $\sigma = P/A$ （单位常用 MPa（MN/时））

最常用的有 3 个单位来表示标准骨样本的应力，即每平方厘米的牛顿力（N/cm²）；每平方米牛顿力（N/时，Pa）和每平方米的兆牛顿力（MN/时）或兆帕斯卡（MPa）。它们的换算关系为：

1Pa=1 N/m²

1 kPa = 10³ Pa

1 MPa=10⁶ Pa

1 GPa=10⁹ Pa

根据外力的方向，应力可分为牵拉应力、压缩应力和剪切应力。应力的单位为 Pa。

通常情况下，骨组织接受的外力是牵拉力、压缩力和剪切力的综合。骨组织对不同方向外力作用的承受能力是不同的。其承受能力大小依次是：压缩力、牵拉力和剪切力。

2.应变：应变是指结构的形变。应变有两个基本类型：一是线性应变，它可引起标本长度的变化；一是剪切应变，即引起成角关系的变化。线性应变是指线性形变（增长或缩短）的量除以样本原来的长度。它为非大小参数，用百分比来表示。剪切应变则是用成角变化来测量，所以用弧度来表达。当骨长度改变时，其宽度也会相应改变。骨宽度应变与长度应变的比值叫泊松比值，这一比值在皮质骨中是 0.28-0.45。

3.5 种基本变形：骨骼在受到载荷作用后，骨骼本身就有一种抵抗载荷作用的能力，会引起应力。一般骨骼受载后的变形形式分为拉伸、压缩、弯曲、剪切和扭转 5 种基本变形（图 2-1）。

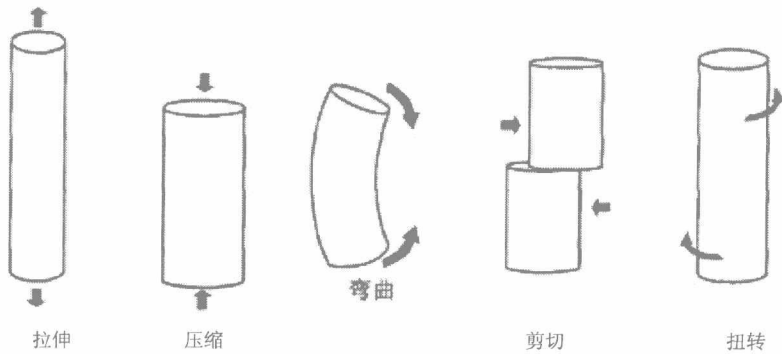


图 2-1 骨的 5 种基本变形

- (1) 轴向拉伸和压缩：若在直杆两端沿轴线有两个大小相等、方向相反的外力，直杆的主要变形为长度的改变，这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。
- (2) 弯曲：直杆受到在杆的纵向平面内一对大小相等、转向相反的外力偶作用，变形后的杆轴线将弯成曲线，这种变形形式称为纯弯曲。
- (3) 剪切：在一对相距很远、大小相等、方向相反的横向外力作用下，直杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生错动，这种变形形式称为剪切。
- (4) 扭转：直杆受到垂直于杆轴线平面内的一对方向相反的外力偶作用，相邻横截面将绕轴线发生相对扭转，而轴线仍维持直线，这种变形形式称为扭转。
- (5) 在基本变形作用下的典型骨折（图 2-2）。

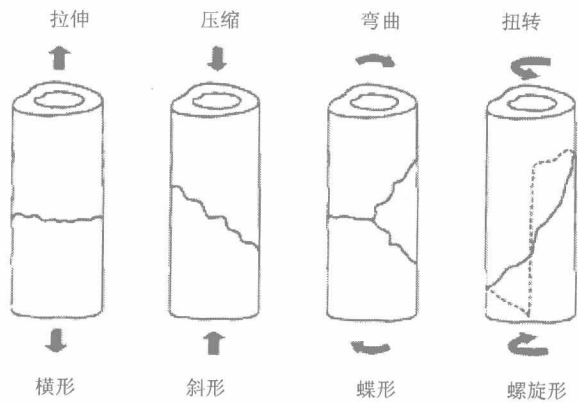


图 2-2 在单纯加载方式下的典型骨折

4.蠕变、松弛与滞后

(1) 蠕变：试件在某一固定温度和固定应力下，其变形随时间的增长而增加，这种现象称为蠕变。可由应变与时间关系得到蠕变曲线。

(2) 松弛：如果试件在固定温度下受力时，应变保持不变，而应力随时间增长而降低，这种现象称为应力松弛。由应力与时间关系得到松弛曲线。

(3) 滞后：对试件加载后随之卸载，得到两条不重合应力-应变曲线，这种现象称为滞后。

5.应力集中：在简单拉伸和压缩时，杆件横截面上的应力是均匀分布的。但是，若有孔、槽、沟、螺纹时，横截面突然改变，就会引起缺口附近应力局部增大，离开孔槽或缺口稍远，应力分布仍趋于均匀，这种现象称为应力集中。

6.弹性、均匀连续和各向同性：如果外力一旦去除后，就能完全恢复原形状和性质，叫做弹性。具有弹性的物体叫做弹性体。如果一旦去除外力，不能恢复形状，物体具有这种保持变形的性质，叫做塑性。我们将能恢复的变形叫弹性变形，另一部分不能恢复的变形叫永久变形或塑性变形。外力不超过某一个限度时，物体才能表现出弹性这一性质，因此，我们将这一限度叫做弹性限度。

为了便于计算，将真实的弹性体如钢材加以理想化，假定物体的内部是连续不断地充满着均匀的物质，叫做均匀连续，而且各个方向上都具有相同的性质，这就叫各向同性。否则称为各向异性。

7.强度、刚度和稳定性：强度是指生物材料或非生物材料组成的试件抵抗破坏的能力。所谓破坏通常是指断裂或产生了过大的塑性变形。刚度是指材料抵抗变形的能力。刚度的要求是材料在载荷作用下产生的弹性变形不超过一定的范围。稳定性的要求是指承受载荷作用材料在其原有形状下保持平衡。

(二) 骨的基本生物力学特征

1.应力和应变之间的关系—虎克定律：实验证明在弹性范围内，材料的绝对伸长（或缩短） ΔL 与轴向外力 P 及杆长 L 成正比，而与横截面面积 A 成反比，即

$$\Delta L = PL/EA$$

该式称为虎克定律。若用应力应变表达，可写成另一形式

$$\sigma = E\varepsilon$$

也就是说，在弹性范围内，应力和应变成正比。其中，比例常数 E 是纵向弹性模量， E 越大，材料就越不易变形，它是衡量材料抵抗变形能力的指标之一。 E 的量纲与应力相同， EA 称为抗拉（压）刚度。例如，钢的纵向弹性模量为 2000Pa，铜为 100GPa，铝为 70GPa，木材（顺纹）为 8-15 GPa。人体四肢长骨密质骨的纵向弹性模量为 15-20 GPa，肌腱约为 0.02 GPa，肋软骨约为 0.012 GPa。

2.应力-应变曲线：求骨的应力应变值可将标准化的骨组织标本放在测试机械上，使之负荷，直至衰竭。将求得的值描于应力-应变的曲线上（图 2-3），可见 A 为屈服点。一旦超过屈服点，形变将是永久的，材料的强度可用能量贮存来代表，即在整个曲线下的区域。刚度是用弹性区内曲线的坡度来代表。刚度值是曲线弹性区（直线）上任何一点的应力除以该点的应变。所得的商数称为弹性模量（Young 氏模量）。材料越硬，模量也越高。

屈服点 (A)：若超越此点，骨标本将出现永久性形变。屈服应力 (A')：在塑性形变出现以前，骨标本上承受的每单位面积的负荷。屈服应变 (A'')：在塑性形变出现以前，骨标本能承受的形变量。在弹性区，任何点上的应变与该点上的应力呈正比。最终衰竭点 (B)：超过这点，将出现标本衰竭。最终应力 (B')：在标本衰竭前，每单位面积所承受的负荷。最终应变 (B'')：衰竭前标本能承受的形变量。外力的作用下，骨的应变是随应力变化而改变的。它们的关系分为两个阶段：弹性阶段和塑性阶段。弹性阶段是指应力的增加到达骨的弹性极限，或屈服点之前。在此阶段中应变随着应力的增加而呈线性比例增加。此时如撤销外力作用，变形的骨组织可恢复到受力前的状态，其变形过程中所消耗的能量也可随之恢复。塑性阶段是指屈服点后的阶段。这时的骨组织已发生结构上的损坏而产生了永久性的变形，又称塑性变形。其主要原因是骨的微结构产生了器质性变化，当应力增加到一定程度，骨发生断裂而产生骨折。导致骨折所需的应力称为最大应力，或骨的极限强度。屈服点后的应变曲线反应了骨组织的延展性，或脆性。屈服点与骨折点之间的曲线越短，骨的脆性就越高，反之，其延展性就越好。

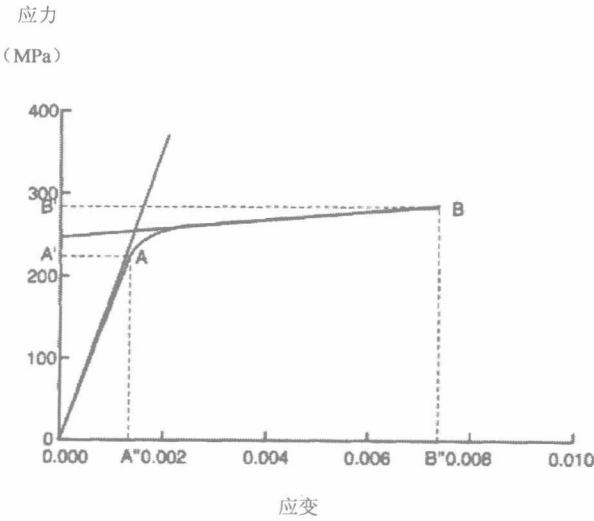


图 2-3 人密质骨典型的应力-应变曲线

3.不同性质的骨结构各有其机械性能(表 2-1)。皮质骨比松质骨硬，它能承受较大的应力，但在衰竭前，承受较小的应变。在体外，松质骨在应变超过 75%时才会折断，而皮质骨如果应变超过 2%就将折断。由于松质骨呈泡沫状结构，它能承受更多的能量贮存(图 2-4)。

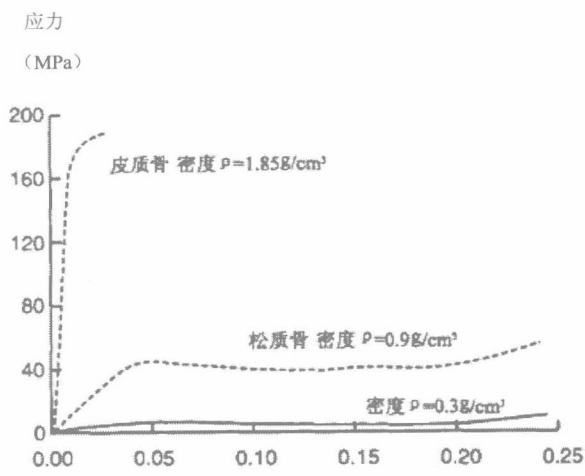


图 2-4 不同密度的皮质骨与松质骨的压缩应力—应变曲线

4. 由于骨的纵向结构和横向结构是不同的，它也表现出不同的机械性能，负荷随着不同的轴位，出现各向异性特征（表 2-2）。

表 2-1 人类股骨干皮质骨最大强度值

加载方式	最大强度 (MPa)
轴向拉伸	135±15.6
轴向压缩	205±17.3
轴向剪切	71±2.6
横向拉伸	53±10.7
横向压缩	131±20.7

引自：Reily DT, et al. *Journal of Biomechanics*, 1975, 8: 393-405

表 2-2 人类皮质骨呈现各向异性

加载方式	弹性模量 (GPa)
轴向	17.0
横向	11.5
剪切	3.5

引自：Reily DT, et al. *Journal of Biomechanics*, 1975, 8: 393-405

（三）骨的基本生物力学试验

1. 骨的扭转：直杆承受垂直于杆轴线平面内一对大小相等、转向相反的外力偶作用，杆内任意两截面都绕过轴线发生相对转动，杆件这种变形称为扭转变形，简称扭转。例如，机器中的传动轴，手摇钻钻入骨内的克氏针等。纯扭转杆件不多，这里讨论的是杆件以扭转变形为主，其他次要变形较小，可忽略不计的扭转问题。杆件横截面的形状可以为圆、空心圆、椭圆、矩形等。下面以圆柱体为例，介绍关于扭转中的一些概念（图 2-5）。