

HUOQISHANG
WAIKEXUE

李主一 主編

火器伤外科学

人民军医出版社

98156

火 器 伤 外 科 学

李主一 主编

人 民 军 医 出 版 社

1003 • 北 京

内 容 提 要

《火器伤外科学》是一本科学性、实用性较强的野战外科参考书。本书共3篇29章，内容包括火器伤外科基础、火器伤外科总论以及全身各部位火器伤的特点和救治原则。对创伤弹道学理论研究及四肢战伤晚期应用显微外科技修复和功能重建方面取得的新理论、新进展、新技术、新方法作了重点介绍。对颅脑、颌面颈部、眼部、耳鼻咽喉部、胸腹部、脊柱、骨盆、四肢、周围神经和周围血管火器伤进行了详细的论述。另外还总结了战伤护理的经验。

本书对平时、战时各种火器伤的救治具有重要的指导价值，适于各级外科医师和野战外科研究工作者参考。

责任编辑 罗子铭 张晓宇

火器伤外科学

李主一 主编

人民军医出版社出版

(北京复兴路22号甲3号·邮政编码: 100842)

北京孙中印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787×1092mm 1/16·印张: 32.375·字数: 789千字

1994年4月第1版 1994年4月(北京)第1次印刷

印数: 1200 定价: 40.00元(精装)

ISBN 7-80020-411-1/R·352

(科技新书目: 307—194⑦)

序

《火器伤外科学》反映了80年代我军在野战外科及战伤救治研究方面取得的新理论、新进展、新技术、新方法，是一本内容丰富、科学性、实用性较强的野战外科参考书。

本书内容包括火器伤外科基础理论，火器伤外科总论，以及全身各部位火器伤的特点及其救治原则。有许多成功的经验，也有一些深刻的教训；有现代火器伤研究的最新成果，也有多年来火器伤救治的临床总结。特别是对四肢火器伤晚期，总结了临床应用显微外科技术进行修复与功能重建数百例的经验，在学术、技术方面达到了很高的水平，其多项研究成果曾获得军队及国家科技进步奖。

本书主编及参加编写人员均亲自参加过前线及后方医院的战伤救治工作，有丰富的实践经验及较高的学术水平，在火器伤理论及战伤救治临床研究方面取得了显著的成就，他们在本书的编写过程中付出了辛勤的劳动。

《火器伤外科学》在我国首次出版，对提高我国火器伤的救治水平和促进野战外科研究工作有重要的指导意义。本书主要供部队各级内外科医师学习参考，对地方医院救治平时火器伤也有指导意义。我们相信本书的出版，对我军战伤救治的研究和发展将发挥应有的贡献。

总后卫生部部长

张立平少将

一九九三年九月

前 言

随着武器的不断发展,现代战争火器伤的伤情更趋向复杂和严重,多发伤和休克发生率均会增加。在一次战役、战斗中,可能发生数千名甚至更多的伤员,需要迅速组织抢救、后送和分级救治。大批火器伤伤员救治水平的高低,对提高部队战斗力,减少伤残率和死亡率有重要意义。为了研究在野战条件下进一步提高对火器伤的救治水平,我们在总结我国西南边境作战战伤救治经验和对火器伤理论研究的基础上,参考了国内外有关的战伤救治先进经验,编写了《火器伤外科学》。

《火器伤外科学》是在一般外科学的基础上发展起来的,而又与创伤外科学的概念有所不同。“火器伤外科学”重点是研究现代爆炸性火器的致伤原理、创伤弹道学、火器伤病理学特点及各部位火器伤的特点及其救治原则。

本书内容丰富,反映了我军80年代火器伤研究的新发展、新理论以及火器伤救治的新技术、新方法。本书可供野战外科研究工作者,军队各级内外科医生参考,对救治平时火器伤也有指导价值。

全书分为3篇29章。内容包括火器伤外科基础理论、火器伤外科总论和各论,对全身各部位伤的早期急救、中期后续治疗、晚期的功能恢复等,作了详细的论述,如颅脑、颌面颈部、眼部、耳鼻咽喉部、胸、腹部及脊柱、骨盆、四肢火器伤,周围神经和周围血管火器伤等救治技术。还总结了战伤护理的宝贵经验。

本书在编写过程中得到总后卫生部、人民军医出版社、成都军区昆明总医院、解放军第一〇五医院及有关医院的大力支持,军内有关野战外科专家的指导和建议,赵玲、黄云江、安梅等参加了绘图、誊写工作,谨致以衷心的感谢。

由于我们的水平和经验有限,本书内容难免有不足之处,殷切希望军内外广大读者提出批评意见。

李主一

一九九二年八月一日

《火器伤外科学》编委

主 编：李主一

副主编：陆一农 翁龙江

编 委（以姓氏笔画为序）：

方东海	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	副主任医师、副教授
王德文	军事医学科学院病理研究室	主任、研究员
王传达	成都军区昆明总医院泌尿外科	主治医师
李主一	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	主任医师、教授
李其训	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	副主任医师
李嘉寿	解放军105医院骨科	主任医师
李彦	成都军区昆明总医院麻醉科	主任医师、教授
李敏	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	护士长、主管护师
肖光夏	第三军医大学烧伤研究所	主任医师、教授
沙丽君	成都军区昆明总医院呼吸内科	主任医师、教授
杜炎鑫	成都军区昆明总医院腹部外科	主任医师
张仲彦	成都军区昆明总医院眼科	主任医师、教授
张学海	成都军区昆明总医院肾病内科	主任医师、教授
汪遵善	合肥炮兵学院	教授
杨鸿秀	成都军区昆明总医院	副院长、副主任医师
周中英	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	副主任医师、副教授
周训银	成都军区昆明总医院口腔科	主任、主任医师
<u>陆一农</u>	解放军105医院骨科	主任医师
柏秀松	成都军区昆明总医院脑外科	副主任医师
郑韶先	第一军医大学泌尿外科	主任医师、教授
胡威夷	成都军区成都总医院脑外科	主任医师、教授
莫宽	成都军区昆明总医院胸外科	副主任医师
翁龙江	成都军区昆明总医院全军创伤外科中心	副主任医师、副教授
黄建梅	成都军区昆明总医院腹部外科	副主任医师
黄兴敏	解放军59医院胸外科	主任医师

目次

第一篇 火器伤的外科基础

第一章 火器性武器的杀伤作用····· (2)	目的与意义····· (20)
第一节 杀伤作用和杀伤作用场····· (2)	第二节 创伤弹道的局部反应····· (21)
第二节 现代杀伤弹药的新特点及枪弹 研制的新发展····· (5)	第三节 伤道周围邻近组织伤的 实验观察····· (30)
第三节 人员的杀伤····· (8)	第四节 骨骼火器伤····· (41)
第四节 实验研究的意义和方法····· (11)	第五节 创伤弹道学发展近况····· (48)
第二章 投射物致伤的理论及其发展····· (13)	第四章 火器伤病理学····· (50)
第一节 投射物的致伤作用····· (13)	第一节 投射物所致直接损伤的 病理变化····· (50)
第二节 三种压力及其变化特点····· (13)	第二节 投射物所致间接损伤的 病理变化····· (54)
第三节 影响致伤作用的因素····· (16)	第三节 投射物致伤时的全身反应····· (60)
第三章 创伤弹道学基础与发展····· (20)	第四节 多系统脏器衰竭的病理变化····· (62)
第一节 创伤弹道学研究内容、	

第二篇 火器伤外科总论

第五章 火器伤的分类····· (66)	第七章 战时后方医院伤员的救治管理 ··· (81)
第一节 火器伤分类的意义····· (66)	第一节 伤员的入院管理 ··· (81)
第二节 火器伤分类的方法····· (66)	第二节 伤员的救治管理 ··· (82)
第三节 火器伤分类存在的问题····· (69)	第三节 伤员的转出院管理 ··· (84)
第六章 火器伤的分级救治与卫勤 相关问题····· (70)	第四节 伤员的伤残评定管理 ··· (86)
第一节 伤员流的特点····· (70)	第五节 伤员的统计工作管理 ··· (86)
第二节 火器伤的分级救治····· (73)	第八章 火器伤急救的五大技术 ··· (96)
第三节 “两山”作战卫勤保障及 战伤救治特点····· (76)	第一节 通气 ··· (96)
第四节 后方医院火器伤的特点及 处理原则····· (78)	第二节 止血 ··· (103)
	第三节 包扎 ··· (107)
	第四节 固定 ··· (113)
	第五节 搬运 ··· (119)

第九章 战伤休克的治疗与

心、肺、脑复苏 (121)

第一节 战伤休克的治疗 (121)

第二节 循环骤停与心、肺、脑复苏 (132)

第十章 战伤麻醉 (141)

第一节 全身麻醉 (141)

第二节 各部位战伤麻醉 (145)

第三节 休克伤员的麻醉 (148)

第四节 低氧血症伤员麻醉与机械 通气 (150)

第五节 展望 (157)

第十一章 火器性烧伤 (159)

第一节 概况 (159)

第二节 火器性烧伤的救治 (161)

第十二章 高原战伤特点及救治原则 (168)

第一节 高原环境及其对机体的影响 (168)

第二节 高原环境对战伤救治与卫勤 保障的影响 (170)

第三节 高原战伤特点 (171)

第四节 高原战伤救治原则 (174)

第十三章 多发伤 (176)

第一节 概况 (176)

第二节 临床特点 (177)

第三节 诊断多发伤应注意的问题 (178)

第四节 多发伤的处理 (179)

第十四章 火器伤感染 (182)

第一节 火器伤感染病理学 (182)

第二节 火器伤感染的预防与治疗 (186)

第三节 化脓性感染 (188)

第四节 破伤风 (189)

第五节 气性坏疽 (191)

第十五章 火器伤主要并发症 (194)

第一节 急性肾功能衰竭 (194)

第二节 急性心力衰竭 (202)

第三节 急性呼吸衰竭 (205)

第四节 成人呼吸窘迫综合征 (209)

第五节 急性肝功能衰竭 (214)

第六节 多器官衰竭 (MOF) (218)

第三篇 火器伤外科各论

第十六章 颅脑火器伤 (224)

第一节 概述 (224)

第二节 颅脑火器伤的分类 (225)

第三节 颅脑火器伤损伤机理和病理 (227)

第四节 颅脑火器伤临床特征 (228)

第五节 颅脑火器伤的临床表现及 诊断 (229)

第六节 颅脑火器伤的急救处理 (231)

第七节 颅脑火器伤清创术 (233)

第八节 颅脑火器伤的并发症 (242)

第十七章 口腔颌面部火器伤 (250)

第一节 颌面部软组织火器伤的初期

外科处理 (250)

第二节 颌面部火器伤复合性软组织 缺损的修复 (254)

第三节 颌骨火器伤的治疗 (263)

第四节 颌面颈深部金属异物的定位 与摘除 (273)

第十八章 耳鼻咽喉火器伤 (278)

第一节 耳部火器伤的治疗 (278)

第二节 鼻及鼻窦火器伤的治疗 (279)

第三节 咽、喉、气管火器伤的治疗 (281)

第十九章 眼部火器伤 (283)

第一节	概述	(283)
第二节	眼战伤的早期诊断及救治原则	(287)
第三节	眼部异物的诊断与治疗	(291)
第四节	弹性性脉络膜视网膜炎	(299)
第五节	眼外伤治疗进展	(300)
第二十章	颈部火器伤	(305)
第一节	颈部火器伤的特点及急救	(305)
第二节	颈部血管火器伤	(306)
第三节	颈部神经火器伤	(308)
第四节	颈段食管火器伤	(309)
第五节	颈椎脊髓火器伤	(310)
第二十一章	胸部火器伤	(312)
第一节	胸部火器伤的分类及临床特点	(312)
第二节	胸部火器伤的分级救治	(315)
第三节	胸部火器伤的专科诊疗技术	(318)
第四节	胸部火器伤常见并发症	(332)
第二十二章	腹部火器伤	(338)
第一节	腹部火器伤的诊断	(338)
第二节	腹部火器伤的治疗原则	(339)
第三节	腹部主要脏器火器伤	(340)
第四节	腹部火器伤术后处理	(353)
第五节	腹部火器伤再次手术问题	(356)
第六节	腹部火器伤并发肠外瘘	(358)
第二十三章	骨盆部火器伤	(366)
第一节	骨盆部解剖要点	(366)
第二节	骨盆部火器伤的特点	(366)
第三节	骨盆部火器伤的检查 and 诊断	(367)
第四节	骨盆部火器伤的急救 and 治疗	(367)
第五节	骨盆部血管火器伤	(368)
第六节	腹膜后血肿	(371)
第七节	直肠、肛管火器伤	(372)
第二十四章	泌尿、男性生殖系火器伤	(375)
第一节	泌尿、男性生殖系火器伤发生率和特点	(375)
第二节	泌尿、男性生殖系火器伤的诊断	

基础	(376)
第三节 肾脏火器伤	(378)
第四节 输尿管火器伤	(381)
第五节 膀胱火器伤	(383)
第六节 尿道火器伤	(385)
第七节 男性生殖系火器伤	(387)
第八节 泌尿及男性生殖系火器伤诊治的经验与教训	(388)
第二十五章 脊柱、脊髓火器伤	(389)
第一节 脊柱、脊髓的解剖生理要点	(389)
第二节 脊柱、脊髓火器伤的发生率和死亡率	(390)
第三节 脊柱、脊髓火器伤的特点及分类	(392)
第四节 脊柱、脊髓火器伤的检查及诊断	(393)
第五节 脊柱、脊髓火器伤的救治	(395)
第六节 脊柱、脊髓火器伤并发症的防治	(400)
第七节 脊髓火器伤截瘫伤员的康复	(405)
第二十六章 四肢骨与关节火器伤	(408)
第一节 四肢骨与关节的解剖、病理、生理要点及分类	(408)
第二节 四肢骨与关节火器伤的临床表现、诊断和救治原则	(411)
第三节 四肢骨与关节火器伤晚期修复与功能重建	(431)
第四节 四肢骨与关节火器伤的并发症	(438)
第二十七章 周围血管火器伤	(446)
第一节 概述	(446)
第二节 四肢血管的应用解剖、伤后病理生理特点与分类	(447)
第三节 血管火器伤的检查及诊断	(449)
第四节 四肢血管火器伤的急救及处理	(452)
第五节 血管缺损修复术	(458)
第六节 火器伤动脉瘤和动静脉瘘	(460)

第七节 四肢血管火器伤的并发症及影响 肢体成活的因素	(466)	第二节 伤员的前接、后送护理	(481)
第二十八章 周围神经火器伤	(470)	第三节 颅脑火器伤的护理特点	(482)
第一节 周围神经的结构和功能	(470)	第四节 火器性胸部穿透伤的护理 特点	(484)
第二节 周围神经的血液供应	(471)	第五节 火器性腹部脏器伤的护理 特点	(485)
第三节 周围神经火器伤的病理改变 ...	(471)	第六节 火器性四肢伤的护理特点	(486)
第四节 周围神经伤的判断和分类	(472)	第七节 脊柱、脊髓火器伤并发截瘫的 护理	(487)
第五节 周围神经火器伤的治疗	(473)	第八节 战伤伤员的心理特点及 护理要点	(490)
第二十九章 战伤护理	(480)	第九节 战伤外科护理的进展	(491)
第一节 一线医院的伤员护理	(480)		

第一篇 火器伤的外科基础

野战外科学是在平时医学以及创伤外科学基础上发展起来的，并不断吸收现代科学技术新成果，是一门专门研究战时伤员救治，技术性、实用性很强的学科。野战外科学是在战争条件下实践，并不断得到发展和完善；而又要服从战争特点，遵循战争规律并与卫生勤务学紧密结合，以期更好地为伤员服务的学科。

野战外科学中，火器伤是重要的方面。随着现代武器的发展，例如，高速高能传递轻武器、高速小弹片武器、小型爆炸预制钢珠弹等面射武器以及爆炸性能很强的燃料空气炸弹，各种爆炸性改进的榴炮弹等给火器伤的研究提出了新课题，而创伤弹道学理论及战伤救治研究，随着武器的发展而日益深化，还有许多新的课题有待研究。

现代战争火器伤的特点，不仅表现在伤员发生数的增加，而且还表现在伤情相当严重和复杂。自第二次世界大战以后，多次局部战争统计：枪弹伤的比例在减少，而弹片伤的比例在增多，这是多部位多发伤增多的原因之一；其次是高速武器伤有明显增多趋势。

投射物致伤后，被击中者是伤或是死，对野战外科研究者以及外科医生来说，是一个迫切有待研究的复杂课题。

为了掌握和了解火器伤致死的病理，而“阵亡的病理学”至今还未具备系统的认识，仅有少数学者对战时阵亡者进行一般统计研究，并提出一些现象方面的报道。例如阵亡中颅脑伤占多数；胸部伤也占重要地位；大血管伤是阵亡的一个重要原因。

阵亡有以下四种情况：①被投射物击中后立即或数分钟内死亡者，多为要害脏器、重要脏器伤；②伤后1小时后阵亡者，主要致死原因有呼吸功能障碍、大出血等；③伤后1小时至到达医疗机构之前死亡者，其常见原因是出血性休克及呼吸功能障碍；④伤员到达医疗机构后死亡，主要是由于伤情严重，来不及抢救者。对上述伤员如能及时、准确、有效地施行急救“五大技术”、抗休克及早期外科处理，部分伤员也有可能获得救治。

伤员救治随着未来战争新武器的发展，给火器伤必然带来新的特点，给战伤救治增加新的困难和要求。为了更好地适应未来战争的需要，挽救更多的危重伤员，我们需要进一步的学习和研究火器伤外科学，开拓创伤弹道学的新理论，提高战伤救治的新水平，为广大指战员服务。

第一章 火器性武器的杀伤作用

第一节 杀伤作用和杀伤作用场

火器性武器的杀伤作用，是一涉及医学、军事战术等多方面学科的综合性学术课题。例如，讨论火器性武器的杀伤作用之前，要直接掌握或确认破片杀伤能量及其标准的认定；破片杀伤能量是定在“致死”还是在“致伤”的基础上，有着不同看法。就“丧失战斗力”这个大前题作为讨论的出发点，是目前多数人认可的；在战场上是有众多的生动目标的，它们被火器性武器击中致伤以后，丧失战斗能力。在以致伤而使失去战斗力的前题下，在近代战争中，战场上出现的人员密度日趋稀疏的情况下，对面射武器的使用明显增多，以求致力于增大破片密度，提高命中的要求越来越高。

在要求增加破片密度的前题下，在武器系统重量不变条件下，减少破片质量，增加破片密度，成为当前武器设计的一重要方面。具体举例说：一颗榴弹炮弹爆炸后的结果，以求打伤多个目标，比打死一个目标要更有意义。

从战伤统计及野战外科的实际观察，近代战争中战场上被击中的机率要比历史提出的统计数为多，击中后致伤的机率比致死的机率要高；还因为人体的要害部位的体表投影面积只占整个体表面积的15%，因此，总的转归，战斗减员中主要是伤员。

火器性武器的杀伤作用的直接研究内容包括投射物致伤作用的多种因素。

影响火器性武器的杀伤作用的因素主要有两个方面：一是投射物本身结构，如破片大小、飞散速度、飞散方向及其分布等；二是射击条件、方法、目标位置等。

火器性武器的致伤作用和有关因素，主要决定于投射物本身的结构及影响破片的性能。

一、破片飞行速度

破片的飞行速度，是重要的致伤因素，分析其对人员受破片伤时，破片速度也系指破片命中人体的入靶速度（即着速）。破片的飞行速度与爆炸瞬间所具的初速及破片在空气中飞行时所受到的阻力有关。破片的初速是由于弹壳破裂过程中，高速度变形和破裂后爆轰波继续对破片作膨胀功的结果。高速破片不仅有前冲力，侵彻弹道深，其侧压力也随之增大，还同时具有冲击波的作用。例如：国产榴弹体由60钢制造，内装TNT炸药，破片的初速一般在1 000m/s左右；国外多采用高速度弹体材料和B炸药，破片初速在1 400m/s左右（表1-1）。

表1-1 美155榴弹炮新旧榴弹威力对比

弹丸名称	弹重 (g)	炸 药	平均破片重 (g)	破片数	破片初速 (M/S)
M107式榴弹	43.5	TNT	12.3	2 478	1 060
SRC远程全膛弹	45.4	B炸药	1.5	19 219	1 480

破片在空气中的速度衰减：破片在空气中飞行受到空气的阻力，速度不断下降，破片距离炸点越远，速度降低越多，一般着靶时的速度 V_x 与初速的关系，符合指数衰减规律。

$$V_x = V_0 \cdot e^{-ax}$$

式中 X 为破片距炸点之距离， a 为衰减系数。

破片在飞行中速度衰减也与破片的迎风面积 S 、重量 G 、空气密度 P 、破片的阻力系数 C_D 有关。

$$a = \frac{C_D \cdot P \cdot S_g}{2G}$$

从上述两式可见到：①破片的质量较大，迎风面积较小时，破片的保存速度的能力就越大，着靶速度也越大，杀伤作用也大。②小破片在空气中速度衰减得较快，在距炸点较远的距离，存速很小，杀伤作用也不大。③大破片存速能力强，在远距离仍有一定的杀伤能力。

二、破片的重量

为了达到杀伤既定目标，破片必须具备一定值以上的动能，还需具备一定值以上的重量，才能成为杀伤破片。

从动能公式得知，破片速度相同时，破片越重，其动能也越大。同时由于惯性作用，破片愈重，在飞行弹道上速度衰减慢，杀伤半径大，侵彻动能大，损伤也愈严重。反之，在动能相同的情况下，重量轻的破片，在飞行中速度衰加快，杀伤半径也小。很明显，弹片的重量还必须有合理的分布，例如采用TNT装药的炮弹，杀伤人员的破片重量在1g以上才比较有效，破坏汽车的破片重量要4g以上，对装甲车要10g以上；重量太小，毁的效率较低。同时，杀伤面积也因破片太小，有效杀伤距离太近而缩小。破片重量过大，虽可足够杀伤目标，但整个弹丸杀伤破片的数量将减少，破片密度降低，故破片过大，过小均会降低弹丸的杀伤效果。根据战争的经验证明，在战场上要求破片命中人员，立即能达到完全使人员丧失战斗力，是不易办到的。国外对此选了这样的方案：对有生力量在更进一步减少破片重量，增加破片数量，提高破片速度，达到被击中者多处被击中，使之在战术所允许的短时间内丧失作战能力；这样还可使敌方在伤员救治、伤员运输等一系列工作中，增加巨大的后勤负担。

三、破片的形状

破片的形状不仅影响在空气中飞行的阻力，影响杀伤距离，在碰击目标时也影响伤道形态和损伤范围。

要求产生严重致伤效果时，在伤道上则要求破片阻力小，速度衰减慢，能保持有较大的侵彻速度。破片进入机体后，又要求破片能出现偏斜、摇摆或翻滚，即增大与组织的接触面积，使其造成严重的组织器官损伤。

一般的自然破片多为规则形状，其中长三菱柱形较多，块状、长方形也占有一定比例。自然破片的边缘多为锋利，表面粗糙，在空气中飞行时，及与碰击目标后，阻力均较大。破片的阻力系数 $C_D = 1.5$ ；而钢珠因表面光滑，在空气中的阻力系数接近于1。

实验证明：1g的钢珠与2g的自然破片在相同初速（如2000m/s）条件下，不同距离的速度衰减差别很大，在距炸点41m处1g钢珠的存速为900m/s，而2g重的自然破片存速只有450m/s，二者相差一倍，这说明在相同条件下钢珠可以飞得更远，保持较高的速度，具有较大的杀伤能力。又例如，对狗胸腔的致伤效果，用1g重长方形破片致狗胸部伤，致死达90%。而用1g

钢球贯穿狗胸部伤，致死只50%。对猪后肢的致伤结果，在质量和速度相近的条件下（1 000 m/s），0.15g方形破片比0.13g钢珠所致的伤腔容积大3.4倍，入口面积约大1.4倍。这些例子均说明破片形状在致伤过程中的重要作用，及与伤情的相关因素。

四、破片的飞行方向

当弹丸处在静止状态下爆炸时，破片在空间飞散的方向上的分布是不均匀的。弹头部位方向约占20%，圆柱部占70%，弹尾部约占10%。当弹丸处在飞行状态爆炸，破片都附加一个弹丸向前飞行的速度，弹丸杀伤作用好象一把打开的伞柄，弹丸头部指向伞柄方向，其两侧的有效杀伤范围最大。

五、破片的动能

破片之所以能致伤，主要是依靠破片具有一定的动能。

$$\Delta E = \frac{1}{2} M (V_{\text{入}}^2 - V_{\text{出}}^2)$$

破片的质量为M，碰击目标时的速度为 $V_{\text{入}}$ ，破片的动能 $E = \frac{1}{2} M V_{\text{入}}^2$ 。

如果破片的动能较大，穿透一定厚度的肌体后能继续飞行，飞出机体时的速度为 $V_{\text{出}}$ ，则破片在体内传递的动能为 ΔE 。

破片对肢体的致伤能力，不仅取决于致伤动能的绝对值，更取决于该能量传递的速率，即取决于该能量做功的功率大小。功率的大小与破片初速的3次方成正比。与弹片在机体内的行程或运动时间成反比。小破片在体内受阻，在很短时间内将其能量传递给组织，造成的创伤严重。破片的速度每提高1倍，破片传递给机体的能量提高了4倍，破片所作的功率则提高8倍，能量传递速率与破片速度的立方成正比。

在火器性武器的杀伤作用的讨论中，另一重要议题是：破片杀伤能量是以“动能”，还是“比动能”为杀伤能量标准呢？从实验结果看，比动能与动能相比较，比动能可更能反映破片对目标杀伤的某些特征。

例如：用0.35g破片动能比0.15g破片为大。但比动能小，对钢板的穿透率就低（表1-2）。

表1-2 破片动能、比动能的作用

破片 (g)	动能 (kg·m)	比动能 (kg·m/mm ²)	对232钢板穿透率 (%)
0.15	7.65	0.70	100
0.35	10.45	0.43	50

又例如：当比动能相同时，对硬目标防护材料的穿透率相同（表1-3）。

表1-3 相同比动能的作用

破片 (g)	动能 (kg·m)	比动能 (kg·m/mm ²)	对232钢板穿透率 (%)
0.15	4.32	0.40	50
0.25	7.19	0.40	50
0.35	10.45	0.43	50

破片比动能对软目标的穿透率（表1-4）。

表1-4 破片比动能对软目标的穿透率

破片质量 (g)	贯穿狗胸腔极限量	
	动能 (kg · m)	比动能 (kg · m/cm ²)
0.5	2.17	11.4
1.0	3.93	11.6
5.0	10.40	11.7

破片的比动能相同（或相似）时，对硬目标，软目标都具有相同的穿透率，就这点看，无疑是比动能的概念较全面。如果可减少由破片速度、质量的不同而产生的差异，还可较准确地衡量破片的侵彻能力。

但是，如果用比动能作为标准，将出现动能对杀伤的影响。很可能出现只保证比动能的要求，而不能保证足够的杀伤能量。

比动能相同的破片，对相同一目标侵彻效果是一样的，但对目标的杀伤效果并不完全一样（表1-5）。

表1-5 比动能相同破片的杀伤效果

破片 (g)	动能 (kg · m)	比动能 (kg · m/mm ²)	人口面积 (cm ²)	空腔容积 (cm ³)	失活组织清除量 (g)
0.15	4.59	0.42	0.47	1.79	2.89
0.35	8.71	0.36	1.43	6.57	6.50

从上表所示0.35g破片比0.15g破片的比动能稍小，但由于破片的质量不同，传递给目标的能量不同。能量大，致伤重。0.35g破片比0.15g破片入口面积大3倍，空腔容积大3.7倍，失活组织清除量大2.25倍。

用比动能的缺点也不少，例如比动能的标准不直观，难以计算，实际工作中因破片形状不规则，着靶姿势不同，很难准确计算破片的比动能。

第二节 现代杀伤弹药的新特点及枪弹研制的新发展

一、现代杀伤弹药的新特点

对软目标进行杀伤的弹药，近几年有明显的改进，不论在品种、威力、作用机理上都有很大创新和发展，主要有如下特点。

（一）提高破片的速度

通过不同投射物对软靶射击进行创伤弹道学的研究，发现破片的速度高低是影响杀伤

能力的重要因素。破片在低速时所形成的伤道如同刃器切割一样，伤道十分狭窄，损伤范围也有限。当破片速度增高时，软目标中就会出现一个脉动的暂时空腔，虽然它作用时间很短，一般仅几个或十几个毫秒就消失了，但在永久伤道周围，软组织的损伤范围增大了。破片的速度越高，损伤效果越严重。新型杀伤弹药都利用创伤弹道学这一研究成果，设计的杀伤弹丸尽量采用脆性好、韧性差、能形成高破片率的钢材作为弹体材料，选用比梯恩梯（TNT）威力更高的猛炸药装填炮弹，在弹体与装药的配合上，尽量做到“薄皮大馅”，减薄弹壳壁厚，装填更多的炸药，以达到弹丸爆炸时使破片能获得更大的抛射能量，取得较高的飞行速度。另一方面，为了获得较高的碰靶速度，就要尽可能减小投射物在空气弹道中的飞行阻力，这就涉及到破片的形状选择问题。

（二）优化选择破片形状

现代弹药中较多的选用了球形，立方体等阻力较小的破片，还有的弹丸中装填了许多带羽翼的小钢箭。有的弹体上刻上凹槽，以便控制爆炸后形成的预定形状的破片。经计算比较，1g小钢球与2g不规则破片的致伤能力：当两种破片初速均为2000m/s时，在距炸点近距离范围，2g破片的致伤能力大于1g钢球，但距炸点越远，钢球的存速较破片越大。例如，在40m处，1g钢球能保持900m/s的存速，而2g破片仅为450m/s，2g破片的致伤能力就小于1g钢球了。所以现代许多火箭、导弹、迫击炮弹和手榴弹等杀伤弹药都采用了不同直径的钢球作为杀伤元件，其体积小，飞行阻力小，装填数量多，有效杀伤距离也较大。前苏联、美国还装备了箭簇弹，一发炮弹可装填3000多个重0.25g，长约25mm的小钢箭，高速小钢箭在空气中飞得远，命中人体后，钢箭受阻力迅速翻转，在软组织内造成较大的伤道。

（三）增加破片数量，适当降低质量

过去把对人员杀伤的破片质量定为4g，并认为1g以上才算有效杀伤破片。这是根据以往弹体与装药的条件，破片的速度比较低，质量太小的破片难以具有杀伤人员所必须的能量来确定的。现代弹丸由于改进了装药等条件，破片平均速度由以往1000m/s以下提高到1400m/s以上，因而质量虽较小，但有足够高的速度（如1000m/s以上），也具有一定的杀伤能力。如美国中大口径榴弹平均破片质量约为0.7~1.4g。对杀伤人员目标的榴弹，破片质量适当降低，增加数量，可以形成较高的有效杀伤破片密度，炮弹所造成的总杀伤面积可以得到提高。

（四）使弹头在软靶中尽快失稳

枪弹弹头与破片对人员致伤能力还与它进入人体后运动的姿态密切相关。枪弹在空气中为保持其能稳定地向前飞行，必须高速旋转，利用陀螺力矩原理使其保持弹头朝前稳定的飞行，当弹头进入机体后，受到很大阻力，将发生失稳，弹头的弹轴偏离弹道切线越来越大，这个偏航角的增大导致弹头逐渐失稳而翻转，这将造成更严重的损伤。新型枪弹口径小、质量轻而速度高，入靶后能迅速翻转，有的还发生破碎，因而比老式枪弹杀伤威力大（表1-6）。

表1-6对比了56式7.62mm步枪弹与M193式5.56mm步枪弹的速度、质量、碰靶能量与在狗双后肢中致伤的效果。实验结果说明，质量小、速度高的5.56mm枪弹，由于入靶后迅速翻转与破碎，其致伤能力比7.62mm步枪弹大得多。

（五）发展多用途子母弹

由于现代战场上装甲目标成为最主要的炮火射击目标。人员直接暴露，且无防护情况大为减少，对此各国相继发展了多用途弹，如破甲与杀伤双用途子母炮弹，子母地雷等。一炮

表1-6 56式7.62mm与M193式5.56mm枪弹杀伤作用比较

枪弹类型	着靶速度 (m/s)	弹头质量 (g)	靶内传递能量 (J)	在狗双后肢中最大 暂时空腔直径(cm)	狗双后肢中永久 伤道体积(cm ³)
56式7.62mm 步枪弹	712.3	7.75	20.12	1.3	9.3
M193式5.56 mm步枪弹	929.6	3.52	66.5	3.34	12.9 41.6(弹头破碎时)

子母弹装填数十枚既能打穿坦克顶甲又能对人员杀伤大约5m²面积的子弹，一发子母弹的杀伤面积相当于老式榴弹的8倍，还可有效破坏坦克装甲车辆。美军已把这种改进型常规炮弹作为大口径火炮的主用弹。各国均在研制装备这种炮弹。

二、枪弹研制的新发展

(一) 无壳枪弹研究

无壳弹是近二十余年来国外发展起来的一种新型弹药，其经济价值和某些战术性能比传统的金属弹壳弹药有很多优点，引起许多国家竞相研究。西德研制使用的无壳弹4.7mm口径的步枪G₁₁，曾参加北约1978年步兵兵器试选。

无壳枪弹分为全无壳弹和半无壳弹。在全无壳弹中又分无装药、可燃药筒和弹丸自行推进三种不同装药结构。很明显，无壳弹的发展与各种装药的研究和发展是密切相关的。

无壳弹的弹丸有常规弹丸、特种弹丸（包括次口径弹丸和空心弹丸），它仍是击中人体，造成创伤的关键部分。

(二) 锥膛齐射弹的研究

这是一种在新颖的弹药概念上发展起来的武器，每扣动一次板机，可以发射一定数目的、高速的“次口径”弹头。弹头的数可根据战术需要而灵活决定。当然，弹头数越多，命中也越高，杀伤面积也越大，弹头数在3~5发或2~8发之间。

美军已推出的锥膛齐射弹主要有以下几种：

1. 0.30/0.15英寸口径锥膛齐射弹，由3个各重1.3g的铜质弹头组成，发射时经过膛挤，弹头直径由0.3英寸（7.62mm）变为0.15英寸（3.8mm），弹壳采用7.62g的弹头组成0.30/0.15英寸锥膛齐射弹。

2. 0.50/0.30英寸口径锥膛齐射弹，采用0.50英寸（12.7mm）勃郎宁机枪弹弹壳，含有5个各重9g的铜质（以后改为钢质）的弹头，首发弹头初速为930m/s，射速高达3000发/s，这是击中目标机率最高的，1967年美军在越南战争中曾使用过。

3. 0.45/0.38英寸口径锥膛齐射手枪弹，采用美国0.45英寸口径柯尔特手枪弹弹壳，含有三个各重5.2g的破甲式铅弹头。

(三) 箭形弹的研究和发展

箭形弹是以小箭取代普通弹头的特种枪弹。箭形弹分为单箭形弹和集束箭形弹两类。箭形弹以重量轻、直径小、长径比大、尾翼稳定、初速高、近距离杀伤威力大为特征，由于箭形细长，断面比重大，在飞行时空气阻力小，存速能力很高。

箭形弹杀伤特点的研究报告：美国曾用X射线高速摄影机，观察到箭形弹在模拟人体肌