DOI:10.16016/j.1000-5404.1982.02.018

两种制式弹丸对狗软组织致伤后不同时间的病理形态学观察

野战外科研究所一室

钱昶文 张大春 李德琼 蔡为福 刘晓霞

摘 要

本实验以高速制式弹丸(美制M193型5.56毫米口径)和中速制式弹丸(国产56式7.62毫米口径)在30只狗的双后肢致伤,伤后不同时间(6、24、72小时)对两组动物的伤道进行了大体和组织学观察,注重于损伤的范围、程度及时间因素对于损伤的影响,并将两组动物伤道的病变作了比较。实验结果表明,两组动物伤道的基本病变是一致的,但大体观察5.56毫米组的伤道较7.62毫米组大得多,组织损伤严重得多。伤道壁的损伤坏死范围并不随实验时间延长而扩展。镜检挫伤区的范围则较大体判定的挫伤区的范围小得多。我们观察的结果可能在战伤治疗上具有一定的意义。

在现代战争中,枪弹伤仍占有重要地位,特别是近二十年来科学技术迅猛发展,武器不断改进,弹丸的速度也随之提高,因而其致伤效力也不断增大,导致人体产生更为严重的损伤,从而要求对枪弹伤的治疗进一步改进[1][2]。为了能够实现这一要求,必须对创伤弹道的特点及其损伤的性质、范围和程度进行研究。有关这方面的研究,国外发表的文献尚不多,而且观点也不尽相同,在国内仅我所王正国等最近有过一篇高速弹丸致伤后24小时的创伤弹道病理形态学观察的实验报告[3]。在此实验基础上,我们用美制M193型5.56毫米口径制式弹丸进一步做了狗后肢软组织创伤的实验研究,并以国产56式7.62毫米口径制式弹丸做了对比,在致伤后不同时间(6、24、72小时)观察了伤道的病理形态变化,着重于观察伤道的损伤范围及时间因素对于损伤程度的影响。现将观察结果报告如下。

材料和方法

实验用成年杂种狗30只,性别不拘,体重约15—20公斤,分为5.56毫米及7.62毫米两组(表1)。动物在五机部轻武器研究所室内靶道致伤,有关两种弹丸的参数见表2。射击前于拟致伤部位剪毛,用2.5%硫苯妥钠静脉麻醉,然后将两后肢并拢紧缚在一起,悬吊于致伤架上,测量致伤部两肢体的总厚度(约12厘米,大致相当于人的大腿厚度)。射距为20米,射击点选在股部中段肌肉丰富的部位,避开大血管和股骨,弹着方向自右后肢至左后肢。致伤后测量出、入口面积,然后将动物放回笼内。于伤后6、24、72小时,将部分不灌注墨汁的动物放血活杀,离断两侧后腿,切除出、入口以外的皮肤,在10%福尔马林液中固定24小时后,与伤道垂直将标本作多数连续切面,每片厚约1—1.5厘米。测量伤道各段的周径和挫伤区的宽度,绘出伤道的大致形状。然后在两后肢伤道的出、入口及中央部共6处分

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

别取材，组织块大小约5 × 2.5厘米，经常规石腊切片、染色后作组织学检查，并在镜下测量挫伤区的宽度。

表1　实验动物分组

组别	6小时		24小时		72小时		总计
	未灌注	墨汁灌注	未灌注	墨汁灌注	未灌注	墨汁灌注	
5.56毫米	3	3	2	2	3	2	15
7.62毫米	4	3	2	2	2	2	15

表2　两种弹丸的有关参数

组别	弹丸大小（毫米）	弹丸重量（克）	撞击速度（米/秒）	撞击能量（公斤/米）	传递能量（公斤/米）	能量传递率（%）
5.56毫米	5.56×45	3.52	925.68±10.63	150.30±6.82	66.49±51.42	44.23±27.43
7.62毫米	7.62×39	7.75－8.05	712.51± 4.28	204.56±2.41	20.12± 6.09	9.88± 2.35

为了易于判定挫伤区，我们参考了Hopkinson等[4]的方法，在活杀时对14只动物的两侧髂外动脉进行了墨汁灌注。因原发伤道周围存在一毛细血管无血流的区域（缺血区），所以灌注墨汁后，可见一毛细血管无墨汁充盈区，这一区域可能就是失活组织区（挫伤区）。方法为用2.5%硫苯妥钠静脉麻醉后，中线切开下腹部，在两侧髂外动脉进行插管，结扎动脉的近心端，每侧插管在一小时左右的时间内注入温盐水约4000毫升，盐水瓶高出桌面1.2米（相当于狗的动脉压）。盐水开始注入后，即剪开下腔静脉（先结扎近心端），随后剪开腹主动脉放血，动物死亡。待下腔静脉流出之盐水完全不带血色时，从每侧插管内各注入北京“一得阁”高级墨汁100毫升，然后离断两侧大腿后肢，观察方法同前。灌注满意时，标本切面的无墨汁充盈区呈暗红色或红褐色，其余部分呈黑色或黑褐色。

实验结果

一、大体观察

1. 入口和出口：两组动物右腿弹丸的入口大致相似，呈细小的圆形或卵圆形，边缘整齐（图2）。而左腿出口的大小则很不一致，一般较入口大得多，特别是5.56毫米组，出口面积甚至可达77.91平方厘米（表3）。出口形状不规则，皮肤撕裂，大都呈星形，特别是

表3　入口和出口的长径及面积

组别	入口		出口		出入口面积之比
	长径（厘米）	面积（平方厘米）	长径（厘米）	面积（平方厘米）	
5.56毫米	0.59(0.4－0.7)	0.24(0.13－0.38)	5.40(0.8－12.4)	23.08(0.38－77.91)	96.17($p<0.01$)
7.62毫米	0.63(0.5－0.8)	0.27(0.16－0.38)	0.98(0.5－2.3)	0.74(0.20－ 2.89)	2.74($p<0.05$)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5.56毫米组，皮肤有显著的撕裂和缺损，皮下组织及肌肉断裂外翻（图3）。

2.伤道：原发伤道腔内大都有一些血凝块和组织碎渣，有时并有少量狗毛、泥砂等异物。72小时组，伤道内壁并附有少许脓液。7.62毫米组，原发伤道较一致，大致呈一细长的管状，无明显扩大部。5.56毫米组，伤道都有一个，少数并有两个明显扩大部，因此，15例中11例伤道呈喇叭状，伤道开始扩大处距入口（即伤道的颈部）为7.36（6—11）厘米，也就是大都在第二肢体才开始扩大，扩大部的最大空腔一般都在出口处。其余4例伤道略呈葫芦状，颈部长1.5—2.0厘米，第二肢体的扩大部稍大于第一肢体的扩大部（图1）。原发伤道扩大部的最大周径及其与传递能量的关系见表4。

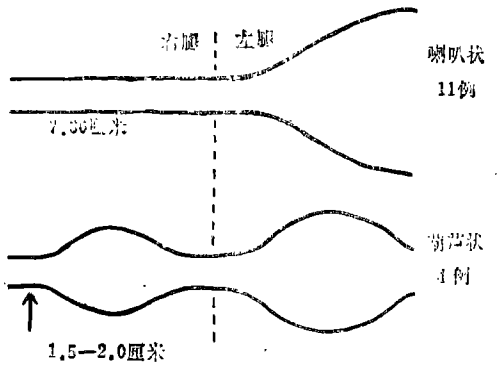


图1　5.56毫米组原发伤道模式图

表4　原发伤道扩大部的最大周径及其与传递能量的关系

组　别	传递能量（公斤/米）	伤道扩大部的最大周径（厘米）
5.56毫米	66.49±51.42	12.57（4.0－24.0）
7.62毫米	20.12± 6.09	4.04（2.1－ 6.0）

在伤道各段的横断面上，伤道空腔周围可见一暗红色或红褐色的软泥样的挫伤区，宽约一厘米（图4）。这在墨汁灌注的标本上较为清晰，挫伤区因无墨汁充盈，与周围震荡区分界较清楚。分界线则参差不整齐，一般顺着肌纤维的纵向，挫伤区较宽，沿肌纤维横向挫伤区较窄，特别是邻近肌间隔、肌外膜处挫伤区更窄。伤道各段挫伤区的宽度没有明显区别，两组动物之间挫伤区的宽度也没有显著区别，从表5可见，5.56毫米组的挫伤区较7.62毫米组只稍宽一些。随着实验时间延长，24及72小时组的挫伤区则稍变薄。在挫伤区之外，横断上常见程度不同的暗红色出血，出血沿着肌束膜、肌外膜伸展，特别是5.56毫米组，甚至可延伸到10厘米以外之处。

表5　致伤后不同时间无墨汁充盈的挫伤区的最大宽度（厘米）

组　别	6　小　时	24　小　时	72　小　时
5.56毫米	0.99±0.19	0.89±0.08	0.85±0.23
7.62毫米	0.90±0.12	0.81±0.28	0.73±0.04

二、组织学观察

镜下观察，两种弹丸所致的软组织伤，其基本病理变化是一致的，但在损伤程度上，5.56毫米组较7.62毫米组为重。

1.伤后6小时：挫伤区的主要病变是绝大多数肌纤维显深重的变性以至坏死。表现为肌纤维的胞核和横纹、纵纹等原有的结构消失或仅隐约可见。肌纤维或显皱缩呈波浪状，或

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

显严重的浊肿，或显均质性的透明变，或均质浅染而呈腊状，或肿胀纤维内出现多数空泡而呈筛状，或边缘不整而呈蚕食状。许多肌纤维坏死断裂，甚至崩解成为碎片（图5、6）。在挫伤区的外层，变性、坏死的肌纤维之间，可见掺杂少数结构尚完整的肌纤维（图7）。挫伤区的间质显充血、水肿和许多中性白细胞浸润。在毛细血管的纵切面上，扩张的管腔内充塞着紧密排列呈串珠状的红细胞（图8），可能是毛细血管内凝血而形成的微血栓。在墨汁灌注的标本中，挫伤区毛细血管内无墨汁充盈。挫伤区的宽度（表6）较大体观察的要窄，沿肌纤维的纵向则较横向要稍宽一些，有时可见挫伤区与震荡区之间以肌束膜、肌外膜为界，这显然与后者能保护组织，免受压力波的损伤有关。震荡区和挫伤区之间相互交错，没有一个整齐明确的界线。震荡区中主要病变为大多数肌纤维显程度不同的变性。表现为肌纤维或着色深浅不一，或有浊肿，或显皱缩呈波浪状（图9），或胞核分布不均并移位于肌纤维的中央部。震荡区的内层，有时仍可见到细小的肌纤维坏死灶。间质显充血，在墨汁灌注的标本中，小血管和毛细血管腔内可见墨汁颗粒充盈（图9），出血常沿着肌束膜伸展。震荡区的宽度大都在4厘米以上（超出取材范围）。

2．伤后24小时：挫伤区肌纤维的病变和6小时组相似，但变性和死坏的程度更重，占挫伤区大部分的内层，肌纤维坏死崩解，已完全丧失其原来结构。同时，在6小时时表现较轻的炎症，此时也变得显著起来，大量中性白细胞集聚在挫伤区的间质中，附着在坏死崩解的肌纤维碎片周围，许多中性白细胞并进入坏死肌纤维内（图6）。间质中并有充血、出血、炎性水肿及纤维素性物质渗出。炎症以出口处更为显著，并可累及局部皮下组织。挫伤区的肌纤维变性、坏死及炎症虽较6小时组显著，但坏死的范围并未因而增宽。震荡区肌纤维的变性与6小时组相似，但表现稍轻，间质中沿肌束膜可见一些白细胞浸润。

3．伤后72小时：挫伤区的炎症进一步发展，此时已进入化脓阶段，原发伤道腔内及挫伤区内面都可见脓液，有时还可见菌落。化脓现象在5.56毫米组的出口部最为显著。挫伤区的内层，肌纤维彻底坏死崩解，仅残存一些均质淡染的肌纤维轮廓。挫伤区外层，肌纤维变性、坏死也较24小时组明显，但仍可见少数尚有胞核之肌纤维。坏死区的范围也未见增宽。在24小时时就早已开始，但还不甚明显的清除坏死物质、修复损伤组织的防御机制，此时就成为突出的表现，因此，在挫伤区与震荡区之间出现了一个明确的分界线，此处（挫伤区的外层和震荡区的最内层）集聚着许多巨噬细胞、纤维母细胞和中性白细胞，并可见新生毛细血管（图10）。巨噬细胞则显活跃的吞噬坏死物质现象。震荡区肌纤维的病变则较6或24小时组为轻，间质中沿肌束膜常见许多白细胞浸润。震荡区的宽度大都已局限于3—4厘米的范围内。

表6　　致伤后不同时间挫伤区的镜下宽度（厘米）

组　别	6 小 时	24 小 时	72 小 时
5.56毫米	0.36±0.05	0.29±0.09	0.27±0.03
7.62毫米	0.36±0.06	0.28±0.03	0.25±0.03

讨　论

一、本实验的结果表明，在射距为20米的条件下，速度较高质量较轻的5.56毫米弹丸较

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

7.62毫米弹丸致伤力要大得多，对组织的损伤要严重得多。其重要标志为：两种弹丸的入口面积虽没有多大差别，但出口面积差别悬殊，5.56毫米组出口面积为入口面积的96.17倍，而7.62毫米组仅为2.74倍。5.56毫米组的原发伤道都有扩大部，伤道因而大都呈喇叭状，出口处皮肤撕裂，肌肉外翻，伤道扩大部的最大周径平均为12.57厘米，而7.62毫米组的伤道没有明显的扩大部，伤道基本上呈长管状，最大周径平均仅为4.04厘米。5.56毫米组伤道壁挫伤区的宽度，大体和镜下观察均略大于7.62毫米组，挫伤区的炎症和震荡区的病变亦重于7.62毫米组。

一般认为，弹丸贯穿肢体时，以压力波形式释放出来的传递能量，是决定组织损伤程度的唯一因素，传递能量愈大，则组织损伤愈重[5]。本实验的结果也证实了这一点，5.56毫米组撞击能量虽小于7.62毫米组，但传递能量则大得多，是7.62毫米组的3.3倍，能量传递率竟达到7.62毫米组的4.5倍。5.56毫米弹丸速度较高，无疑会使传递能量增加，但5.56毫米弹丸进入组织后较不稳定，较早（距入口7.36厘米）发生翻滚，甚至变形、破碎，当弹丸翻滚时就释放出更大能量，形成伤道的扩大部，特别当弹丸变形或破碎时，传递能量较不翻滚弹丸甚至可增加一倍以上，此种传递能量的增加，比起因速度增高而传递能量增加来，更要大得多，所以对创伤的形成更有决定性意义[6][7][8]。而7.62毫米弹丸射距较近时则须在距入口14厘米以上的位置上，才开始翻滚。

二、两种弹丸所致的软组织损伤，虽然在程度上有差异，但其基本病理变化是一致的。然则，在致伤后72小时内，组织损伤的范围和程度会不会随着时间的延长而加重，目前尚是一个有争议的问题。Ziervogel等[9]用7.62毫米弹丸射击狗股部，实验表明，伤后72小时组织损伤的程度较1.5小时非但没有加重，反而有所减轻。但Hopkinson等[4]的实验结果指出，伤后早期毛细血管无墨汁充盈区（缺血区）大于完全坏死区，坏死区继续扩展，直至72小时，才扩大到和墨汁充盈区（震荡区）相连接，他们认为坏死区的继续扩大，是原发性创伤由于组织缺血而引起的迟发性改变。

我们在本实验中观察到，随着实验时间的延长，伤道壁除了炎症逐渐加剧、肌纤维的坏死愈来愈彻底之外，并未见组织损伤坏死范围有所增宽，而24、72小时组反而稍变窄，这也可能与部分坏死组织已液化、化脓、脱落等有关。我们观察到，伤后72小时内，并非整个挫伤区（无墨汁充盈区或缺血区）全部陷于坏死，完全坏死区只局限于占挫伤区大部分的内层，约0.2—0.3厘米宽的范围，占挫伤区小部分的外层，则坏死肌纤维和尚未失活的肌纤维混杂在一起。我们相信，如外层的局部缺血情况能够及时改善，完全坏死区是不致扩大的[10]。本实验72小时组见挫伤区外层和震荡区的最内层中有许多增生的巨噬细胞和一些肉芽组织形成，显旺盛的消散和修复现象，这在坏死区继续扩展的情况下是不可能发生的，由此可见挫伤区外层的局部血液循环已逐步得到了一定改善。所以，我们认为，枪弹所致的软组织伤，其损伤程度和范围并不随时间延长而加重。

三、大体观察无墨汁充盈的挫伤区的宽度，接近于镜下宽度的3倍，这主要是由于无墨汁充盈区（挫伤区）与墨汁充盈区（震荡区）之间没有一个整齐明确的分界线，而是相互交错的，因此，大体观察时不易判定挫伤区与震荡区之间的界线，一般偏大，将部分实际上已属震荡区的地方误定为挫伤区。而挫伤区的真正宽度，镜检证实，多不超过0.5厘米（未计制片过程中组织收缩的部分）。同时，多年来大体判定挫伤区仍一直沿用肌肉组织的颜色、致密度、收缩性和毛细血管出血等指标，至今尚缺乏一个合乎理想的精确的判定标准，因

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

此，外科医生不易掌握。挫伤区的大体判定具有重要的临床意义而受到普遍重视，墨汁灌注有助于判定挫伤区，但临床不能应用，其它方法亦尚在研究试验之中。因此，我们认为，本实验的结果在战伤治疗上可能具有一定的参考价值，即在软组织的创伤弹道清创时，只需切除伤道壁明显坏死之组织，过多地切除坏死以外的组织，并无必要。

（本实验由五机部轻武器研究所及我所六室协助进行，谨致谢意。）

主 要 参 考 文 献

1. 田惠民：战伤外科参考资料2(7),1974
2. Crane Chaters A Ⅲ,et al:J Trauma 16(6):464,1976
3. 王正国等：第三军医大学学报1:58,1981
4. Hopkinson DAW, et al:Pro Roy Soe Med 56:461,1963
5. 刘荫秋等：第三军医大学野战外科研究所六室内部资料,1981
6. Berlin R: Acta Chiru Scand Suppl 480,1977
7. Albreht M,et al:Acta Chiru Scand Suppl 489,1979
8. Berlin R,et al: Acta Chiru Scand Suppl 477,1977
9. Ziervogel JF: Acta Chiru Scand Suppl 489,1979
10. Berlin R: Acta Chiru Scand Suppl 489,1979

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

额升静脉的解剖及临床意义（正文见第33页）

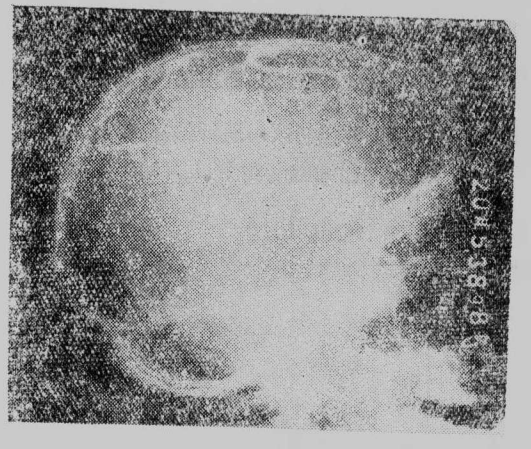


图3　左额升静脉（↑侧位）

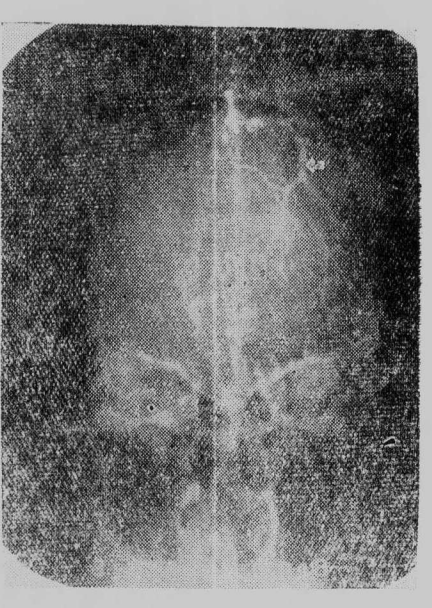


图4　左额升静脉（↑前后位）

两种制式弹丸对狗软组织致伤后不同时间的病理形态学观察（正文见第89页）

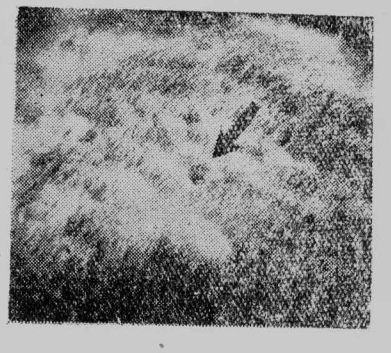


图2　5.56毫米组右腿弹丸入口

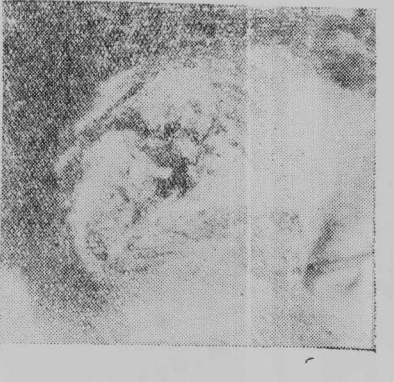


图3　5.56毫米组左腿弹丸出口

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图4　5.56毫米组左腿伤道扩大部横切面，经墨汁灌注，伤道周围有一圈色浅的无墨汁充盈区

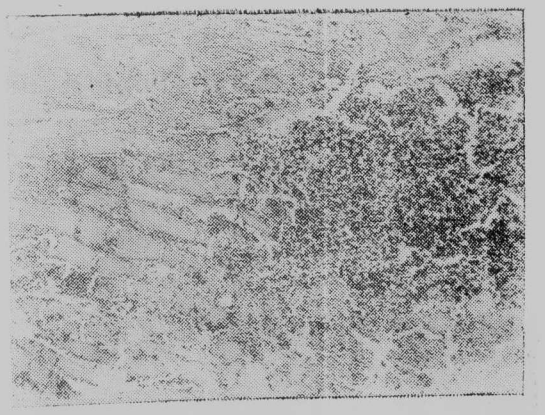


图5　伤后24小时挫伤区，肌纤维坏死断裂，大量中性白细胞浸润 H.E×84

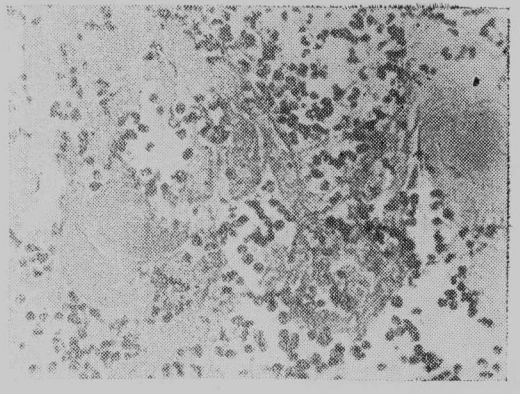


图6　伤后24小时挫伤区，肌纤维坏死崩解，中性白细胞侵蚀崩解之肌纤维。H.E×370



图7　伤后24小时，挫伤坏死区外层中有少数尚未完全失活的肌纤维。H.E×370

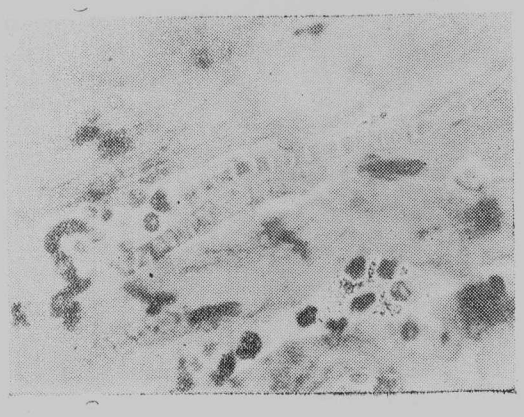


图8　伤后24小时挫伤区，毛细血管腔内红细胞紧密排列呈串珠状。H.E×810

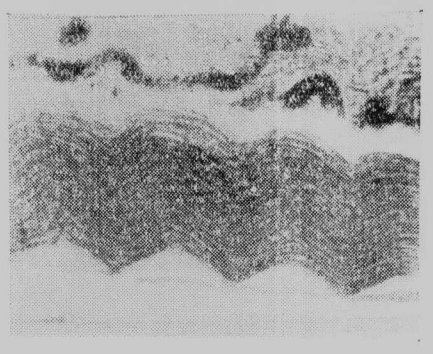


图9　伤后72小时震荡区，肌纤维变性皱缩呈波浪状，间质毛细血管腔内有墨汁颗粒充盈。H.E×810

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

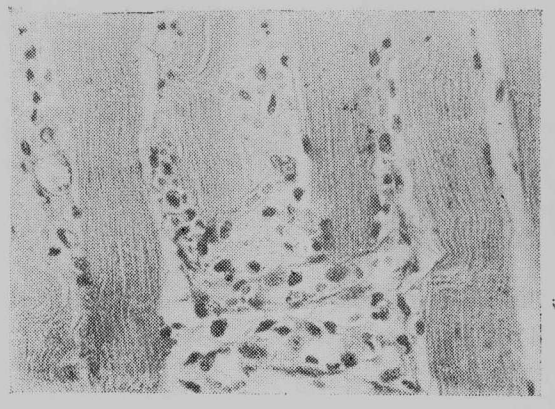


图10　伤后72小时，震荡区和挫伤区交界处集聚着许多巨噬细胞、纤维母细胞，并有新生毛细血管。H.E×370

高速弹丸致伤后伤道的超微结构变化（正文见第95页）

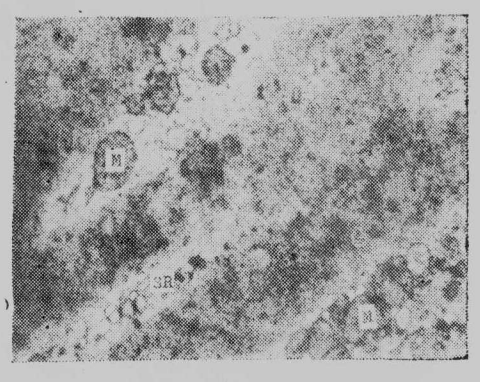


图2　坏死的肌纤维已失去正常的结构，变性的线粒体（M）、肌浆网（SR）等游离其中。距创腔壁0.5厘米，5.56毫米组，×15,000



图3　毛细血管内皮肿胀，饮液小泡（V）增多，表明有积极的饮液现象，但内皮细胞间（J）无裂隙。间质有水肿(ID)。距创腔壁0.5厘米，7.62毫米组，×15,000

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net