DOI:10.16016/j.1000-5404.1982.02.019

高速弹丸致伤后伤道的超微结构变化

野战外科研究所 王正国 唐承功 刘大维

电 镜 室 施同舟 可金星 李爱莲

摘 要

1. 本文报告了M193、5.56毫米高速弹丸和7.62毫米制式弹丸致伤后，伤后6小时伤道的超微结构变化。实验动物为10只成年狗，每组5只，取材部位为入口部、中间部和出口部。分别距腔壁0.5、1.5和2.5厘米处。

2. 实验结果表明：光镜检查有病变的部位，电镜检查时，超微结构的变化更为严重。距创腔2.5厘米处，光镜检查时见变化已很轻微。但电镜观察时，仍见肌原纤维和线粒体等细胞器发生变性坏死，5.56毫米组尤为严重。

3. 部分肌原纤维的Z线呈特征性的阶梯状排列，一些肌原纤维束呈波纹状，与光镜观察到的肌纤维改变正相一致。这些均可能与压力波作用有关。

有关创伤弹道的病理形态变化，曾有不少研究报告[1][2]。但是，对于高速轻武器致伤后伤道的病理变化，特别是超微结构的变化，文献上却很少报导。

本文报告了高速枪弹和一般速度的制式枪弹致伤后，伤道各部早期的超微结构变化，并结合大体和光学显微镜所见[3][4]，对高速弹丸的致伤特点作一分析。

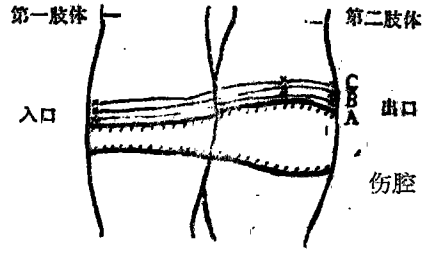
材料和方法

实验动物为10只成年杂种狗，雌雄不限，体重为15～20公斤。室内靶道致伤。实验分为5.56毫米高速弹丸和7.62毫米中速弹丸两组，每组各5只动物。射击部位为双后肢股部中段。射击距离20米。致伤及测试方法已另有专文报告[5]。两种致伤弹丸的有关数据见表1。

表1 两种致伤弹丸的有关参数

组 别	弹头重量（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（%）
7.62毫米弹丸	7.75～8.05	712.27±4.56	204.43±2.61	20.90±5.05	10.20± 2.00
5.56毫米弹丸	3.52	929.0±7.96	150.58±6.20	40.21±26.50	25.90±16.72

伤后6小时，在麻醉下将动物伤道切开，分别于入口、伤道中段和出口部，距伤道壁0.5、1.5和2.5厘米处，切取1立方毫米以内的超薄切片组织块（图1）。用3.1%戊二醛和1%锇酸联合固定，丙酮脱水，70%饱和醋酸铀预染，环氧丙烷和环氧树酯浸透后用环氧树酯包埋，瑞典制的LKB8800型超薄切片机切片，切片厚400～700Å，双铅液（硝酸铅、醋酸铅、枸橼酸钠配制液）染色，国产DXA4～10型电子显微镜观察并拍片。



X——取材部位 A.B.C.分别距伤道壁0.5、1.5和2.5厘米

图1 电镜取材部位示意图

注* 本文主要内容曾在第四届国际创伤弹道学会议上作过介绍。

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

实 验 结 果

一、0.5厘米处所见

距创腔壁0.5厘米处，相当于伤道的挫伤区。从该处切取的组织块中，电镜下见大部分肌组织均失去其正常的超微结构。不少肌原纤维已破碎，肌节消失。有些坏死的肌原纤维已形成团块状的无结构性物质，电子密度较高，一些变性的细胞器游离于坏死组织间（图2）。坏死组织周围常有大量渗液（其电子密度与血浆相似），并有较多的红细胞和一些中性白细胞混杂其间。毛细血管内皮肿胀，饮液小泡增多，但是，内皮细胞间从未见裂隙（图3）。部分肌原纤维出现不同程度的变性，表现为Z线排列杂乱，呈锯齿状或阶梯状，I带消失，M线模糊不清，线粒体肿胀、嵴断裂、空泡化，形成髓样体和致密体等。

切片中有时可见某一肌纤维已发生严重的变性坏死，而紧邻的另一肌纤维的超微结构却大体上正常。

在此处切取的组织块中，不同组别和部位间的超微结构变化大致相同。

二、1.5厘米处所见

距创腔壁1.5厘米处，相当于震荡区稍内层，电镜下见切片中仍有一些肌原纤维发生坏死，但多较局限（图4）。发生变性的肌原纤维及细胞器却较为多见。肌原纤维旁，可见自正常线粒体至髓样体的各种过渡型，有的仅有髓鞘外膜，有的已形成多层的环形体，有的却成为电子密度很高的实体样结构（图5、6），有的微血管内皮细胞浆内也有髓样体形成（图7）。Z线多排列不整齐，呈特征性的阶梯状排列（图8），在斜切的肌原纤维中，Z线常排列双线样。肌原纤维之间有大空泡形成，可能是扩张的终池（terminal cisternae）或肌浆网（sarcoplasmic reticulum）。

上述改变在5.56毫米组，更为多见；各部位比较，以出口部和中间部较为严重，入口部较轻。

三、2.5厘米处所见

距创腔壁2.5厘米处，相当于震荡区的外层。在光学显微镜下，除可见有间质充血和肌纤维轻微变性（肿胀、纹理有时不甚清晰）外，一般无异常发现。但是，电镜下见，此处超微结构仍有不同程度的改变。

在7.62毫米组，大多数肌原纤维的结构正常（图9），仅少数肌原纤维的Z线呈阶梯状排列，锯齿状或明显增粗（图10）。有些肌原纤维两旁的线粒体已变成致密体（dense bodies）或髓样体。

在5.56毫米组，肌原纤维的变性程度远较7.62毫米组为重。除了上述的各种变性外，有相当一部分肌原纤维的肌丝（myofiaments）离散、溶解或消失，肌原纤维间水肿，有的肌原纤维断裂成碎片（图11、12），有些成束的肌原纤维呈波纹状（图13），与光学显微镜所见的肌纤维呈波纹状正相一致。

间质毛细血管内皮的饮液现象仍相当多见，微血管周围积有蛋白性液体、红细胞及白细胞。

整个说来，出口部的超微结构的变化较入口部和中间部更严重。

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

讨　　论

本次实验表明，枪弹致伤后6小时，距伤道壁0.5～2.5厘米的各段肌组织；均可见有不同程度的超微结构变化。

在挫伤区，光镜检查时，常见有明显的肌纤维变性坏死，出血和大量中性白细胞浸润，液体渗出也较为严重，在挫伤区外层，可见坏死的肌纤维中夹杂有横纹清晰、外观正常的肌纤维。电镜检查时，其超微结构的变化同样是严重的，肌原纤维变性坏死，形成电子密度高的无结构性团块，或出现Z线的排列紊乱，I带消失；线粒体肿胀、空泡化或形成致密体；毛细血管饮液现象显著，血管外有液体渗出等。

在震荡区，光镜检查时，一般仅有轻度的肌纤维变性和循环障碍，在震荡区内层，有时可见有个别肌纤维发生坏死。此外，一些肌纤维收缩，呈波纹状，伤后24～72小时检查时，波纹肌纤维已有所减少。电镜检查时，超微结构的变化亦相当显著，5.56毫米组尤为严重，即使距伤道壁2.5厘米处，肌原纤维坏死或肌丝离散等变化亦甚为常见，特别是常见有特征性的Z线梯状排列，很可能是压力波挤压作用造成的。部分肌原纤维束呈波纹状，与光镜观察到的肌纤维改变正相一致。这可能是暂时空腔形成后使得周围的肌纤维受到牵拉，因而显著伸长，暂时空腔塌陷后，过度伸展的肌纤维短时间未能恢复其收缩力，故暂时显出波纹状卷曲。至于线粒体肿胀、形成致密体和髓样体等超微结构的变化，虽然不能完全排除压力波的直接损伤作用，但主要是由于循环障碍而继发引起的。

Ziervogel等[6]用7.62毫米弹（初速860米/秒，弹丸重9.4克）射击狗的股部，伤后1.5、24和48小时，从距伤道壁2.5和5厘米处切取组织块，分别作光镜和电镜检查，结果看到与本次实验中类似一些变化，因该文描述过于简略，因此难以作具体的比较。

结合大体观察和病理组织学观察，可以认为，5.56毫米高速弹丸致伤后，形态上有以下一些特点：1. 原发伤道较大。5.56毫米与7.62毫米组相比，创腔周径之比为4:1，说明前者形成的空腔大得多；2.挫伤区损伤较重。组织病理检查证明，两组伤道挫伤区的平均厚度大致相近，但5.56毫米组伤道的肌组织变性坏死更严重，伤道感染亦稍重些，3. 震荡区超微结构变化较为广泛而严重。电镜观察表明，在震荡区内，5.56毫米组的变化较7.62毫米组严重得多，肌原纤维和细胞器的变性坏死较为常见，间质充血、水肿也较为严重。

参 考 文 献

（1）Давыдовский ИВ (ред)：Общие данные по патологии огнестрельных ранений и вопреждений, стр 17～54, Опыт Советской Медицины в Великой Отечественной Войне 1941～1945гг Том 34, Раздел Первый, Медгиз, Москва 1952.

（2）Beyer JC (ed)：Wound Ballistcs. Office of the Surgeon General Department of the Army, Washington, D.C

（3）钱秉文、张大春：两种制式弹丸对狗软组织致伤不同时间的病理形态学观察，待发表资料1981年

（4）王正国等：创伤弹道的病理形态学观察，第三军医大学学报(1):58, 1981。

（5）刘荫秋等：两种弹丸对狗软组织的致伤效应，待发表资料，1981年。

（6）Ziervogel JF:A study of the muscle damage caused by the 7.62 NATO rifle. Acta Chir Scand Suppl 489:131, 1979

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

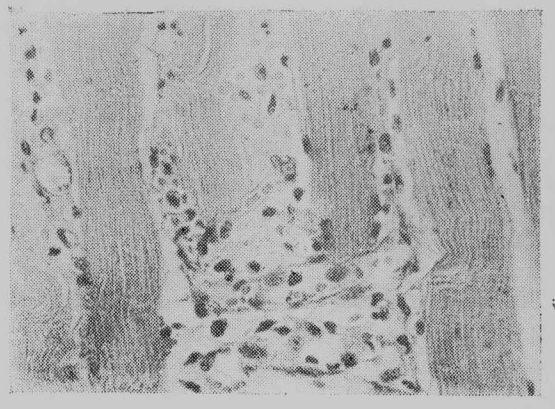


图10　伤后72小时，震荡区和挫伤区交界处集聚着许多巨噬细胞、纤维母细胞，并有新生毛细血管。H.E×370

高速弹丸致伤后伤道的超微结构变化（正文见第95页）

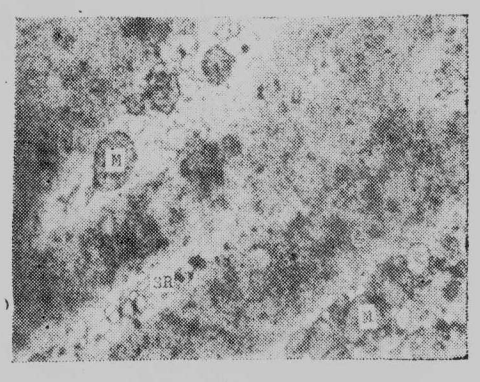


图2　坏死的肌纤维已失去正常的结构，变性的线粒体（M）、肌浆网（SR）等游离其中。距创腔壁0.5厘米，5.56毫米组，×15,000



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

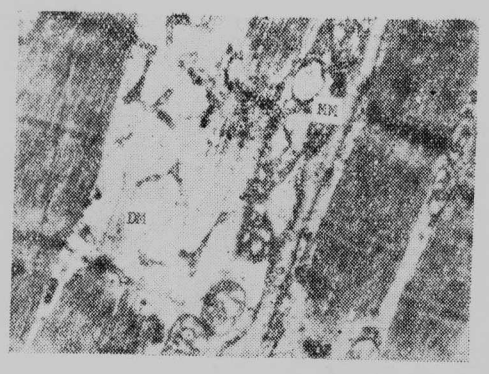


图4 肌原纤维灶性坏死(图中央)和肌丝离散(DM)，线粒体内膜鞘膜（MM）形成。距创腔壁1.5厘米，7.62毫米组，×22,500



图5 层状髓样体形成。距创腔壁 1.5 厘米，7.62毫米组，×15,000

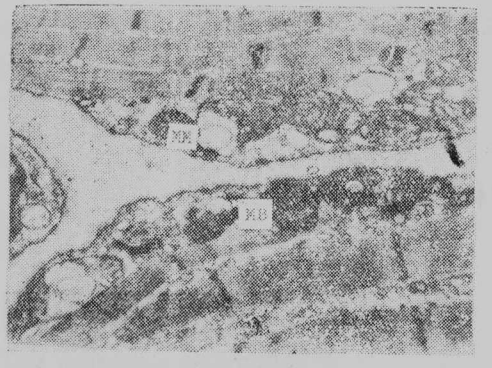


图6 肌内膜下有髓鞘膜（MM）至致密的髓样体(MB)形成。距创腔壁1.5厘米，5.56毫米组，×18,750

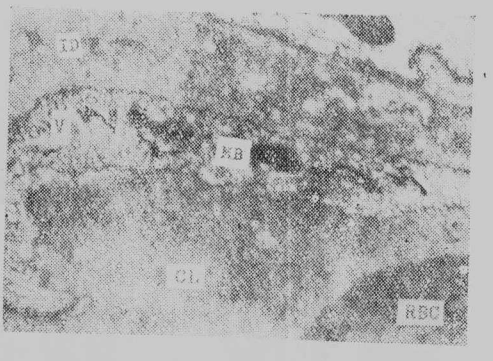


图7 微血管内皮细胞浆内有髓样体形成。图中CL为毛细血管腔，RBC为红细胞，V为饮液小泡，ID为水肿液，MB为髓样体。距创腔壁1.5厘米，5.56毫米组，×24,000



图8 Z线呈阶梯状排列。距创腔壁1.5厘米，5.56毫米组，×22,500

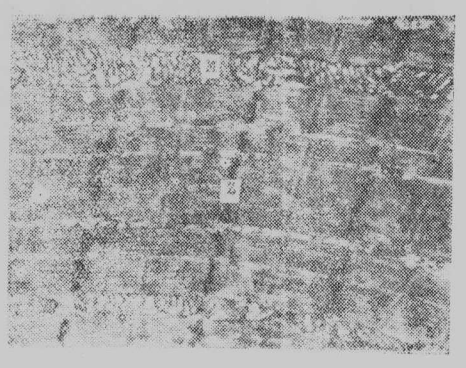


图9 肌原纤维基本正常。距创腔壁2.5厘米，7.62毫米组，×13,500

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

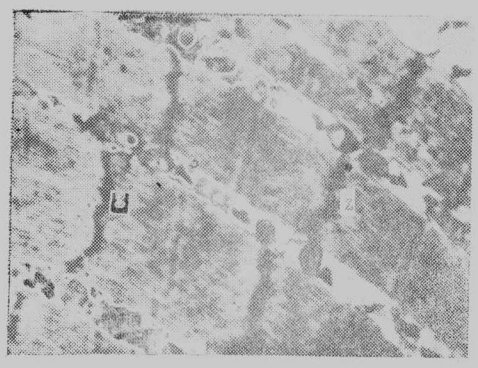


图10　Z线呈锯齿状排列。距创腔壁2.5厘米，7.62毫米组，×27,000



图11　肌原纤维灶性坏死（FN）。距创腔壁2.5厘米，5.56毫米组，×9,000



图12　肌原纤维的肌丝离散或消失（DM），线粒体肿大，空泡化（VM），并有致密体（DB）形成。距创腔壁2.5厘米，5.56毫米组，×1,5750

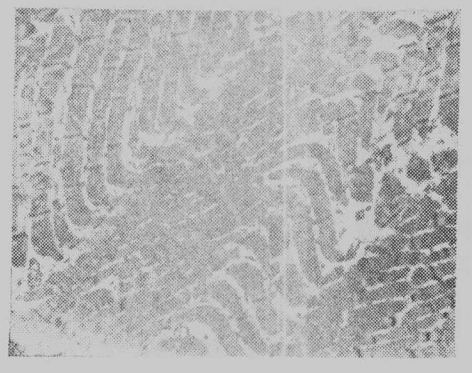


图13　肌原纤维束呈波纹状排列。距创腔壁2.5厘米，5.56毫米组，×6,000

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