

• 专家论坛 •

263~265 1998/10/14/05

枪弹致伤力和致伤机制的再认识

中国工程院院士 王正国

263-342 R8

R641

R826.5

美国学者 Fackler^[1]不久前以“国际创伤弹道学会主席”身份,发表了一篇题为“枪弹伤综述”的文章,其基本观点与他本人^[2]1988 年发表的“创伤弹道学—常见错误概念综述”相一致,但又有所展开。他的论文特点是指名道姓地批评别人,旗帜鲜明地表述自己的观点。他的观点既有偏激和不妥之处,也有不少正确的部分。笔者根据自身的经验与体会,试就 Fackler 提出有关枪弹致伤力和致伤机制的问题进行论述。

一、高速枪弹的致伤力

众所周知,枪弹之所以能致伤,是因其具有动能(KE),动能与枪弹质量(m)和速度(v)平方成正比: $KE = \frac{1}{2}mv^2$ 。由于致伤力的主要来源 KE 与速度平方成正比,因此,速度在致伤力中具有十分重要的作用。

60 年代后期,Rich 等^[3,4]报告了越南战场上使用 M-16 步枪、M193 枪弹的致伤力有显著增加,该枪弹的初速约为 950m/s,比一般制式枪弹的初速约高 200m/s。以后,有的文章将所谓高速和低速致伤力的差异比作“50%体表面积Ⅲ度烧伤与一杯热茶倒翻后造成的小块皮肤烫伤”,并强调是“速度决定差异”^[5]。由此,形成了一股“高速旋风”,把原先是正确的观点与描述作了不适当的夸大。

有关“高速”的概念,其实并不很明确,英国学者^[6]曾提出超过声速(340m/s 或 1 100ft/s)即可称为高速。美国学者^[1]则分别提出 610m/s (2 000ft/s)、762m/s (2 500ft/s) 和 914m/s (3 000ft/s) 以上为高速。

速度增高后,如组织吸收的能量并未增加,甚至减少,则此时的组织损伤反而会减轻。例如,1880 年,由

于研制出金属弹壳和应用了无烟黑色火药作为发射药,致使当时枪弹的初速由原先的 396m/s (1 300ft/s) 猛增至 731m/s (2 400ft/s)^[1],与现在各国采用的制式枪弹的速度已十分接近,其结果是致伤力反而降低了。从射击肌组织模拟物明胶和尸检资料证明,由于新弹种有坚硬的金属弹壳,因此,提高速度后只是增加对被击中部位的穿透力,而对组织的破坏程度反而有所减轻。由此可见,枪弹速度在致伤中的作用虽然十分重要,但毕竟只是诸多致伤因素中的一项而已,实际的损伤程度既取决于被吸收的能量,也取决于组织的特性等因素。

二、高能致伤效应

高能是一个较为含糊的术语,有时可理解为高速,有时又可理解为高动能。Janzon^[7]曾建议用“高能传递”(high energy transfer)来代替高速一词,主要理由是:现代武器的枪弹速度一般均可达到高速的标准(按 762m/s 或 2 500ft/s 计算),而传给组织的能量才是真正的致伤力。这一论点是科学的,但因无公认的标准,故文献上常常出现一些混乱。例如:初速为 975 m/s (3 200ft/s) 的钢珠击中体重为 20kg 的猪,曾被称为“高能创伤模型”^[8],但其能量仅 461J (340ft/lb)。相反,许多手枪弹可具有同样的能量,习惯上却当作“低能枪弹”^[2]。由此可见,应当尽量避免笼统地说“高能”、“低能”,而代之以明确的能量。

动能 KE 是致伤力的体现,但必须考虑到以下两点:(1)通常所说的 KE 是按枪弹质量和初速计算出来的,而实际致伤力应为组织吸收的能量。下列公式中

$$\text{组织吸收的能量} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

v_1 为枪弹接触体表时的撞击速度, v_2 为枪弹穿透机体后残留的速度。(2)机体的实际损伤还取决于被击中部位的解剖与组织特性等诸多因素(如组织致密度、粘滞性、含水量、弹性等),它是运动中的枪弹与机体组织相互作用的结果。实践证明,在组织吸收能量相同的情况下,肌肉、肠管和肺的损伤要轻得多,而肝损伤却较为严重^[9~11],这就是因组织特性方面的差异所致。

作者单位:400042 重庆,第三军医大学附属大坪医院、野战外科研究所



本栏目由深圳市
健安医药公司协办

另外,枪弹或钢珠以不同的致伤方式消耗其能量时,其致伤效应也不相同。例如,一直径为18mm的钢珠以152~244m/s(500~800ft/s)击中机体某部位时,可能造成以挤压为主的损伤,而另一直径为6mm的钢珠,以914~1006m/s(3 000~3 300ft/s)击中机体相同部位时,可能造成较大的瞬时空腔,大量能量消耗在引起组织位移和牵拉上。上述两种钢珠的动能相同,但致伤方式不同,因而损伤程度也不同。一般地说,受挤压致伤较受牵拉致伤更重些^[1]。

三、翻滚和破碎的致伤效应

枪弹在空气中飞行时只有偏航(偏航角仅 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$)而无翻滚,进入体内后,由于遇到巨大的阻力,因而可出现大得多的偏航,以致翻滚。通常,未变形的尖头弹和某些圆头弹,贯通机体某部位后,几乎都以 180° 的偏航(即弹头的尾部转向前)结束其体内运动。枪弹在增大偏航角或翻滚的过程中,与组织的接触面增大,并向组织释放更多的能量,从而易造成较严重的损伤。枪弹破碎后,碎片会向不同的方向飞散,其致伤力可成倍地增加,由此造成的损伤势必严重得多。Berlin等^[12]认为,“尽管枪弹速度对其动能作出了很多贡献,但在创伤的形成过程中,翻滚具有更为决定性的作用,枪弹的翻滚和破碎经常使伤道出口呈星状撕裂”。

四、两种压力波的致伤力

枪弹击中后会产生两种压力波:一种称为冲击波(shock wave)或声压波(sonic pressure wave),此种压力波运行在枪弹之前,其速度与组织中的声速(1 450m/s或4 750ft/s)相似,其峰值可达60个大气压,但仅持续数微秒或数十微秒;另一种压力波运行在枪弹之后,可称为瞬时空腔压(temporary cavity pressure),它在枪弹击穿组织时形成的,并使组织按牛顿运动定律加速向四周辐射,瞬时空腔内的最大压力约4个大气压,并有数次搏动,每次持续4~5毫秒^[1]。

为了将两种波区分开,Harvey等^[13]曾设计了两种方法:第一种方法是将投射物射向紧贴水箱中水面的一层钢板,投射物未能通过钢板,但声压波却通过钢板而传至水中,这样,水中不可能出现瞬时空腔压。第二种方法是将蛙心悬于水中,将钢珠从蛙心旁侧射过,同时用高速影像装置记录蛙心的变化。由于声压波在投射物之前,而瞬时空腔压在投射物之后,因此,可观察到瞬时空腔压力波而非声压波所造成的组织破坏。其结论是:因声压波作用时间非常短,故不致造成明显损伤,而瞬时空腔压可因牵拉等作用而致伤。

80年代后,瑞典学者^[14~19]发表了数篇论文,提出

冲击波或声压波可造成显著的组织损伤。他们用直径6mm的钢珠以1 200m/s和1 500m/s射入体重为20kg的小猪后肢,可引起不同远隔部位神经系统损伤。Berlin^[20]强调,冲击波可引起中枢和周围神经损伤,如神经细胞轴突、细胞骨架和周围神经电流的变化等。Janzon等^[14]曾作过如下的实验,用带孔的石膏筒包绕于猪的整个后肢,随之以投射物击穿包有石膏筒的后肢,此时形成的瞬时空腔会受到很大的限制,结果是:传入的每焦耳能量所产生的组织损伤较无石膏筒而有投射物伤的对照动物减少40%。尽管在这些实验中不能完全防止瞬时空腔形成,即不能防止组织牵拉所致的损伤,但强冲击波的致伤作用是可以确定的,约1/3的组织破坏是由冲击波引起的,其作用时间持续约数十微秒。

不支持这一说法的人提出如下理由:应用碎石机(lithotripter)治疗肾结石时,可产生单纯的声压波而不产生瞬时空腔,声压波幅相当于枪弹击射时的3倍,一个疗程中声压波作用多达2 000次,但对周围组织并未产生显著损伤,因此认为,强冲击波或声压波不致造成明显损伤^[1]。由于不了解上述学者对两种压力波测试的精确性和实验依据的可靠性,因此难以作出准确的判断。但从已有的资料看,强冲击波对局部和远隔部位的损伤作用不能排除。

五、瞬时空腔效应

高速摄影显示,较高速度的枪弹射击机体(特别是富有软组织的大动物后肢)时,可立即出现一个比枪弹直径大许多倍,持续数毫秒、搏动数次的瞬时空腔,在空腔形成过程中可因牵拉和撕裂伤道周围组织而引起损伤。对于瞬时空腔的认识有一个转变过程:(1)以往认为,瞬时空腔最大时可达枪弹直径的30~40倍^[21]。现在看来,是有些夸大了。高速摄影显示,高速枪弹射击后,形成的瞬时空腔可相当于枪弹直径的十几倍或稍大些。(2)以往强调,低速条件(低于340m/s声速)下不会产生瞬时空腔^[6],对此还需实验证明。因为,已知初速为414m/s的Vetterli步枪,射击时可在组织内清晰地显示出瞬时空腔。一般地说,在一定范围内,速度愈高,形成的瞬时空腔愈大;速度愈低,形成的瞬时空腔愈小,或不发生。但高速与低速不是能否形成瞬时空腔的绝对界限。(3)以往有人误以为瞬时空腔形成在致伤中起主要作用。实际上,最主要的致伤作用是枪弹在穿透组织中的直接损伤作用(切割、撕裂、穿透等),其次为强压力波对周围组织的挤压作用,再其次才是瞬时空腔形成中造成的撕裂和牵拉作用。

五、远达效应

早在 30 年代, Callender 等^[22]就提出, 远隔伤道部位也可能发生损伤, 并称之为远达效应(far reaching effect)。以后, Sunesson 等^[15]将传感器放在猪的脑实质内, 而射击部位为后肢。钢珠射击后约 0.35 毫秒, 在脑内就可记录下强冲击波, 当传入能量为 700J 时, 压力峰值为 80~170kPa。脑切片的荧光显微镜检查表明, 在脑干内有血脑屏障渗漏, 对侧坐骨神经渗漏亦更为显著, 对侧坐骨神经及膈神经的电镜检查表明, 在轴浆(axoplasm)内有明显的扭曲, 同时还有髓脂质(myelin)的变化, 微管(microtubules)常出现断离和变形, 脑组织内亦见有类似改变。刘荫秋等^[23]根据大量动物实验资料, 证明远离伤道的部位, 会发生充血、斑片状出血等病变, 并认为血流扰动是发生远隔部位损伤的主要原因。

但是, Fackler^[1,2]却否认有远达效应存在, 理由如下: (1) 美国和法国的学者^[11,24]曾试图查明冲击波或瞬时空腔压力波引起的神经系统功能障碍或其他远达效应, 结果未发现神经系统功能障碍, 尸检中亦未见远隔部位有任何损伤。(2) 越战时大量火器伤伤员中, 亦未显示有远隔部位损伤, 甚至邻近伤道的骨组织发生间接骨折者亦很少, 在绝大多数躯干和肢体伤中, 损伤仅限于永久伤道处。

鉴于以上情况, 可以认为: (1) 枪弹致伤后, 邻近和远隔伤道的部位可发生一定的损伤。(2) 某些远隔部位的损伤(如出血斑点)虽不能完全排除是严重创伤后全身反应的一部分, 但压力波传至远隔部位致伤是确实存在的。Berlin 等^[25]在用钢珠射击狗后肢的实验中, 在狗的主动脉弓处记录到压力波急剧增高的波形, 这也是一个间接证明。(3) 多数情况下, 远隔部位出现的损伤均很轻微, 但在某些情况下, 远隔部位损伤可能会促使发生并发症, 从而使全身伤情加重, 引起一定的临床后果。

参 考 文 献

- 1 Fackler ML. Gunshot wound review. *Ann Emerg Med*, 1996, 28 : 2.2
- 2 Fackler ML. Wound ballistics: A review of common misconceptions. *JAMA*, 1988, 259 : 2730.
- 3 Rich NM, Johnson EV, Dimond FC Jr. Wounding power of missiles used in the Republic of Vietnam. *JAMA*, 1967, 199 : 157.
- 4 Dimond FC Jr, Rich NM. M-16 rifle wounds in Vietnam. *J Trauma*, 1967, 7 : 619.
- 5 DeMath WE. Bullet velocity as applied to military rifle wounding capacity. *J Trauma*, 1969, 9 : 27.
- 6 Owen Smith MS. High velocity missile wounds. London: Edward Arnold Lt., 1981, 21.
- 7 Janzon B. Various technical parameters influencing wound production. *Acta Chir Scand*, 1979, 489(Suppl) : 107.
- 8 Almskoy B, Risberg B, Teger-Nilsson AC, et al. Early local and systemic fibronolytic response to high energy missile trauma. *Acta Chir Scand*, 1982, 502(Suppl) : 327.
- 9 Fackler ML, Surinchak JS, Malinowski IA, et al. Wounding potential of Russian AK-74 assault rifle. *J Trauma*, 1984, 24 : 263.
- 10 Mendelson JA, Glover JL. Sphere and shell fragment wounds of soft tissues: Experimental study. *J Trauma*, 1967, 7 : 889.
- 11 Fackler ML, Breteau JPL, Courbil LJ, et al. Open wound drainage versus wound excision in treating the modern assault rifle wound. *Surgery*, 1989, 105 : 576.
- 12 Berlin R, Janzon B, Rybeck B, et al. Local effects of assault rifle bullets in the tissues (Part I): Further studies in live tissues and relations to some stimulant media. *Acta Chir Scand*, 1977, 477 (Suppl) : 37.
- 13 Harvey EN, Korr IM, Oster G, et al. Secondary damage in wounding due to pressure changes accompany the passage of high velocity missiles. *Surgery*, 1957, 21 : 218.
- 14 Janzon B, Seeman J. Muscle devitalization in high-energy missile wounds and its dependence on energy transfer. *J Trauma*, 1985, 25 : 138.
- 16 Suneson A, Hansson HA, Seeman T. Central and peripheral nervous damage following high energy missile wounds in the high. *J Trauma*, 1988, 28(Suppl) : s197.
- 17 Suneson A, Hansson HA, Lycke D, et al. Press wave injuries to rat dorsal root ganglion cells in culture caused by high-energy missiles. *J Trauma*, 1989, 29 : 10.
- 18 Suneson A, Hansson HA, Seeman T. Pressure wave injuries to the nervous system caused by high energy missile extremity impact. *J Trauma*, 1990, 30 : 281.
- 19 Suneson A, Hansson HA, Kjallstrom BT, et al. Pressure waves caused by high-energy missiles impair respiration of cultured dorsal root ganglion cells. *J Trauma*, 1990, 30 : 484.
- 20 Berlin R(王正国译). 致伤因子—能量—创伤. 创伤杂志, 1986, 2 : 58.
- 21 NATO. Emergency surgery: First United States revision. Washington DC: United States Government Printing Office, 1975, 11.
- 22 Callender GR, French RW. Wound ballistics: Studies in the mechanism of wound production by rifle bullets. *Mil Surgeon*, 1925, 77 : 177.
- 23 刘荫秋, 周宝桐, 李曙光, 等. 高速投射物远达效应的机理及其对伤情转归的初步探讨. 中华创伤杂志, 1991, 7(增刊) : 7.
- 24 Fackler ML, Breteau JPL, Sdendowski ICP, et al. Perforating wounds of the abdomen by the modern assault rifle. Proceedings of the sixth international wound ballistics symposium. *J Trauma (China)*, 1990, 6(Suppl) : 192.
- 25 Berlin RH. Energy transfer and regional blood flow changes following missile trauma. *J Trauma*, 1979, 19 : 170.

(收稿: 1997-08-22)

(本文编辑: 刘阳娥)