DOI:10.16016/j.1000-5404.1981.01.001

论著与实验研究

冲击伤早期的肺分流量和血气变化

野战外科研究所　王正国　沈于干　郑世钢　李应玉

大量临床和实验观察表明，在冲击波作用下，肺是最易发生损伤的脏器之一[1]-[3]。严重的肺损伤是早期死亡的一个重要原因[2][5][8]。在肺组织发生出血、水肿等病变的基础上，可能会引起相应的肺[10]-[12]。因此，研究冲击伤后肺功能的变化，对于判定肺冲击伤的伤情和致伤机[illegible]的意义，同时，也可为肺冲击伤的诊断和防治提供依据。

对于冲击伤伤员来说，一般的肺功能检查，如通气试验或一氧化碳弥散力检查等，多不很适用，或变化不明显。七十年以来，国外开始注意冲击伤后肺分流量和血气的变化[13][14]。结果表明，肺分流量的变化较为显著，且与伤情一致，因而有一定的诊断意义。我们自1975年起，研究了核爆炸和炸药爆炸条件下冲击伤动物肺分流量和血气等方面的变化，均证明动物伤后肺分流量的变化相当显著。现将炸药爆炸条件下的实验结果报告如下。

材料和方法

致伤物为40公斤梯恩梯炸药，堆成正立方形，置于开阔地上，用电雷管起爆。采用67式压力自计仪测超压值。实验动物为34只成年雄性杂种狗，体重在15～20公斤之间。动物布放于距爆心7.5米远的弧形线上，爆后大多数动物均发生中度以上的冲击伤。实测压力值约为1.0～1.5公斤/厘米^2。

实验分为两组：第一组动物12只，于伤前2～3天在戊烷巴比妥钠静脉麻醉下作肺分流量测定，伤后8小时和48小时各重复检查一次。每次作肺分流量测定时，同时作动、静脉氧分压（PO_2）、二氧化碳分压（PCO_2）、碳酸氢根（HCO_3^-）、碱剩余（BE）、血液酸碱度（pH）及氧饱和度（SO_2）等项检查。第二组动物22只，不作肺分流量测定，伤前2～3天和伤后8、24、48小时，在氯胺酮麻醉下穿刺抽取股动脉和后肢静脉血，作除肺分流量以外的上述各项检查。

肺分流量的测定方法：将实验动物在3%戊烷巴比妥钠静脉麻醉（按每公斤体重1毫升给予）下作股静脉切开，经股静脉插入心导管直至右心房，另一端留于体外，抽取右心房的混合静脉血0.5毫升。之后，作气管插管，接半开放式呼吸机，加压吸纯氧10分钟左右，然后作股动脉穿刺，抽取0.5毫升的血液。抽血用的注射器预先装有少量1:20的肝素稀释液，抽完血后，迅速排除注射器内的气泡，并将针头插入橡皮塞内以隔绝空气。抽取的血液及时用丹麦Radiometer厂生产的ABL—1型自动血气分析仪进行血气等测定。每次检查完毕后取出心导管，结扎股静脉，局部撒上青霉素粉剂，并缝合伤口。测定肺分流量的公式如下：

$$\frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_T} = \frac{0.0031\ (P_AO_2 - PaO_2)}{0.0031\ (P_AO_2 - PaO_2) + (CaO_2 - C\bar{v}O_2)}$$

式中$\dot{Q}_S$为每分钟的肺分流量，$\dot{Q}_T$为每分钟的心排出量，$\dot{Q}_S/\dot{Q}_T$为肺分流量（%）；0.0031为37℃下氧溶解系数，即每毫米汞柱氧分压所能溶解氧的毫升数；P_AO_2为肺泡氧分

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

压（毫米水柱）；PaO_2为动脉氧分压（毫米汞柱）；CaO_2为动脉氧含量（容积%）；CVO_2为混合静脉血氧含量（容积%）。动脉或混合静脉血的氧含量按下式计算：

血氧含量＝（Hb克数×1.34×血氧饱和度）＋（血氧分压毫米汞柱数×0.0031）

P_AO_2在吸纯氧的条件下，理论值应在600毫米汞柱以上，但因通气机漏气等原因，实际上是吸入95～98%的氧气，PaO_2此时应在400～500毫米汞柱间[15]。因此，我们改用本实验室以往对肺毛细血管静脉端血氧分压（即相当于肺泡氧分压）的实测数据（平均值为465.5毫米汞柱）来代表P_AO_2。

实验结果

（一）肺分流量

1．伤后8小时，肺分流量（%）较伤前明显增高

由表1可知，伤后8小时，肺分流量平均由伤前的4.7%增至21.6%。经统计处理，两者的差别非常显著（$P<0.001$）。就各例而言，凡发生肺出血者，伤后8小时肺分流量均增加10%以上，平均增加17.1%，而未发生出血的一例(31号)，仅增加5.1%。就各例肺出血的程度与肺分流量增加幅度间的关系而言，两者间并不完全一致：7例重度肺出血动物，肺分流量分别增加11.4%至30.7%，平均增加19.0%；1例中度肺出血动物，肺分流量增加11.0%；3例轻度肺出血动物，肺分流量分别增加10%至21.6%，平均增加16.3%。

表1　动物肺出血程度、伤前和伤后8小时肺分流量（%）的比较

动物号	肺出血程度	伤前肺分流量	伤后8小时肺分流量	比伤前值增加的幅度
6	重	0.7	30.3	30.1
7	重	4.0	25.3	21.3
17	重	13.8	28.5	14.7
18	重	7.2	22.5	15.3
21	中	2.4	13.4	11.0
25	轻	3.4	25.0	21.6
27	轻	18.0	28.0	10.0
28	重	2.4	15.0	12.6
31	无	2.1	7.2	5.1
32	重	1.3	32.0	30.7
34	重	0.6	12.0	11.4
37	轻	0.5	19.0	18.5
平均值±标准差		4.7±5.62	21.6±8.16	16.85±7.90
P值			<0.001	

2．伤后48小时，肺分流量已有所降低，但仍较伤前为高

伤后48小时仅获得9只动物的数据，此时测得的肺分流量平均为9.6%，已较伤后8小时有明显的降低，两者差别非常显著（$P<0.001$），与伤前值相比，虽仍较高，但差别已不显著（$P>0.05$）（表2）。这表明，伤后48小时已有很大程度的恢复，并逐渐接近于伤前的水平。

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

表2 动物伤前和伤后8、48小时肺分流量（%）的比较

动物号	伤前	伤后8小时	伤后48小时	伤后48小时与伤后8小时的差
17	13.8	28.5	20.0	—8.5
18	7.2	22.5	6.4	—16.1
21	2.4	13.4	9.0	—4.4
27	18.0	28.0	13.0	—15.0
28	2.4	15.0	1.9	—13.1
31	2.1	7.2	4.0	—3.2
32	1.3	32.0	6.0	—26.0
34	0.6	12.0	3.0	—9.0
37	0.5	19.0	23.0	+4.0
平均值±标准差	5.4±6.38	19.7±8.54	9.6±7.56	—10.14±8.69

（二）PaO_2、$PaCO_2$、HCO_3^-、BE和pH

1．动脉血

考虑到不同麻醉方式（氯胺酮麻醉深度较浅，仅持续数分钟，而戊烷巴比妥钠麻醉较深，持续数小时）可能对血气有一定的影响，故分别进行统计。

由表3、4可知，在两种麻醉条件下，HCO_3^-和BE的伤前值均略偏低。在氯胺酮麻醉条件下，$PaCO_2$的伤前值亦稍低，这可能与麻醉较浅，呼吸稍增快有关。由于BE值偏低，致使两种麻醉条件下的伤前pH值均略偏低。

表3 氯胺酮麻醉条件下动脉血气等项检查结果

检查时间	PaO_2（毫米汞柱）	$PaCO_2$（毫米汞柱）	HCO_3^-（毫当量/升）	BE（毫当量/升）	pH
伤前	88.4	32.7	18.8	—5.0	7.377
伤后8小时	79.4	34.3	18.6	—5.3	7.351
伤后24小时	79.9	34.8	19.3	—5.2	7.356
伤后48小时	71.4	34.3	20.9	—3.1	7.381

表4 戊烷巴比妥钠麻醉条件下动脉血气等项检查结果

检查时间	PaO_2（毫米汞柱）	$PaCO_2$（毫米汞柱）	HCO_3^-（毫当量/升）	BE（毫当量/升）	pH
伤前	75.1	41.5	20.1	—5.6	7.299
伤后8小时	66.5	41.3	18.9	—7.2	7.281
伤后48小时	67.6	39.3	19.1	—5.8	7.312

发生冲击伤后，除PaO_2略有降低外，$PaCO_2$、HCO_3^-、BE和pH均无明显改变。

2．静脉血

静脉血的来源有二：其一为后肢静脉，另一为右心房混合静脉血，两者比较，后者更能代表全身静脉血的情况。由表5、6可见，不论采集后肢静脉血还是右心房血，伤后PO_2均略有降低，而以股静脉血的PO_2降低更为明显，但总的看来仍属正常范围。其余指标与伤前

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

值相近，或波动于正常范围。

表5 氯胺酮麻醉条件下后肢静脉血气等项检查结果

检查时间	$P\bar{v}O_2$（毫米汞柱）	$P\bar{v}CO_2$（毫米汞柱）	HCO_3^-（毫当量/升）	BE（毫当量/升）	pH
伤前	50.9	37.2	19.5	—5.7	7.334
伤后8小时	46.5	42.3	22.2	—5.9	7.292
伤后24小时	35.0	43.6	21.1	—4.8	7.306
伤后48小时	35.4	41.4	20.3	—5.2	7.310

表6 戊烷巴比妥钠静脉麻醉下右心房血的血气等项检查结果

检查时间	$P\bar{v}O_2$（毫米汞柱）	$P\bar{v}CO_2$（毫米汞柱）	HCO_3^-（毫当量/升）	BE（毫当量/升）	pH
伤前	50.1	45.1	20.9	—5.5	7.228
伤后8小时	45.2	45.2	20.1	—6.4	7.270
伤后48小时	44.6	41.3	18.9	—7.1	7.282

讨　论

正常情况下，右心收集的静脉血经肺动脉流入肺毛细血管，以进行气体交换。流入左心的血中将近6%未经过气体交换，即所谓生理分流量，这是由于部分支气管静脉血和冠状血管静脉血直接流入左心所致[16]。发生肺冲击伤时，肺分流量可能会出现增高，其原因是：（1）伤后不久，循环血仍继续流经已损伤的不能换气的肺组织，从而导致动脉血中未进行气体交换的静脉血含量增高；（2）通气的肺组织中，有的部分已发生血循环障碍，致使气体无法交换，形成肺泡“死腔换气”，从而减少了动脉血中有效的气体交换量；（3）肺损伤后，肺内血流受阻，压力增高，迫使处于闭合状态下的动静脉吻合支扩张，从而增加了未经气体交换的血液流至肺静脉内。

本次实验表明，给狗造成肺冲击伤时，伤后8小时测得的肺分流量较伤前有非常显著的增加，平均由伤前的4.7%增至21.6%（$P<0.001$）。伤后48小时已降至9.6%，虽较伤前略高，但差别已不显著（$P>0.05$）。

本次实验中还看到，肺分流量在伤后增加的幅度，与肺出血的程度并不完全一致。这是因为，肺分流量的变化并不完全取决于肺出血，况且，伤后48小时，在肺分流量已接近正常的情况下，肺出血因吸收较慢，故不致有很大的变化。肺分流量与肺出血相比，前者似更能及时地反映肺损伤的伤情。

Damon[13]在致死性超压作用的绵羊实验中曾看到，伤后1小时，动物的肺分流量由伤前的6.7%增至12.7%；伤后24小时，由于伤情趋于稳定和生理性代偿作用（减少无效换气量和无效血流量，增加换气率）。故肺分流量相应地降至10.4%；伤后两周，肺分流量为8.7%，即接近于伤前的水平。该氏[14]在实验中还看到，肺分流量增高的程度与肺冲击伤的严重程度基本上是一致的。

Wilson[17]根据对370例休克或创伤伤员的观察指出，肺分流量如大于40%，则已临近肺

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

功能衰竭，而此时血气却可能较为正常。该氏还曾对200例危重病人或创伤伤员的肺分流量进行了分析，结果表明，肺分流量超过60%者，88%的伤病员发生死亡。

在本次实验中看到，伤后肺分流量最高达32%，这可能与伤情不很严重、代偿作用较强有关。值得注意的是，在伤后肺分流量增加的同时，PaO_2仅有轻微的降低，$PaCO_2$和BE等变化亦不明显。这就提示，在判定肺功能障碍和肺损伤的程度时，肺分流量指标较血气更有价值。鉴于对人员进行肺分流量测定时的操作要简单得多（让病人自动吸纯氧10分钟左右，然后采动脉血或动脉化的耳垂毛细血管血，测定血标本后按公式即可算出），故此法可作为临床诊断肺冲击伤的一个有价值的指标。

PaO_2降低的程度也与伤情有关。Damon[13]在近致死量超压作用的动物实验中看到，伤后1小时，PaO_2由伤前的61毫米汞柱降至50毫米汞柱，伤后24小时回升至53毫米汞柱，伤后两周基本上恢复到伤前的水平（59毫米汞柱）。他在分析这一结果时强调，如动物接受中度以上致死量的超压作用，其伤后增加的幅度将更为显著。

我们以往在一些极重度冲击伤动物的实验研究中曾看到，伤后0.5～1小时作股动脉穿刺采血，PaO_2可降至50毫米汞柱以下，动物于数小时后死亡。这也可间接证明，本次实验中，PaO_2下降不显著，可能与损伤还不很严重有关。当然，如在此基础上发生了创伤后肺功能不全，则PaO_2可能会出现进行性下降。

本次实验中，$PaCO_2$、HCO_3^-、BE和pH等变化不明显，表明动物无明显的呼吸性或代谢性酸碱失衡。这与文献中报告的结果是一致的[13][14]。

摘　要

1．本文报告了34只冲击伤狗（用梯恩梯炸药爆炸致伤）伤后肺分流量和血气等指标的变化。

2．观察表明，动物在伤后8小时，肺分流量平均由伤前的4.7%增至21.6%，差别非常显著（$P<0.001$）；伤后48小时，已降至9.6%，与伤前相比差别不显著（$P>0.05$）。致伤后8、24、48小时所作的PaO_2、$PaCO_2$、HCO_3^-、BE和pH等项检查表明，除PaO_2伤后有一些降低外，其余变化均不甚明显。

3．根据实验结果可以认为，肺冲击伤时，肺分流量的变化较PaO_2等指标更为敏感，并可在很大程度上反映出肺损伤的伤情，因而有一定的诊断价值。

参 考 文 献

1．王正国：冲击伤　中华外科杂志　17(1):76，1979

2．Zuckerman S: Experimental study of blast injury to the lungs. Lancet 2:219, 1940.

3．Krohn PL, et al: Physiological effects of blast. Lancet 1:252, 1942.

4．Clemedson C-J: Blast injury. Physiol Rev 36:336, 1956.

5．Нифонтов БВ: Воздушная взрывная травма. Стр 40 Медгиз 1957.

6．Чесноков ПТ, и др: Патоморфологическце сдвиги в организме,

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

вызванные воздушной ударной волной взрыва (обзор литературы). Военно-Мед жур(8):33, 1970.

7. Морозов ВН,и др: Травматическое действие воздушной ударной волны. Военно-Мед Жур (2):83,1975.

8. White CS and Richmond DR: Blast biology. USAEC-TID 5764, 1959.

9. Owen-Smith MS: Explosive blast injury. International Review of the Army, Navy and Air Force Medical Services. 52(6):515, 1979.

10. Golden G A, et al: Factors influencing pulmonary function after severe injury. Am Surg 40:266, 1974.

11. Gray R C, et al: Blast injury to the lungs. Recent Advances in Surgery (8):339, ed by Taylor S 1973.

12. Mc Caughey W, et al: Blast iujuries to the luugs. A report of two cases. Anesthesia 28(1):2, 1973.

13. Damon EG, et al: Recovery of the respiratory system following blast injury. AD 718 369, DASA 2580, 1970.

14. Damon EG, et al: Acute effects of air blast on pulmonary function in dogs and sheep. Aerospace Med 42:1, 1971.

15. Rosen AJ: Shock lung: Fact or Fancy? Surg Clin North Am 55(3):613, 1975.

16. Brobeck JR (ed): Physiological basis of medical practice. Ninth ed p 6-22, 1973.

17. Wilson RF, et al:Clinical Respiratory failure after shock or trauma, Prognosis and methods of diagnosis. Arch Surg 98:539, 1969.

肺冲击伤的病理学

野战外科研究所 王正国 郑世钢 吴和平

冲击伤是战时常见的一种损伤，即使在平时也屡见不鲜。在冲击波的作用下，肺是最易发生损伤的器官之一，因此有人把肺称为冲击波作用的靶器官。研究肺冲击伤的病理学，对于阐明冲击波的致伤机理有重要意义，同时，也可为肺冲击伤的诊断和防治提供依据。

国外在第一次世界大战时就已有关于肺冲击伤病理形态学的实验报告[1][2]，二次大战后，有关的文献日益增多[3]-[7]，但多限于大体观察上，且缺乏伤后不同时间连续观察的资料。国内医学文献中也很少有这方面的报导。

本文就炸药爆炸条件下肺损伤与压力值的关系，以及肺冲击伤伤后不同时间病理改变的实验观察结果作一报告，并就冲击波的致伤机理和肺冲击伤的防治略加讨论。

材 料 和 方 法

致伤物为TNT炸药，共40公斤，置于开阔地上，用电雷管起爆。采用67式压力自计仪测

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