

# 危重患者转运的生理影响

每周麻醉教程辅导 330

2016年5月4日

Laura Beard 博士

注册麻醉医师, Russells Hall 医院, 达德利, 英国

Peter Lax 博士

注册麻醉医师, 英国皇家空军, 英国

M Tindall 博士

顾问麻醉医师, Russells Hall 医院, 达德利, 英国

Alex Konstantatos 博士编辑

联系方式: [atotw@wfsahq.org](mailto:atotw@wfsahq.org)



## 问题

在继续下面辅导之前, 试着回答下面的问题。这些问题的答案和解释可以在文章的末尾找到。请回答对或错。

1. 对于一个创伤性硬膜下血肿和 C2/3 骨折的气管插管患者, 在救护车转移的过程中可能发生的生理变化:
  - a. 救护车减速时有可能增加患者颅内压 (ICP)
  - b. 救护车加速时有可能降低患者血压
  - c. 救护车加速时有增加患者误吸的潜在风险
  - d. 运输期间存在患者低体温的风险
  - e. 惯性作用可能使不稳定性脊柱骨折移位
2. 行气管插管机械通气的危重病患者将通过飞机转运至离家较近的治疗机构。航空转运期间需要考虑的重要事项包括:
  - a. 飞机上升过程将导致含气空腔脏器内的气体容积减小
  - b. 气管导管套囊应使用生理盐水填充, 以防止飞机上升时容积发生变化
  - c. 在飞行期间由于病人的体位行气管插管相对比较容易
  - d. 气胸患者不应该在航空转运前进行闭式引流
  - e. 航空转运总是最快和首选的患者转运方式
3. 关于转运过程中的物理原理:

- a. 只有患者受到惯性力冲击
- b. 牛顿的第三运动定律指出, 每一个作用力都有一个大小相等、方向相反的反作用力
- c. 大气压随海拔高度而增加
- d. 随着海拔高度增加, 氧浓度保持不变
- e. 波义尔定律指出, 在恒定的温度下, 一定质量气体的体积与绝对压力成反比

## 要点

- 由于急性病理改变和当时所用的治疗药物增加了危重患者转运过程中的不稳定性, 降低了患者的代偿能力。
- 加速和减速过程中的惯性力能引起血压、心率、颅内压和胃内压的显著改变。
- 飞行过程中由于大气压的降低使患者存在低氧和低体温的风险, 由于含气空腔脏器内气体膨胀、振动和惯性力损伤也会继发不良事件。
- 开始转运之前, 在作好准备和稳定患者病情并预测可能出现的问题上花费时间, 对于防止转运过程中不良事件的发生和减少患者生理改变是必要的。

## 引言

危重患者经常会从院前医疗机构或医院被转运到特殊治疗机构或被转运到离家更近的医院。统计显示每年在英国有超过 11000 次医院间重症患者的转运。

危重患者的转运并非没有风险, 重症医学会(Intensive Care Society, ICS)<sup>[1]</sup>联合大不列颠和爱尔兰麻醉医师协会(the Association of Anaesthetists of Great Britain and Ireland, AAGBI)<sup>[2]</sup>制定了危重患者转运的方案。

重症患者跨院转运过程中经常发生一些不良事件。一项来自荷兰的前瞻性审计报告显示重症患者转移过程中不良事件的发生率达到 34%, 其中有 70%被认为是可以避免的。这些不良事件中有许多与设备故障、准备不充分和病案资料不详尽/沟通欠完善相关。ATOTW 最近发表了一篇关于跨院转运危重患者的文章, 详细讨论了这些方面<sup>[3]</sup>。

危重患者可能在转运过程中发生明显的生理变化, 低氧、低血压、心律失常和颅内压(ICP)的变化会导致患者病情的严重不稳定。本教程将探讨陆地和航空转运对危重患者的生理影响, 并讲述如何避免或减少这些不良生理结果。

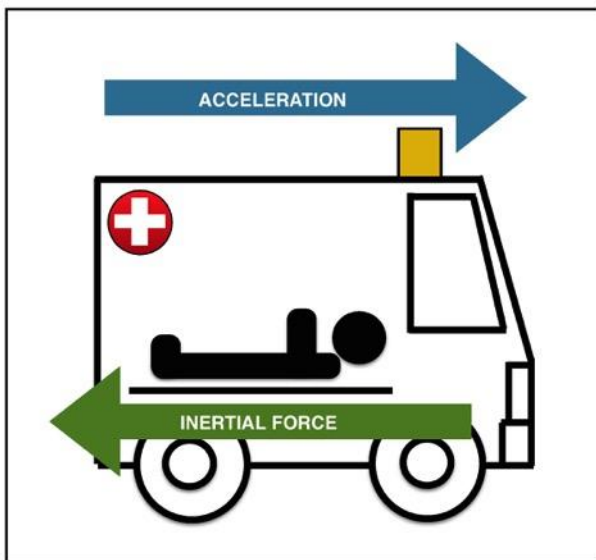
## 陆地转运的生理影响

患者经常被从院前医疗机构和医院之间通过救护车来进行转运。由于危重患者的代偿能力降低，救护车的减速和加速可对其生理产生显著的影响。牛顿运动定律可以解释加速和减速对病人的生理影响(图 1)。

牛顿第一定律	一切物体在不受任何外力的作用下，总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。
牛顿第二定律	物体的作用力 (F) 等于物体的质量 (m) 乘以物体的加速度 (a) : $F = ma$ 。
牛顿第三定律	每一个作用力都有一个大小相等方向相反的反作用力。

图 1: 牛顿运动三定律

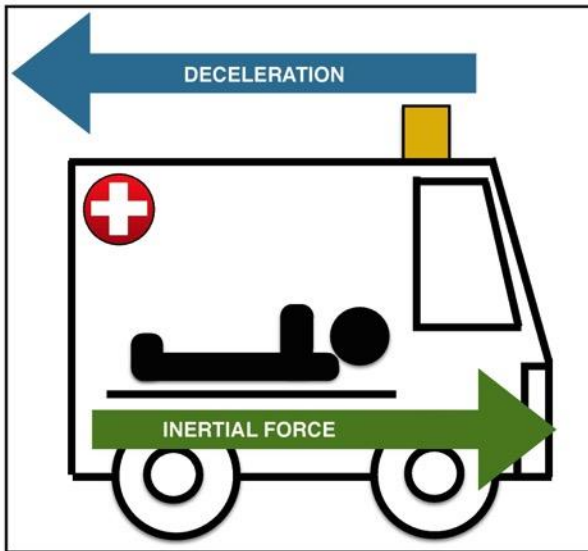
牛顿第三定律指出, 每一个作用力都有一个大小相等方向相反的反作用力。当患者受到外力作用加速时, 会产生大小相等方向相反的作用力被称为惯性(图 2a/b)



(图中蓝色箭头为“加速”，绿色箭头为“惯性力”)

图 2a 加速

例如, 如图 2a 所示, 当救护车加速时, 产生外力的方向是朝向患者头部的方向。而惯性力是相反的方向即朝向患者脚的方向。这个惯性力引起器官和血液等体液向患者脚的方向移动。移动的数量取决于速度、加速度的大小和方向。加速度的方向可以为前后、横向或头尾方向。通常救护车运输中加速度的方向是头尾方向, 会产生显著的生理影响<sup>[4]</sup>。



(图中蓝色箭头为“减速”，绿色箭头为“惯性力”)

图 2b 减速

图 2b 所示减速会产生相反的效果，这时引起减速的外力朝向脚的方向，患者的血液向头部移动。救护车的刹车力（原文为“The breaking force”，疑为“The braking force”）远大于加速度力，因此减速比加速对患者的影响更大<sup>[4]</sup>。

## 加速引起的生理影响：

### 心血管系统

血液淤积在下肢使静脉回流减少，心输出量减少，导致低血压。健康状态下，压力感受器受体会反射性增加血管张力来代偿低血压。然而，在危重患者，由于病情危重如败血症或治疗药物的作用使得压力感受器反射性的调节作用明显减少或缺失。严重低血压发生时可能需要增加正性肌力药和血管加压药。低血容量和正压通气都会使心脏前负荷减少而加重低血压<sup>[4]</sup>。

### 神经系统

- 低血压可以导致脑灌注的减少，从而影响患者的意识水平。头部损伤的患者由于需要维持一定的脑灌注压，这点尤为重要。
- 脑灌注压 (CPP) = 平均动脉压 (MAP) — 颅内压 (ICP)

## 减速引起的生理影响：

### 心血管系统

- 由于惯性力将血液向头部“推送”，静脉回流将增加。心脏损伤的患者，右心室容积的

增加会导致心脏衰竭，肺水肿以及心律不齐。

## 神经系统

- 由于静脉血液和脑脊液的移动导致颅内压增加。这对于颅内压已经增高的患者十分重要，因为他们在减速的过程中，脑灌注压可能进一步降低。

## 胃肠道系统

- 惯性力驱使胃向患者头部移动，将增加误吸的风险。
- 腹腔脏器向头部移位增加跨膈肌压，导致更小的潮气量或者更高的胸内压，这取决于使用的通气模式。

## 肌肉骨骼系统

- 有严重脊柱损伤的患者，减速期间的惯性力会导致轴向负荷，引起不稳定性脊柱骨折的移位。

需要注意的是，这些惯性力同样也作用于设备仪器和医务人员。因此，设备仪器应该被固定好，所有医护人员在救护车移动的过程中都应坐好并系好安全带，从而减少受伤的风险。由于医务人员拥有健全的代偿能力并且坐位时惯性作用是前后方向，所以不会产生明显的生理学影响。加速和减速属于动态危险，同时还有一些静态危险也会显著影响患者，如：

## 噪音

- 噪音会影响医务人员之间及与患者之间的交流并带来痛苦。

## 温度

- 救护车不能像医院那样有效的调节温度，因此病人可能会暴露在极热或极冷的环境中，出现低温和高热的风险。因此，在转运患者的过程中严密监测患者的体温是很重要的，并且要为低体温准备好额外的毯子和液体加热器。

## 转运时间

- 在长时间转运中，受压区域应该受到保护和监测。转运过程中空间通常是很有限制的，要特别注意各种线的位置，避免患者身上有其他设备压迫。
- 在长时间的转运过程中，血液和其他体液在下垂部位的淤积和骨骼突出部位的压迫，会导致组织的浸解，进而形成褥疮。健康志愿者在硬的急救板（脊柱板）上，正常灌注的皮肤仅 20 分钟后就出现了褥疮。而使用加压药物治疗的危重患者，褥疮会出现的更快。因此，急救板不应该用于长时间的转运，爱丁堡皇家外科医师学会在 2013 年已经发表声明指出院前脊柱固定的患者容易发生褥疮<sup>[5]</sup>。在转运此类患者的过程中只要有可能就应

该使用真空垫子。

## 航空转运产生的生理影响

航空转运通常是由军方或其他受过专门训练的人员通过直升机或固定翼飞机转运。了解航空转运对患者造成的生理影响非常重要，因为航空转运对 ICU 患者的影响取决于患者转运前的准备工作。

## 海拔高度对生理的影响

### 大气压强

- 随着海拔高度的增加大气压降低，两者呈非线性关系。虽然空气中氧的浓度始终为 0.21，但是动脉氧分压会下降。大气压下降导致肺泡氧分压降低，从而导致组织缺氧，必须补充充足的氧气(增加吸入氧浓度)。
- 低氧可引起心动过速、心动过缓、心律失常、低血压、呼吸急促并可改变人的意识水平。对于健康个体通常是不需要氧气补充的，除非飞行高度超过 10000 英尺以上。
- 海平面大气压是 101 kpa，10000 英尺的高空大气压下降到 70 kpa。大气压下降对氧分压有显著影响，如图 3 肺泡气体方程所示。

肺泡气体方程式	
$P_{A}O_2 = [F_iO_2 \times (P_{atm} - P_{H_2O})] - (P_{A}CO_2/R)$	
<i>(<math>P_{A}O_2</math> = 肺泡气氧分压, <math>F_iO_2</math> = 吸入氧浓度 (空气氧浓度 0.21%), <math>P_{atm}</math> = 大气压, <math>P_{H_2O}</math> = 37 °C 时水的饱和蒸汽压力在 (6.3kpa), <math>P_{A}CO_2</math> = 肺泡气二氧化碳分压 (5.3kpa), <math>R</math> = 呼吸商(通常为 0.8, 与饮食有关))</i>	
例如	
海平面的 $P_{A}O_2$	海拔 10000 英尺的 $P_{A}O_2$
$P_{A}O_2 = [0.21 \times (101 \text{ kpa} - 6.3 \text{ kpa})] - (5.3 \text{ kpa} / 0.8)$ = 19.8 kpa - 6.6 kpa = 13.2 kpa (99 mmHg)	$P_{A}O_2 = [0.21 \times (70 \text{ kpa} - 6.3 \text{ kpa})] - (5.3 \text{ kpa} / 0.8)$ = 13.3 kpa - 6.6 kpa = 6.7 kpa (50 mmHg)

图 3 肺泡气体方程

如果飞行过程中危重患者出现低氧可以用增加吸入氧浓度 ( $f_iO_2$ ) 或通过降低飞行高度或进入低海拔密封舱从而增加氧分压得到改善。

肺泡-动脉血氧梯度不匹配的患者尤其需要引起关注, 如严重 COPD 患者、肺挫伤或

肺纤维化的患者，高海拔引起的相对低氧会导致这些患者出现更低的 PaO<sub>2</sub>。因此，在飞机起飞前与飞行员讨论飞行高度并评估飞行高度对患者带来的潜在风险尤为重要。

## 容积膨胀

- 波义耳定律表明，在恒定温度下，一定质量气体的体积与气体的绝对压力成反比(图4)。因此，当上升时，含气空腔脏器中的气体体积将会增加。这将影响所有含气空腔脏器和气体填充的设备,因为在封闭空间里气体的容积随大气压强的下降而增大。

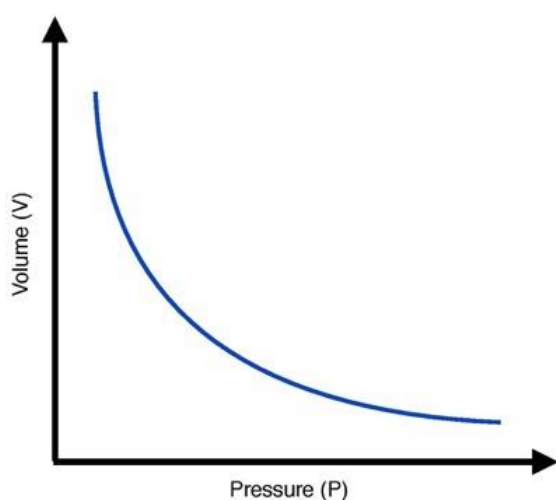


图4 波义耳定律

## 容积膨胀的生理影响

- 在航空转运之前，气胸患者应该进行胸腔闭式引流，以避免增加气胸面积和形成张力性气胸的风险。
- 肠梗阻患者或近期行肠道吻合手术的患者应该进行低海拔空运或陆地转运。可以考虑采用固定翼飞机完成转运，因其密闭舱中的压力可保持在海平面或较低海拔高度的水平。
- 在上升和下降过程中，如果患者不能平衡咽鼓管中的空气膨胀，将会导致疼痛和不适。这也同样会发生在医务人员身上。
- 腹腔积气和颅内积气是航空转运的相对禁忌症。患者颅内积气时，气体膨胀可能加重 ICP 升高，降低脑灌注压。
- 气管导管、森斯塔肯-布莱克莫尔管、造口袋和充气压力袋这些充气设备的压力应该受到监测。在飞机上升时气管套囊中的气体体积发生膨胀导致套囊压力升高，应减少套囊中的气体容积以维持较适当的压力。飞机下降时需要增加套囊中的气体容积。另一个选择是用盐水填充气管导管套囊，液体膨胀远低于气体。

## 体温

- 随着海拔的增加温度下降，每上升 1000 英尺空气温度下降 2℃。飞机在高海拔时，如果转运患者没有处于压力密封舱内，长时间转运可使患者处于低温风险中。至于陆地转运也应该有适当的措施来减少热量丧失。

## 湿度

- 高海拔时由于气压低和湿度低的影响，会导致皮肤和肺部的水分更快地蒸发，更易造成脱水。对于需要长时间转运的患者考虑这些因素是非常重要的，需要严密地监测这些患者的液体入量和出量，从而避免低血容量和脱水现象。
  - 湿度降低可以导致分泌物的增厚和粘液栓的形成，因此应该使用热湿交换过滤器或者湿化氧气来进行面罩通气。
  - 需长时间转运的患者，使用人工泪液润滑眼睛和频繁地进行口腔护理也是非常重要的。

## 空运的其他考虑

### 加速及减速

- 应用直升机或者飞机转运的患者同样面临着之前提到的陆地转运过程中暴露于加速和减速的风险。唯一需要考虑的是，惯性力因飞行的方向不同可能出现在不同的轴线上，以及患者如何朝向的问题。之前提到注意事项仍然适用。

### 噪音和震动

直升机上的噪音和震动可能会使清醒患者产生痛苦，特别是对于谵妄的患者，这点应该被考虑到。

噪音会使救援团队之间的沟通变得困难，而这点可以通过头戴耳机解决，也应该为患者提供这样的耳机。

震动是使医务人员在直升机飞行过程中产生疲劳的一个最常见原因，所有救援团队的成员都应该被告知这个风险。机组人员因为飞行时间的限制能够减少疲劳发生的风险，在长时间的转运过程中，同样的规范（指飞行时间的限制）也适用于医务人员。

震动也会影响监测设备尤其是通过振动来监测血压的无创血压计。因此，需要精确监测血压的患者，在飞行转运之前应该进行动脉置管以便在飞行过程中能精确测量血压。

### 有限的空间



跟救护车相比，直升机上的空间更加有限。在直升机飞行过程中进行插管，是极其困难的。因此，所有可能存在病情恶化风险的患者都应该在转运之前进行插管。

以上的考虑都是非常重要的，然而在实际中，上述的并发症并不像你想象的那么明显。这是因为直升机转运院前患者或院间转运的飞行高度一般都在 1000 英尺。这会减少容量膨胀及氧分压的下降。

固定翼飞机比直升机飞的海拔高度更高，但是不像直升机，固定翼飞机可以保持机舱的压力处于低海拔气压水平。民用飞机一般将机舱的压力设置在 7000-9000 英尺高度的压力水平。飞机也能将机舱内压力保持与陆地水平相当，然而如果这样做，由于机舱壁内外压力的差异，会限制飞机上升的高度。

### 如何将转运对危重患者造成的生理影响降至最低的总结

陆地转运	航空转运
<ul style="list-style-type: none"> <li>患者在转运之前应进行恰当的复苏并使病情稳定以减少在转运过程中由于移动造成的生理紊乱，避免病情恶化。（ICS 指南）。</li> <li>头部抬高 15 度可降低惯性力对颅内压的影响。</li> <li>在加速期间，腿部抬高可增加静脉回流和心脏前负荷。</li> <li>行气管插管将会减少误吸的风险。不符合插管指征的患者可以给予止吐药。在高危人群中可插入鼻胃管减少误吸风险。</li> <li>转运中应经常监测患者的体温并合理使用毯子和液体加热装置。</li> <li>监测受压区域。</li> <li>即使在紧急“蓝灯”转运过程中，迅速的加速和减速也得不到一点好处。控制加速和减速保持稳定的速度不仅保护患者安全也同样保护医务人员和公众的安全。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>与陆地转运一样，转运病人之前做好充分准备并使病情稳定可将加速和减速对患者造成的影响降至最小。陆地转运的注意事项同样适用。除此之外：</li> <li>气胸患者在转运之前，应行胸腔闭式引流以避免上升期间形成张力性气胸。</li> <li>低氧患者应补充氧气和/或降低飞行海拔高度。</li> <li>如果患者病情可能恶化，在转运之前即应进行气管插管，因为在飞行期间由于空间限制很难插管。</li> <li>考虑到飞行期间压力的变化，气管导管套囊最好使用盐水代替空气填充。</li> <li>患者的体温和受压部位应严密监测。</li> <li>空运前应行有创动脉置管以便监测血压，因为转运期间产生的震动会影响无创血压计袖带的功能。</li> <li>对于一些可能出现并发症如颅内积气的患者，航空转运是否是最佳选择需要仔细考虑。对于这些患者，避免航空转运、低海拔高度飞行或进入压力密封舱是必要的。</li> </ul>

## 运输方式

如上所述，不同转运方式可能对机体产生非常明显的生理影响，尤其是对于不能代偿这

些生理变化的危重病患者。

转运方式的选择取决于地点、转运的紧迫性、可获得的转运方式、天气和患者因素。

	救护车	直升机	固定翼飞机
优势	<ul style="list-style-type: none"><li>• 常用</li><li>• 总费用低</li><li>• 快速动员</li><li>• 不受天气条件的影响</li><li>• 易于对患者进行监测</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 对于偏远地点或难以接近的地点具有优势</li><li>• 某些情况下快于救护车</li><li>• 如果医院有直升机停机坪，转运两端都不需要救护车</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 长途转运</li><li>• 公路交通不能进入的区域</li><li>• 有压力密封舱</li></ul>
劣势	<ul style="list-style-type: none"><li>• 较慢</li><li>• 受交通影响</li><li>• 更适用于短距离转运</li><li>• 某些地点如山区不能转运患者</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 昂贵</li><li>• 恶劣天气不能飞行</li><li>• 动员延迟</li><li>• 缺少经验和需要额外培训</li><li>• 非常有限的空间</li><li>• 无压力密封舱</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 昂贵</li><li>• 组织困难</li><li>• 起飞延误</li><li>• 起飞前或降落后需要救护车转运</li><li>• 医务人员需要进一步的培训</li></ul>

图 5. 不同运输方式的优势和劣势

## 总结

转运对危重患者可产生显著的生理影响，因为危重病患者的急性病理改变或治疗的药物使其不能代偿这些变化。

认识地面和空中转运对患者生理的影响，充分做好转运前的准备，有利于降低患者在转运过程中发生病情不稳定和恶化的风险。

我们必须记住，上述原则不仅适用于患者，也适用于医护人员和医用设备。医务人员应保持体内水分并意识到长途飞行中疲劳的风险。飞行中产生的震动能影响监测设备，充气的留置设备如气管导管套囊需要进行压力监测或者改用生理盐水填充。任何没有进行固定的设备由于惯性的作用都有可能对医务人员造成重大伤害。

## 答案

1)

a.正确——救护车减速产生的外力其方向朝向病人的脚。惯性力作用的方向相反，引起血液和脑脊液向头部流动，导致颅内压升高。

- b.正确——在救护车加速时外力产生的加速使得血液趋向于脚，血液淤积于脚导致低血压。
- c.错误——减速时由于胃及内容物向患者头部移动，会增加误吸的风险。
- d.正确——由于救护车不能调节温度会使患者暴露于寒冷环境中。患者在麻醉/镇静状态时，不能通过穿上更多的衣服来应对体温的下降，并且，在此状态下，血管舒张会通过血流的重新分布引起更多热量的丢失。
- e.正确——具有严重脊髓损伤的患者在加速/减速过程中产生的惯性力会导致轴向负荷，引起不稳定性脊柱骨折的移位。

2)

- a.错误——波义耳定律表明，在恒定温度下，一定质量气体的体积与绝对压力成反比。因此，上升时，任何含气空腔脏器的体积都会增加。
- b.正确——在上升过程中，盐水并不像气体那样膨胀。盐水的体积受海拔高度的影响较小。
- c.错误——救护车的空间有限，直升机/飞机的空间更有限，在飞行期间进行气管插管是极其困难的。
- d.错误——由于上升过程中气体膨胀，所以气胸面积随海拔高度而增加（波义耳定律），增加了形成张力性气胸的风险。
- e.错误——由于动员延迟、飞行限制、以及某些情况需要救护车转运至机场或从机场转运，航空转运并不总是最快的运输方式。航空转运也存在与飞行高度相关的风险比如气体膨胀和缺氧，这在文章中有详细讨论。

3)

- a.错误——加速/减速和惯性力也作用于设备和医疗人员。因此设备应该被固定好，所有医务人员都应该坐下并系上安全带以降低受伤的风险。
- b.正确——牛顿第三定律表明，对于每一个作用力都有一个大小相等、方向相反的反作用力。
- c.错误——随着高度增加大气压减低是由于重力对气体分子的作用减小所致。
- d.正确——氧浓度保持 0.21 不变但是氧分压下降。
- e.正确——这是对波义耳定律的正确解释。

## 参考文献和拓展阅读

1. Intensive Care Society. Guidelines for the transport of the critically ill adult (3rd Edition 2011). (<http://www.ics.ac.uk/ics-homepage/guidelines-and-standards/>)
2. AAGBI Interhospital Transfer, AAGBI Safety Guideline (<https://www.aagbi.org/sites/default/files/interhospital09.pdf>)
3. D Cleary, K Mackey. Inter-hospital transfers. Anaesthesia tutorial of the week, Intensive Care. Tutorial 319. 5th August 2015 [http://www.wfsahq.org/components/com\\_virtual\\_library/media/10ab57fa5fe491b831e42c0ca636e245-319-Inter-hospital-transfers.pdf](http://www.wfsahq.org/components/com_virtual_library/media/10ab57fa5fe491b831e42c0ca636e245-319-Inter-hospital-transfers.pdf)
4. Critical care network, North West London. Critical care transfer training handbook.
5. Pre-hospital Spinal Immobilisation: An Initial Consensus Statement. D Connor, K Porter, M Bloch, I Greaves. The Royal College of Surgeons of Edinburgh. <https://fphc.rcsed.ac.uk/media/1764/pre-hospital-spinal-immobilisation.pdf>
6. I Macartney, P Nightingale. Transfer of the critically ill adult patient. British Journal of Anaesthesia CEPD reviews. 2001 Number 1.
7. A Bersten, N Soni. OH's Intensive Care Manual. Chapter 4 Transfer of critically ill patients. Pigs 27-37
8. P Davis, G Kenny. Basic Physics and Measurement in Anaesthesia. Chapter 4 The Gas Laws. Pigs 37-50
9. Traumatic Brain Injury (TBI) and Effects of Altitude: An Analysis of the Literature (<http://hprc-online.org/environment/altitude/traumatic-brain-injury-and-the-effects-of-altitude-pdf>)
10. USA Air Ambulance (<http://www.usairambulance.net/effects-of-altitude.php>)
11. US Army Aviation Training Website <https://rdl.train.army.mil/catalog-aws/view/100.ATSC/C696BACA-168F-4B4A-9750-BB445E08BECE-1300757497629/3-04.93/chap4.htm>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>

译者：白利群，审校：张兵  
哈尔滨医科大学附属第二医院