

•实验研究 Experimental research•

支架孔率对脑动脉瘤血流动力学影响的
三维数值模拟研究

张 星, 黄清海, 施 洋, 余钊胜, 邵雪明, 刘建民

【摘要】 目的 探讨不同支架网孔密度对支架植入后脑动脉瘤内血流动力学的影响。方法 建立宽颈的弯曲管侧壁型动脉瘤血流动力学三维数值模型, 比较不同网孔密度支架植入前后, 动脉瘤内血流动力学变化。结果 动脉瘤远侧壁的速度峰值与壁面剪应力随着支架孔率下降而降低, 瘤颈远侧壁及瘤顶部的压力场与支架孔率无明确的相关性。结论 数值模拟研究证实支架孔率是影响动脉瘤内血流动力学的关键因素, 合适的支架孔率设计对动脉瘤血管重建治疗至关重要。

【关键词】 脑动脉瘤; 血流动力学; 计算流体力学; 支架; 孔率

中图分类号: R743 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2009)-03-0213-04

Influence of stent porosity on cerebral intra-aneurysmal hemodynamics: a three-dimensional numerical simulative study ZHANG Xing, HUANG Qing-hai, SHI Yang, YU Zhao-sheng, SHAO Xue-ming, LIU Jian-min. Department of Neurosurgery, Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

【Abstract】 Objective To investigate the influence of stent properties on the alteration of cerebral intra-aneurysmal hemodynamics. **Methods** A wide-necked sidewall aneurysm model in a curved-vessel was created by using computational fluid dynamics simulations. The hemodynamic changes after deployment of the stent with different porosity were studied. **Results** The peak velocity and the wall shear stress correlated well with the porosity of the stents. The pressure in aneurysmal sac showed no changes with different stent porosities. **Conclusion** This numerical simulation study indicates that the stent porosity is an important factor which has significant effect on the hemodynamics inside the aneurysm. Appropriate stent porosity is very important for the treatment of wide-neck intracranial aneurysms. (J Intervent Radiol, 2009, 18: 213-216)

【Key words】 cerebral aneurysm; hemodynamics; computational fluid dynamics; stent; porosity

血管内支架已被广泛成功地应用于颅内复杂动脉瘤的栓塞治疗, 极大拓展了脑动脉瘤介入治疗的适应证^[1]。进一步研究提示, 除了作为辅助手段, 支架可以改变动脉瘤内和载瘤动脉内的血流动力学, 而有效的避免动脉瘤复发^[2], 置入支架网孔密度也是影响血流动力学的重要因素。是否在降低支架孔率的同时提高支架柔顺性是目前支架研发的重点内容。本研究通过数值模拟方法建立宽颈曲管侧壁型动脉瘤的血流动力学三维模型, 比较不同孔率

大小的支架植入后动脉瘤内血流动力学变化, 分析血流动力学参数随支架孔率的变化趋势及两者间的量化关系, 探索应用于脑动脉瘤治疗支架的合适孔率。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究中所应用的基于计算流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) 软件, 包括美国 Adobe 公司的 photoshop 7.0 软件、MathWorks 公司的 Matlab 软件、SolidWorks 公司的 SolidWorks 软件、Fluent 公司的 Gambit 软件和 Fluent 软件。网格的验证及运算在联想深腾 1800 机群上进行, 以 Linux 为操作系统, 包括 4 个节点 (主机), 每个节点有 8 个 CPU 内核和 2 G 内存。其他步骤在 Pentium 4 PC 进

基金项目: 上海市优秀学科带头人项目 (07DX14026); 上海市自然科学基金项目 (08ZR1406200)

作者单位: 200433 上海 第二军医大学长海医院神经外科 (张 星、黄清海、刘建民); 浙江大学流体力学研究所 (施 洋、余钊胜、邵雪明)

通信作者: 黄清海

行,主频为 1.60 GHz,内存 512 M,操作系统为 Windows XP。

1.2 方法

1.2.1 生理条件与简化假设 血流采用脉动流,载瘤动脉每个心动周期内流速波型如图 1a 所示,血流参数设定:心率 72 次/min,血管壁为刚性壁,血液为牛顿液,非压缩性。血液密度为 1.060 g/ml,黏度 4 mPas。壁面取非滑移条件。

1.2.2 三维建模 模型三维几何参数设置:血管的直径均为 4 mm,横截面为规则的圆形。瘤颈附近载瘤动脉的曲率为 $r = 20$ mm,动脉瘤位于该段的中点且位于血管的凸侧壁。宽颈动脉瘤非三维对称,在该平面上取瘤颈最大直径为 6 mm,垂直于该长径的瘤颈短径为 3 mm,动脉瘤高度为 7 mm。按照该参数形成 JPEG 格式图片,提取其边界轮廓,结合三维几何参数生成动脉瘤三维图形。

本课题的支架按自膨胀连续编织的闭环网格设计,网格设计为正方形,网丝直径为 0.0495 mm,依据支架展开后空隙面积与总面积比值为支架孔率,孔率分别为 70%、74%、78%与 82%。将这 4 种不同

孔率的支架模拟置入载瘤动脉并完全覆盖瘤颈。

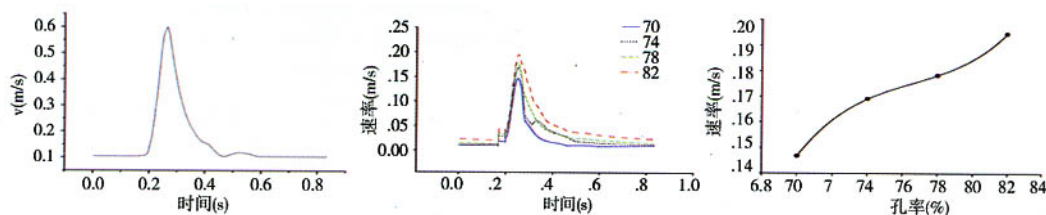
1.3 生成网格与计算

取网格单元数为 2.0×10^6 ,计算域划分并验证网格。入口边界设为速度入口边界,出口边界设为出流。上述条件导入 Fluent 软件,计算出瘤场内速度矢量、壁面切应力、压力等参数值及其时间与空间分布,每个心动周期内平均取 1 000 个时间点,分别提取上述参数值。

2 结果

2.1 速度场

4 种孔率的支架置入后,在 1 个心动周期内无论是收缩期还是舒张期内,动脉瘤瘤颈远侧壁速度峰值均随支架孔率的降低而降低。而就速度峰值随时间的分布规律在不同孔率的支架置入后是一致的。将瘤颈远侧壁速度值在 1 个心动周期内取平均值,将支架孔率作为自变量,绘制速度-孔率曲线(图 1),并拟合出速度函数: $f(X) = -23.3431 + 0.9170X - 0.0119X^2 + 5.1982 \times 10^{-5}X^3$, (自变量 X 为支架孔率)。



a 载瘤动脉血流速度波型

b 宽颈动脉瘤 4 种孔率支架置入后一个心动周期内速度峰值曲线

c 宽颈动脉瘤瘤颈远侧壁速度峰值-支架孔率曲线

图 1 载瘤动脉不同条件的血流速度波形和相关曲线

2.2 壁面切应力

与速度场相似,4 种孔率的支架置入后,瘤颈远侧壁壁面剪应力(WSS)值随支架孔率的下降而下降,而其时间分布规律基本一致(图 2),相比较而言,收缩峰期 WSS 值下降程度不如其他时间段明显。同样绘制了 WSS-孔率曲线(图 3),该曲线形态与速度场相一致,在此基础上拟合出 WSS 函数: $f(X) = -1831.37 + 72.2149X - 0.9464X^2 + 0.0041 \times 10^{-5}X^3$, (自变量 X 为支架孔率)。

2.3 压力场

对 4 种不同孔率支架植入后动脉瘤颈远侧壁与瘤顶部的压力场进行分析,结果发现支架孔率对瘤内压力场无明显影响,4 种支架植入后压力场变化曲线基本重合(图 4a)。而瘤颈远侧壁处与瘤顶部的压力取值,无论支架植入与否,经过曲线比对发

现是相等,即在动脉瘤内不同部位,压力场完全一致(图 4b)。

3 讨论

血管内支架辅助的弹簧圈栓塞技术已成为颅内宽颈或梭形动脉瘤介入治疗中的重要方法。随着对介入材料与技术的研究,颅内动脉瘤的血管内栓塞治疗已从单纯的瘤内栓塞到载瘤动脉血管重建理念的转变。无论是在体外和体内研究中,都已经观察到支架植入后对脑动脉瘤内血流动力学的影响,并且可以促进动脉瘤内血栓形成和瘤颈的解剖愈合^[3]。

从流体力学角度看,支架的参数设计决定其支架对动脉瘤内血流动力学影响效应的强弱。支架的参数特征主要包括孔率、网丝直径与网格形态,其中

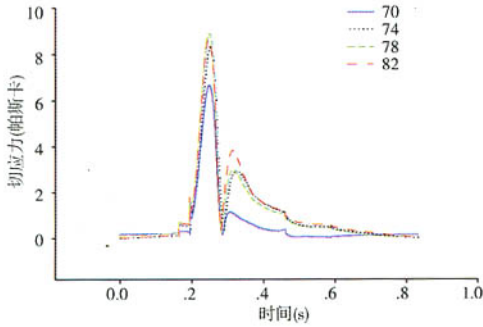


图2 宽颈动脉瘤4种孔率支架置入后瘤颈远侧壁1个心动周期内WSS曲线

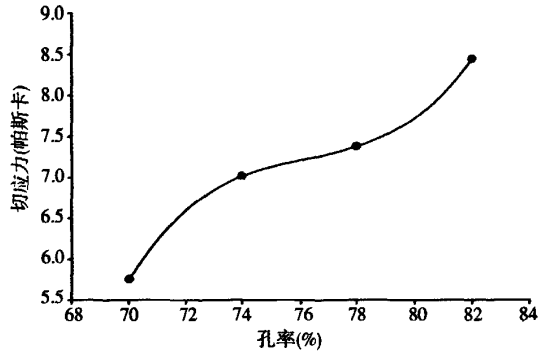
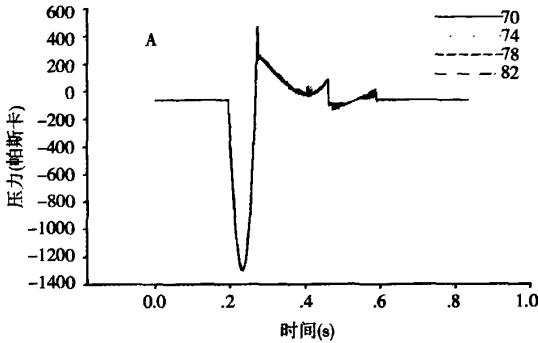
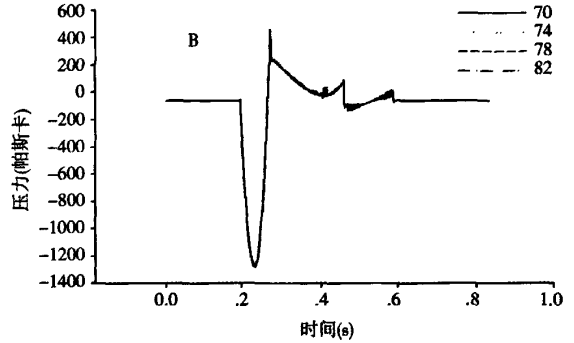


图3 宽颈动脉瘤瘤颈远侧壁WSS-支架孔率曲线



a 瘤颈远侧壁



b 动脉瘤顶部

图4 宽颈动脉瘤4种支架置入后1个心动周期内压力曲线

孔率被认为是影响动脉瘤内血流动力学最重要的参数。我们早期的动物实验研究结果证实,瘤颈部位支架网丝密度越密瘤颈内皮化速度越快。而临床上对于难以进行弹簧圈填塞的特定形态的动脉瘤,常采用2个或以上的支架置入,使支架的网丝相互重叠而降低其孔率,从而获得瘤内血流动力学的充分改变,促使动脉瘤内形成稳定的血栓而愈合^[4]。

为证实随着支架孔率的降低,对瘤内血流动力学的影响是否更为显著及其规律,近年一些研究陆续展开。一些实验通过体外构建动脉瘤模型,应用先进的激光测速装置如PIV或LDV系统量化研究支架孔率的影响,大部分研究结果与前期动物实验一致^[7,8]。Lieber等^[5]量化研究了4种其他特征相同而孔率分别为76%、80%、82%、85%的支架置入对动脉瘤血流动力学的影响,发现血流动力学参数最高的“新月形”区域的范围与支架的孔率高度相关,并且血流动力学最显著的改变出现于放置孔率76%的支架后。但Barath等^[8]与Rhee等^[9]的体外模型研究得出的结论有所不同,其在体外直管梭形与侧壁型动脉瘤中分别放置了孔率为86%和79%的2种支架,发现在心动周期的部分时段,低孔率的支

架置入使得瘤内血液流动降低得更多,但孔率的这一效应并不是很显著,作者认为可能与研究中所采用的孔率差别不大造成。Barath等^[8]在直管侧壁型宽颈与窄颈2种体外动脉瘤模型中放置了20种孔率与网格形态各异的支架,作者试图研究支架各种参数如孔率、网丝直径、网格形态对血流动力学影响的相互关系但未得出结论,认为其联系较为复杂,并提出支架放置的“位置效应”,即网丝的位置与方向对上述参数的效应具有很大影响。

鉴于数值模拟实验条件可控性好,便于连续性精确设置支架参数,并且具有成本较低的优势,应加以推广。本研究也表明数值模拟研究结果有较高的可靠性和准确性。与以前的文献比较,我们的研究结果与Lieber等^[7]较为一致。根据我们实验中的体会,无论是采用PIV/LDV系统的体外模型实验抑或数值模拟研究,其原始取值对象均是流场内某一点的参数值,尤其是受关注度较高的瘤颈远侧壁的取值,在瘤颈处支架放置后具有很大的随机性和偶然性,取决于该点与支架网丝的位置关系。着眼于应用价值,显然更应关注某一区域的参数值,而非数理意义上无限小的点的取值。这也是为何在数

值模拟运算相当精确的情况下,我们仍然在瘤颈远侧壁提取该区域 4 个点,取其平均值,以平衡这一效应的原因。

随着支架孔率的降低,对血流动力学参数如流速、壁面切应力,其值也相应降低。我们以支架孔率作为自变量绘制曲线,描述上述血流动力学参数与支架孔率的量化关系。在窄颈动脉瘤,这一曲线形态与我们预先所设想的相符,即在孔率相对较高的范围,流速与壁面切应力值随支架孔率下降有明显降低,但当支架孔率降至一相对较低的水平如 70% 左右时,由于此时瘤内血液流动已相当缓慢,则支架孔率进一步下降不会带来上述数值的明显降低,对应的是该曲线的平坦段。而在宽颈动脉瘤,这一曲线形态难以解释,我们考虑是在支架随机释放的情况下,与支架孔率改变导致瘤颈处网丝的“位置效应”变化有关,这一点尚需进一步论证。

动脉瘤血流动力学的因素包括瘤内压力场的变化、速度峰值和壁面剪应力的变化。虽然,壁面切应力被认为是与动脉瘤生长、破裂与出血直接相关的因素,但瘤内压力变化是否会在支架植入前后发生明显的变化,这种变化趋势是否会受支架孔率的影响,还需要进一步研究。本研究结果证实了在我们前期研究中所提出的观点,即支架置入对瘤内压力场无明显影响,并且这一点并不因为支架的孔率降低而有所改变,因而降低支架孔率对于瘤顶部因压力造成的瘤壁牵张力无保护作用。这可能与动脉瘤内的压力主要由静态的压力传导所形成有关,其水平主要决定于系统血压^[1]。

本研究的意义在于揭示低孔率支架能更为充分的改变瘤内的血流动力学,进一步促使瘤内血栓形成和降低瘤颈远侧壁的壁面切应力,有着更为优越的远期效果。对于特定动脉瘤,我们可根据其血流动力学参数-孔率曲线,选择位于曲线陡直段与平坦段结合部的孔率,将使得临床上应用支架治疗脑动脉瘤时,支架的选择更具针对性。同时也论证了对于破裂动脉瘤存在早期再出血风险的患者,试图通过降低支架孔率来防止其再出血,理论上是行不通的。

尽管我们的研究表明随着支架孔率的降低,动脉瘤内的血流动力学改变更为显著。但由于降低支架孔率将降低支架的柔顺性,影响其贴壁性能和操作的安全性,同时对支架所覆盖的侧支血管的血流也将造成影响,因而限制了低孔率支架的临床应用,目前临床常用的颅内支架孔率一般为 85% 左

右。这一问题一方面有待材料学上的进一步突破加以解决,另一方面可通过改进支架的设计,如不均一孔率支架的研究理念为:覆盖在动脉瘤颈部位的支架网格较小,而覆盖在动脉瘤两端正常载瘤动脉内的支架网格较大,在达到动脉瘤内血流动力学充分改变的同时避免对侧支血管的血流产生明显影响,同时不影响支架投送的柔顺性。此外,本课题的研究采用支架设计为连续编织的闭环设计,并且设定为网格形状为正方形。这是本研究的一个局限之处,因此,后续研究将着眼于采用数值模拟的方法研究支架的其他参数包括网丝直径、方向与网格形态等对脑动脉瘤血流动力学的影响。

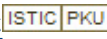
[参考文献]

- [1] Biondi A, Janardhan V, Katz JM, et al. Neuroform stent-assisted coil embolization of wide-neck intracranial aneurysms: strategies in stent deployment and midterm follow-up [J]. *Neurosurgery*, 2007, 61: 460 - 468
- [2] 刘建民, 黄清海, 许 奕, 等. 血管内支架成形术治疗颅内宽颈动脉瘤及长期随访结果[J]. *中华神经外科杂志*, 2005, 21: 67 - 70.
- [3] 刘建民, 张 鑫, 周晓平, 等. 血管内支架结合电解科脱卸弹簧圈治疗犬颈动脉宽颈动脉瘤的实验研究[J]. *介入放射学杂志*, 2004, 13: 258 - 262.
- [4] Doerfler A, Wanke I, Egelhof T, et al. Double stent method: therapeutic alternative for small wide-necked aneurysms. Technical note[J]. *J Neurosurg*, 2004, 100: 150 - 154.
- [5] Yu SC, Zhao JB. A steady flow analysis on the stented and non-stented sidewall aneurysm models [J]. *Med Eng Phys*, 1999, 21: 133 - 141.
- [6] Aenis M, Stancampiano AP, Wakhloo AK, et al. Modeling of flow in a straight stented and nonstented side wall aneurysm model[J]. *J Biomech Eng*, 1997, 119: 206 - 212.
- [7] Lieber BB, Stancampiano AP, Wakhloo AK. Alteration of hemodynamics in aneurysm models by stenting: influence of stent porosity[J]. *Ann Biomed Eng*, 1997, 25: 460 - 469.
- [8] Barath K, Cassot F, Fasel J HD, et al. Influence of stent properties on the alteration of cerebral intra-aneurysmal haemodynamics: flow quantification in elastic sidewall aneurysm models[J]. *Neurol Res*, 2005, 27: 120 - 128.
- [9] Rhee K, Han MH, Cha SH. Changes of flow characteristics by stenting in aneurysm models: influence of aneurysm geometry and stent porosity[J]. *Ann Biomed Eng*, 2002, 30: 894 - 904.
- [10] Canton G, Levy I, Lasheras JC. Flow changes caused by the sequential placement of stents across the neck of sidewall cerebral aneurysms[J]. *J Neurosurg*, 2005, 103: 891 - 902.

(收稿日期:2008-08-15)

作者: 张星, 黄清海, 施洋, 余钊胜, 邵雪明, 刘建民, ZHANG Xing, HUANG Qing-hai, SHI Yang, YU Zhao-sheng, SHAO Xue-ruing, LIU Jian-min

作者单位: 张星, 黄清海, 刘建民, ZHANG Xing, HUANG Qing-hai, LIU Jian-min(上海第二军医大学长海医院神经外科, 200433), 施洋, 余钊胜, 邵雪明, SHI Yang, YU Zhao-sheng, SHAO Xue-ruing(浙江大学流体力学研究所)

刊名: 介入放射学杂志 

英文刊名: JOURNAL OF INTERVENTIONAL RADIOLOGY

年, 卷(期): 2009, 18(3)

被引用次数: 1次

参考文献(10条)

1. Biondi A, Janardhan V, Katz JM [Neuroform stentassisted coll embolization of wide-neck intracranial aneurysms:strategies in stent deployment and midterm follow-up](#) 2007

2. 刘建民, 黄清海, 许奕 [血管内支架成形术治疗颅内宽颈动脉瘤及长期随访结果](#)[期刊论文]-[中华神经外科杂志](#) 2005

3. 刘建民, 张鑫, 周晓平 [血管内支架结合电解科脱卸弹簧圈治疗犬颈动脉宽颈动脉瘤的实验研究](#)[期刊论文]-[介入放射学杂志](#) 2004

4. Doerfler A, Wanke I, Egelhof T [Double stentmethod:therapeutic alternative for small wide-necked aneurysms.Technical note](#) 2004

5. Yu SC, Zhao JB [A steady flow analysis on the stented and non-stented sidewall aneurysm models](#) 1999

6. Aenis M, Staneampiano AP, Wakhloo AK [Modeling of flow in a straight stented and nonstented side wall aneurysm model](#) 1997

7. Lieber BB, Stancampiano AP, Wakhloo AK [Alteration of hemodynamics in aneurysm models by stenting:influence of stent porosity](#) 1997

8. Barath K, Cassot F, Fasel J, HD [Influence of stent properties on the alteration of cerebral intra-aneurysmal haemodynamics:flow quantification in elastic sidewall aneurysm models](#) 2005

9. Rhee K, Han MH, Cha SH [Changes of flow characteristics by stenting in aneurysm models:influence of aneurysm geometry and stent porosity](#) 2002

10. Canton G, Levy I, Lasheras JC [Flow changes caused by the sequential placement of stents across the neck of sidewall cerebral aneurysms](#) 2005

相似文献(10条)

1. 会议论文 刘磊, 许百男, 王美昱, 王君, 曹向宇 [基于3D-DSA影像学数据的脑动脉瘤三维有限元模型构建](#) 2009
研究发现血流动力学因素在脑动脉瘤的形成、生长、破裂等病理生理过程中起重要作用, 同时通过外科手术或血管内介入治疗改变脑动脉瘤血流动力学特征, 即把不稳定血流动力学特征改变为稳定血流动力学特征, 从而减少动脉瘤的破裂概率, 达到治疗不能完全关闭或栓塞的复杂脑动脉瘤目的。因此, 正确分析脑动脉瘤的血流动力学特点对动脉瘤的稳定状态的判断和治疗方式的选择是十分必要的。目前, 脑动脉瘤血流动力学研究主要是应用工程学中的计算流体力学方法来实现的。其中建立准确而有效的动脉瘤三维有限元模型是其关键所在。本研究利用three-dimensional digital subtractionangiography(3D-DSA)容积成像数据、MIMICS10.0软件三维重建和实体模型优化技术, 通过A: NSYS11.0软件建立了较为理想的脑动脉瘤三维有限元模型, 为其血流动力学研究提供了必要前提和基础。

2. 期刊论文 张星, 刘建民, 黄清海, ZHANG Xing, LIU Jian-ming, HUANG Qing-hai [脑动脉瘤血流动力学数值模拟研究及其临床意义](#) -[介入放射学杂志](#) 2008, 17(12)
血流动力学机制被认为是导致脑动脉瘤生长乃至破裂的主要因素。近年来数值模拟已成为脑动脉瘤血流动力学研究的重要方法, 使目前对脑动脉瘤血流动力学机制的认识更为深入。本文回顾近年来的相关研究, 对不同条件下动脉瘤内血流动力学包括速度场、壁面切应力、压力场等方面与脑动脉瘤生长、破裂等生物学行为之间的关系进行了总结, 并对其临床意义进行了探讨。

3. 期刊论文 薛绎宇, 白卫星, 王子亮, 李钊硕, 李立, 曹广劼, 曹会存, 翟水亭, 李天晓, XUE Jiang-yu, BAI Wei-xing.

WANG Zi-liang, LI Zhao-shuo, LI Li, CAO Guang-shao, CAO Hui-cun, ZHAI Shui-ting, LI Tian-xiao [颈内动脉分叉处动脉瘤的血流动力学特点 -当代医学2010, 16\(5\)](#)

目的 动脉分叉处承受更大的血流动力学压迫, 容易形成脑动脉瘤, 但是我们发现颈内动脉分叉处(ICBi)的动脉瘤通常不生长在ICBi的顶点, 而是位于大脑前动脉弯曲的顶点. 本文回顾研究了ICBi动脉瘤的血流动力学特点. 方法 回顾研究了18个ICBi动脉瘤患者, 测量了动脉瘤的瘤体直径、瘤颈宽度, 大脑前动脉水平段(A1段)和大脑中动脉水平段(M1段)的管径, 瘤颈中点距离颈内动脉顶点的长度, 对比了大脑前动脉和大脑中动脉分别由颈内动脉发出后形成的弯曲度, 注意了动脉瘤的生长方向. 结果 16例动脉瘤生长在大脑前动脉弯曲的顶点. 动脉瘤体的最大直径为2.45~15.05 (平均5.74±2.91)mm, 瘤颈宽度1.46~6.21 (平均2.51±1.07)mm. 动脉瘤颈中点距离颈内动脉分叉顶点0~2.91 (平均1.72±0.79)mm. 大脑前动脉水平段管径1.77~3.08 (平均2.22±0.37)mm, 大脑中动脉水平段管径2.32~3.64 (平均2.93±0.51)mm. 动脉瘤向前或向上生长的4例, 向后上、后、或后下生长的14例. 17例患者的大脑前动脉由颈内动脉发出后形成的弯曲明显大于大脑中动脉的弯曲度. 结论 ICBi动脉瘤规律性地从大脑前动脉起始段的弯曲顶点出生长. 与血管弯曲的方向一致, 动脉瘤通常突向后方. 血流剪切力在弯曲顶点的局部血管壁的作用是动脉瘤形成的关键因素.

4. 学位论文 [王伟华 基于CT的脑动脉瘤三维模型重建及有限元分析 2009](#)

脑动脉瘤是一种严重的脑血管疾病。临床观察发现，血流动力学是脑动脉瘤生长、破裂的重要因素。为了提高治疗的安全性和有效性，掌握颅内动脉瘤患者个性化的形态数据，并依据其血流动力学性能评估动脉瘤破裂风险、破裂部位，无疑是十分必要的。

本课题直接针对脑动脉瘤临床病例，对颅内动脉瘤造影，形成容积图像，并对瘤体冠状位断层分割，获取个体化CT数据。运用灰度阈值法、区域生长法和手动分割法进行图像分割，利用移动立方体的算法三维重建脑动脉瘤几何模型并运用三角网格的平滑简化技术进行模型优化，得到数字化、个体化的面网格三维实体模型。有限元分析软件对模型进行体网格划分，最终获得光顺的三维有限元模型。通过加载速度和压力边界条件，将血液视为不可压缩粘性流体，同时，忽略动脉瘤血管(壁)的粘弹性，简化处理为刚性固壁，并满足无滑移边界条件，以流体力学知识为基础，模拟在不同入口条件下的脑动脉瘤血流动力学参数。整个计算过程从流场静止开始，直到满足指定的稳定判据后终止，最后得到流场速度、壁面压力及剪应力分布。比较不同入口条件下的模拟结果得出，在瘤壁表面存在压力和剪应力的不均匀分布，且在血流直接冲击部位往往较大。而临床观测发现，壁面压力，特别是壁面剪应力是动脉瘤破裂的关键因素之一。因此，通过计算瘤壁压力和剪应力分布，有助于判断动脉瘤的破裂风险，为临床手术提供指导。

基于医学图像和三维重建技术建立复杂人体脑动脉瘤三维有限元模型不仅为脑动脉瘤血流动力学研究提供了新思路，也为生物力学领域的其他研究提供了新的理论基础。

5. 期刊论文 [季书彪, 刘保江 栓塞治疗颅内动脉瘤麻醉中不同升压方法对丙泊酚所致血压下降作用的比较 -山西医科大学学报2009, 40\(6\)](#)

目的 观察在电解可脱铂金丝弹簧圈栓塞治疗颅内动脉瘤麻醉中不同升压方法 对丙泊酚所致血压下降的作用进行比较, 为临床提供参考. 方法 选择69例ASA II~III的脑动脉瘤患者, 随机分两组. I组内泊酚麻醉, 血压降低时, 用多巴胺维持; II组用丙泊酚麻醉, 血压降低时补充血容量, 维持血压. 记录术中血流动力学的改变, 观察术后患者血压的水平. 结果 I组术后血压水平和术前相比没有统计学差异(P>0.05). II组术后血压明显高于术前(P<0.05), 术后血压II组较I组相比有统计学差异(P<0.05), 心率没有明显变化. 结论 在电解可脱铂金丝弹簧圈栓塞治疗颅内动脉瘤中, 丙泊酚麻醉引起的血压下降不宜输注胶体液, 晶体液亦不宜输注过多, 术中出现血压降低, 可用多巴胺等阳性肌力药维持, 可使患者苏醒后血流动力学平稳, 避免术后血压反弹, 减少不良反应的发生.

6. 会议论文 [王盛章, 陈家亮, 鲁刚, 张晓龙 带子瘤的脑动脉瘤的非牛顿流体血流动力学研究 2009](#)

血流动力学因素被认为在动脉瘤的生长和破裂过程中发挥着重要作用，而利用计算机数值模拟研究具有病人特异性的脑动脉瘤内的血液流动，可以为脑动脉瘤的破裂风险的评价和动脉瘤介入栓塞后复发风险的评价提供帮助。本研究对一例带有子瘤的颈内动脉瘤内血流动力学状态进行研究，首先利用3D-RA数据重建动脉瘤几何模型，然后利用商用CFD软件Fluent对动脉瘤内的血液流动在非牛顿流体假设下进行数值模拟。通过分析动脉瘤内的流线图、重要截面上的速度分布图，发现动脉瘤颈部靠近流入道和流出道附近有较为强烈的涡流存在，所以介入治疗时导管应该避开这一区域；而通过观察壁面上的切应力分布和总压力分布云图以及动脉瘤颈部和子瘤颈部某些点上的壁面切应力和总压力随时间的变化，发现子瘤顶部的壁面切应力最小，这与临床上发现的子瘤顶部容易破裂的经验相一致。

7. 期刊论文 [乔爱科, 顾兆勇, 贯建春, 孟宪龙, 张宏斌, QIAO Ai-ke, GU Zhao-yong, GUAN Jian-chun, MENG Xian-long, ZHANG Hong-bin 蜿蜒型脑动脉瘤的血流动力学仿真 -生物医学工程与临床2009, 13\(1\)](#)

目的 分析在一个心动周期中蜿蜒型脑动脉瘤的血液流动情形、压力和壁面切应力分布和变化情况. 方法 构建了二维理想化的蜿蜒型脑动脉瘤(有2个动脉瘤)几何模型. 利用计算流体力学方法对生理性脉动流进行了数值仿真. 选择6个相继的心动时刻来显示流腔内的流动. 结果 2个流腔内的流动情形和壁面切应力分布呈现相似的特征, 而第2个动脉瘤的末端瘤口则呈现非常高的壁面切应力和很高的压力梯度, 这将更易于导致动脉瘤的发展和破裂. 结论 血液流体力学可以帮助人们更好地理解在S形弯曲动脉上滋生的在体蜿蜒型动脉瘤的血流动力学特性.

8. 期刊论文 [李国威 脑动脉瘤的血管造影表现与病因分析 -现代保健·医学创新研究2006, 3\(10\)](#)

目的 探讨脑动脉瘤发生与脑动脉造影的表现及血管变异的关系, 从病因上找出颅内动脉瘤的发生机理, 从而有效地预防与治疗. 方法 21例脑血管造影病例, 其中20例均经右股动脉穿刺插管及全脑血管造影, 1例经左侧颈内动脉穿刺造影, 采用日本岛津MH-200S大型C臂DSA经多体位造影, 发现脑动脉瘤11例. 观察与分析脑动脉瘤的发生、表现及血流动力学改变的关系. 结果 21例脑血管造影病例, 其中13例CT检查诊断为蛛网膜下腔出血, 经造影证实大脑前动脉、前交通动脉、后交通动脉瘤各11例. 其他病例: 动静脉畸形2例, 脑梗塞1例, 烟雾病1例, 未发现病变者4例, 且11例脑动脉瘤患者中有9例为右侧大脑前动脉由左侧大脑前动脉供血, 且与CT表现部位相符合, 2例未找到动脉瘤. 结论 利用大型C臂DSA进行全脑血管造影, 不但能有有效的发现脑动脉瘤, 而且对血管变异造成的后果及其他与动脉瘤发生密切相关的因素得到了进一步的证实, 从而用血流动力学的改变解释了脑动脉瘤的发病机理, 对临床诊断与治疗具有重要的指导意义.

9. 学位论文 [杨楚 SHR-SP与SHR脑血管形态与脑组织蛋白表达的比较研究 2008](#)

脑卒中(Stroke), 又称中风或脑血管意外(Cerebrovascular accident), 其发病突然, 是心血管系统的常见多发病之一, 已经成为严重影响公众健康的世界性问题上, 在我国的发生率更高, 并且呈现逐年上升趋势. 2003年世界卫生组织公布了莫尼卡方案研究结果, 中国脑卒中发病率为250/10万, 居世界第二位. 目前, 我国每年新发脑卒中患者150万, 现有幸存者600万, 其中75%丧失劳动力, 40%重度致残, 每年直接或间接经济损失高达数百亿元. 因此, 其防治已成为卫生工作中的一项重要课题, 越来越引起国内外医学界的重视, 深入探讨脑卒中的发生机制, 在此基础上找出防治的新策略也变得非常必要.

脑卒中最重要危险因素是高血压. 在发生脑卒中的患者中, 有78%的人患有高血压. 长期血压增高可导致动脉粥样硬化, 或者一些诱因导致血压一时性急剧上升, 引起脑血管破裂而出血造成出血性脑卒中, 如果治疗不及时, 死亡率高达40%. 而在中国人群中, 血压升高对脑卒中发病的作用强度约为西方人群的1.5倍. 研究者在研究高血压和脑卒中的发现, 自发性高血压大鼠(spontaneous hypertensive rats, SHR)和卒中易发型自发性高血压大鼠(Stroke-Prone Spontaneously hypertensive Rat, SHR-SP)两种高血压模型动物, 脑卒中的发生率及发生时间有很大不同. SHR, 高血压发生率高, 在16周龄时高血压已形成, 收缩压高于21.28kPa, 但脑卒中发病率少于10%. SHR-SP是自发性脑卒中(cerebral apoplexy)高血压模型动物, 是从SHR中分离培育而成的, 最后几乎全部死于脑卒中, 在12周龄时就可发生. 两种动物在发生高血压的同时并发脑卒中的差别非常巨大, 提示我们在高血压因素以外, 更多的因素如脑血管形态和功能状态参与脑卒中的发生. 大量资料表明, 出血性脑卒中发生部位和微动脉瘤关系密切, 持续性高血压引起脑血管的形态和功能改变, 一旦血压急骤上升, 微动脉瘤可破裂出血. 动脉压力感受性反射(arterial baroreflex, ABR)功能是心血管系统活动最重要的自身调节机制, 其主要功能是调节维持机体血压的稳定. 近年来研究发现, ABR功能异常参与多种心血管系统疾病的发生和发展过程. 本室以往的研究表明, ABR功能也参与脑卒中的发生.

本课题将在SHR-SP和SHR两种高血压动物模型上探讨脑动脉瘤的发生及差异, 并从动脉血压、动脉压力感受性反射功能两方面探讨影响脑动脉瘤发生因素.

蛋白质组学是后基因组时代的一个热点领域,以双向电泳作为分离技术和质谱作为鉴定技术的蛋白质组学方法是目前用于研究蛋白水平变化的最有效手段。本课题在研究了SHR-SP与SHR在脑血管形态学及血流动力学差异的基础上,进一步应用蛋白质组学的方法在蛋白水平对二者的差异进行了研究,并分离出差异蛋白,利用质谱技术进行鉴定。通过对差异蛋白的功能分析,试图找到脑卒中的分子标记物。

- 方法:
- 1、分组: 28周龄SHR雄性14只, 雌性11只; 28周龄SHR-SP雄性13只, 雌性13只。
 - 2、观察上述大鼠体征, 进行Zea Longa神经行为学评分。
 - 3、血流动力学指标的测定: 上述大鼠在清醒自由活动状态下记录血压, 记录时间为4小时, 测定新福林法动脉压力感受性反射敏感性(baroreflex sensitivity, BRS)。
 - 4、测定完毕后进行脑组织灌流, 取出脑组织中性甲醛固定, 做病理切片, 观察脑动脉瘤发生情况(发生个数、部位)。
 - 5、荧光差异凝胶双向电泳分离, 选取差异表达的蛋白进行串联质谱鉴定。
- 结果:
- 1、脑卒中发生情况: 28周龄SHR无脑卒中发生, 神经行为学评分为0; 26只28周龄SHR-SP中有9只出现上述症状, 脑卒中发生率为34.62%, 神经行为学评分为0.5±0.81, 与SHR相比差异十分显著(P<0.01)。
 - 2、脑动脉瘤的发生情况: 在SHR的脑组织切片中未见动脉瘤及瘤样改变, SHR-SP的动脉瘤个数为2.962±1.509, 与SHR相比差异显著(P<0.01)。
 - 3、大鼠血压与脑动脉瘤发生的关系: SHR-SP血压与脑动脉瘤发生之间呈显著正相关(r=0.6006, P<0.01)。
 - 4、大鼠动脉压力感受性反射与脑动脉瘤发生的关系: 28周龄SHR-SP BRS为0.3266±0.122ms/mmHg, SHR BRS为0.5060±0.148ms/mmHg, 两者差异显著(P<0.001)。SHR-SP BRS与脑动脉瘤发生关系密切, 二者呈显著负相关(r=0.5441, P<0.01)。
 - 5、在蛋白水平的研究中, 在2000个蛋白点中, 找到44个差异表达的蛋白, 其中19个在SHR-SP高表达, 25个低表达。21个差异表达的蛋白得到初步鉴定, 10个在SHR-SP中高表达, 11个在SHR-SP中低表达。研究发现两种模型脑组织蛋白在代谢酶、氧化应激蛋白、信号转导分子等的表达上存在差异。
- 结论:
- 1、SHR-SP脑动脉瘤较SHR显著增加;
 - 2、脑动脉瘤个数与大鼠动脉血压呈显著正相关, 与动脉压力感受性反射功能呈负相关。
 - 3、SHR-SP与SHR在蛋白水平存在差异, 主要在于代谢酶以及信号转导分子等方面。

10. 期刊论文 张秀山. 张彦. 梁禹 七氟烷用于脑动脉瘤钳闭术麻醉的临床观察 - 陕西医学杂志 2009, 38 (6)

目的: 观察七氟烷用于脑动脉瘤钳闭手术麻醉的效果及术中对患者血流动力学指标的影响. 方法: 53例行脑动脉瘤钳闭术患者, 随机分为A、B两组, 采用相同方法进行麻醉诱导, 麻醉维持, A组丙泊酚3~6 μg/ml、瑞芬太尼3~8ng/ml靶控静脉输注、阿屈库铵0.5~1.0mg/kg·h恒速静脉输注. B组丙泊酚1.5~4.0 μg/ml、瑞芬太尼1.5~4.0ng/ml靶控静脉输注、阿屈库铵0.3~0.8mg/kg·h恒速静脉输注, 七氟烷0.5%~1.0%吸入. 结果: 两组患者在动脉瘤钳闭前均能控制性降压达到目标值(P>0.05), 但B组患者SP、DP、HR值更平稳. 动脉瘤钳闭后B组血压提升明显早于A组(P<0.05), 且较A组平稳. 结论: 七氟烷用于脑动脉瘤钳闭术的麻醉, 可以使患者血流动力学状态更平稳, 调控血压更灵活. 且有一定的心脑血管保护作用.

引证文献(1条)

1. 章翔. 费舟. 屈延. 程岗 神经外科新进展[期刊论文]-解放军医学杂志 2010 (5)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jrfsxzz200903015.aspx
授权使用: qknfy(qknfy), 授权号: 29c29a5d-676a-45af-ab28-9df701825d47

下载时间: 2010年9月20日