

• 生物力学研究 •

小儿先天性髋关节脱位的生物力学研究

师宜健¹ 韩慧¹ 邢晖¹ 李秀兰¹ 叶金铎² 王志彬¹

(1. 天津市中西医结合骨科研究所, 天津 300211; 2. 天津理工学院, 天津)

【摘要】 目的 通过先天性髋关节脱位患儿在术中的活体测试, 对先天性髋关节脱位的生物力学改变进行研究。方法 本研究采用生物力学电测法, 并利用特种压力传感器, 对先天性髋关节脱位患儿在术中进行髋关节多点多体位测定, 同时进行术后等同测定进行比较性研究。测试结果使用 ANSYS 5.4 有限元软件进行处理。结果 先天性髋关节脱位股骨头顶部及冠状面内 30° 为高应力分布区。有限元分析股骨头冠状面 30° 及内侧股骨颈载荷变形较大。结论 小儿先天性髋关节脱位发展过程与股骨头颈载荷改变具有明显改变, 早期的连衣挽具及蛙式支架治疗, 可部分消除股骨头顶部及冠状面的内 30° 病理性高应力区, 使股骨头及臼部得到相对正常的载荷。晚期的 Salter 及 Chiari 截骨术可增加股骨头冠状面的外 30° 载荷, 减少股骨颈内侧载荷。

【关键词】 生物力学 脱位 先天性

Biomechanical Study on Pediatric Congenital Dislocation of Hip Joint SHI Yǐjian, HAN Hui, XING Hui, et al. Orthopaedic Institute of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine (Tianjin, 300211)

【Abstract】 Objective To study the biomechanical change of congenital dislocation of hip (CDH) intraoperative in vivo tests. **Methods** Pediatric patients with CDH were tested in multi-point in multi-body of position. Biomechanical electronic methods with special pressure sensors were used in operation and the data were compared with the same test at the ipsilateral side after the operation and then the data were statistically analyzed using ANSYS 5.4. **Results** There is a high stress area in the top and 30° around the corona of head of femur. Limited analysis revealed that within 30° around corona and inside of neck of femur had the largest load and deformity. **Conclusion** The pediatric CDH is interrelated to load in neck of femur. The treatment with cloth harness in frog fixation in early stage is able to reduce condyloid load normally and relevantly. Salter and Chiari osteotomy in later stage may increase load in 30° around corona of head of femur, reduce load at the medial side of the neck of femur.

【Key Words】 Biomechanics Dislocations Congenital

小儿先天性髋关节脱位是一种较常见的畸形, 近年来对股骨头进行了大量的生物力学研究, 但是关于小儿先天性髋关节脱位的生物力学研究因多种因素的影响尚未研究出一个比较明确的模式。本研究采用生物力学电测法, 利用特种压力传感器对先天性髋关节脱位患儿术中在髋关节多点多体位测定, 同时进行术后等同测定进行比较性研究。测试结果使用 ANSYS 5.4 有限元软件进行处理, 采用两种相互修正的优化方法得到一个更加符合实际的力学模式。

1 材料与方 法

测试仪器采用国产 YJ-16 型静态电阻应变仪、YD-15 型动态电阻应变仪及 SC-15 型光线示波器。传感器采用航天工业部设计的全桥电路鸭嘴式压力传感器。

测试前将传感器用福尔马林熏蒸 12 小时, 手术中暴露髋关节, 切除部分关节囊, 测试时将传感器置于患儿股骨头与髋臼之间, 测试的各种角度均由量角器确定, 测试体位由测试者帮助患者被动完成。

本实验分别对 5 例先天性髋关节脱位患儿 6~9 岁男性, 术中测试体位包括髋关节伸展 0° 位、髋关节外旋 30° 位及髋关节内旋 30° 位。在三种体位基础上行髋关节伸展 0° 位、屈曲 90° 位、外展 30° 位、内收 15° 位及部分内、外旋活动。测试过程将股骨头分为 12 个受力区进行动、静态测定。完成 Salter 或 Chiari 截骨术后进行术后等同测定, 以便将测试结果进行比较性研究。

2 测试结果

将 5 例患儿测试结果取均值进行分析列表(见表 1、表 2)。

3 有限元分析

3.1 人体股骨的力学模型简化 建立符合实际的力学模型是对人体股骨进行力学分析的基础。由于股骨结构复杂, 且股骨头并不位于冠状面(XOY 平面), 而是和冠状面呈 12° 前倾角, 当下肢屈曲时关节力作用于矢状面(YOZ 平面), 所以股骨问题理论上属于三维问题。如对股骨整体进行分析, 需

表 1 髌关节静态位的关节力值

单位: N

静态位	伸展 0°		屈曲 90°		外展 30°		内收 15°	
	术前	术后	术前	术后	术前	术后	术前	术后
伸展 0°	46.90±1.16	44.85±4.45	72.25±3.08	104.25±5.12	140.62±7.34	100.86±5.68	126.71±5.85	107.29±3.79
外旋 30°	120.28±6.68	121.27±4.34	113.79±3.96	120.78±5.58	137.65±7.72	116.76±5.36	154.00±7.92	97.54±6.04
内旋 30°	61.80±4.25	47.82±3.78	128.41±5.07	109.83±5.61	144.58±7.96	107.07±4.42	147.40±8.85	97.61±6.72

表 2 髌关节动态位的关节力值

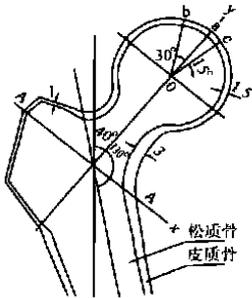
单位: N

静态位	伸展 0°		屈曲 90°		外展 30°		内收 15°	
	术前	术后	术前	术后	术前	术后	术前	术后
伸展 0°	24.88±1.06	34.59±1.98	52.94±2.27	42.49±1.79	43.68±2.88	34.23±2.04	44.18±3.34	43.62±2.96
外旋 30°	43.94±2.59	36.52±1.76	49.64±2.84	42.37±1.77	43.36±2.09	38.02±1.57	36.38±1.18	38.95±2.16
内旋 30°	22.39±0.99	28.62±1.13	57.16±2.47	46.28±1.96	53.38±3.70	38.47±2.09	45.00±2.47	41.87±2.24

要考虑髌关节力 P、肌力 M、肌力 R、及膝关节力 Q。由于肌力 M 和 R 值较难获得,所以目前有限元分析多局限于单腿站立的工况。然而由于单腿站立时关节力与股骨轴线(Y轴)夹角较小,关节力在股骨颈与粗隆处引起的应力较小,不足以代表股骨在其它工况下的受力状况,也较难解释股骨损伤的原因。所以取粗隆处以上部分进行分析,可以不考虑肌力作用,同时忽略前倾角的影响,将股骨受力问题简化为在冠

状面的平面问题(图 1),即为二维有限元分析法^[1]。

3.2 股骨的有限元网格划分 股骨材料分为皮质骨和松质骨,对股骨上端皮质骨和松质骨进行有限元网格划分,其中皮质骨划分了 59 个单元,松质骨划分了 69 个单元,单元总数为 128 个。主要单元采用了四边形线性单元,部分过渡单元采用了三角形单元。在单元网格划分中,使用了有限元网格自动生成技术^[2]。(图 2)



注:
1. 计算时仅算 A-A 线以上部分。
2. a-伸展 0°位 b-外展 30°位 c-内收 15°位,关节力沿股骨头半径指向 O。
3. 在有限元分析中,将此图向逆时针方向旋转 40°。

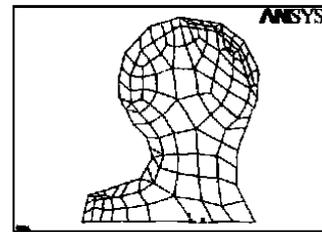


图 1 股骨上端平面简图

图 2 股骨上端有限元网格划分图

3.3 结果 人体骨骼材料的力学性质复杂,影响骨材料力学性质的因素也很多。国内外许多学者对皮质骨、松质骨的弹性系数进行了测定。根据王以进对国人股骨的测定结果^[3],本文在计算中,取皮质骨弹性模量 $E = 1.605 \times 10^4 \text{ MPa}$,泊松比 $\mu = 0.29$,松质骨 $E = 0.305 \times 10^3 \text{ MPa}$, $\mu = 0.29$ 。

根据已知条件及有限元的网格图,对股骨上端进行了有

限元分析,得到了该部分股骨在伸展 0°位时的伸展、外展、内收不同工况下的位移图,应力云纹图(包括 σ_x, σ_y),主应力迹线图。从有限元分析图中可以得出,在冠状面内不同角度显示了先天性髌关节脱位的生物力学模式,同时分析了股骨颈的应力分布。股骨颈术前静、动态正应力 σ_y 的分布,见图 3、图 4。

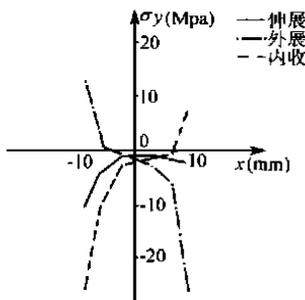


图 3 术前静态股骨颈正应力 σ_y 分布

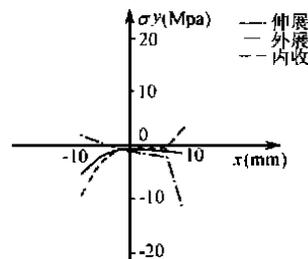


图 4 术前动态股骨颈正应力 σ_y 分布

4 讨论

髌关节的生物力学研究, Rydell 曾在一个患者的人工股

骨头中放置压力传感器,术后 6 个月单腿站立时测量股骨头所受作用力是体重的 2.5 倍。该结果与理论计算结果十分接

近^[4]。从解剖上可以看到, 股骨头和股骨颈的骨结构内层是海绵状并由骨小梁形成的网状排列。进一步观察还可看出, 骨小梁的排列是沿股骨头作用力线性排布, 骨端线随着骨的生长旋转, 使骨端线总是垂直于骨小梁, 从而使骨端软骨底部不受切向的剪力作用。这一事实明显表明骨的生长部分地受作用在其上的力的支配。小儿髋关节与成人髋关节具有明显不同, 小儿髋臼发育不良直接影响股骨头的应力分布, 因儿童骨骼发育较快, 短时间的应力分布异常可很快影响股骨头的发育, 导致股骨头变形, 颈干角减小。

通过临床测定发现, 先天性髋关节脱位股骨头应力分布集中在股骨头的顶部及冠状面的内 30°, 当内收时该区的应力明显加大, 外展时出现高应力分布区的外移, 内收区应力有减弱的趋势。内旋体位测定股骨头的顶部及冠状面的内 30° 力值明显大于其它体位。外旋体位测定股骨头应力分布比较其它体位合理, 应力分布均匀未发现明显的高应力分布区。该测定结果证明, 早期的连衣挽具治疗及蛙式支架治疗通过体位的调整使患肢处于外展、外旋体位, 可部分消除股骨头的顶部及冠状面的内 30° 病理性高应力区, 使股骨头及臼部得到相对正常的载荷, 为小儿髋关节自体修复创造条件。通过手术前、后(采用 Salter 或 Chiari 截骨术) 股骨头应力分布趋向均衡, 高应力区明显减弱, 股骨头冠状面外 30° 载荷增加。因此晚期的 Salter 及 Chiari 截骨术可通过增加髋臼的包容, 改善股骨头的应力, 为股骨头再修复创造条件。术后测定结果显示, 术后将患肢固定于外旋 30° 应力分布更为合理。

从股骨颈术前正应力 σ_y 静、动态图可以看出, 股骨颈处 σ_y 静态值大于动态值, 而且无论在静态或动态时, 不同工况

位应力分布差异较大, 主要原因在于股骨结构形状, 皮质骨分布不均匀, 以及皮质骨和松质骨材料常数不同。 σ_y 在各种工况下已不满足线性分布规律, 在靠近皮质骨处应力值较松质骨部分的应力值大, 原因在于皮质骨 E 值较大, 而松质骨 E 值较小, 而且在于松质骨部分的 σ_y 不满足线性分布规律, 主要是多骨结构的影响。由图可见, 在各种工况下压应力最大值大于拉应力最大值, 说明股骨颈在上述工况下大部分区域处于受压状态。

通过用有限元法成功的对股骨上端, 在冠状面内关节力作用多工况下, 进行了力学分析。从位移图可观察到先天性髋关节脱位股骨头变形的发展趋势, 为小儿先天性髋关节脱位更细致的分型创造条件, 云纹图及主应力分布迹线图可观察到, 小儿先天性髋关节脱位股骨颈局部的高压应力分布区。因此, 在治疗小儿先天性髋关节脱位时除了考虑改善股骨头的包容及股骨头应力分布的同时, 还应充分考虑如何消除股骨颈局部的高压应力分布区。

参考文献

[1] 凌玲, 王成焘. 股骨两维有限元的 X 光片校正处理. 机械设计与研究, 1996, 6(2): 34-37.
 [2] 王以进. 人体股骨的生物力学实验和分析. 力学与实践杂志, 1980, 2(4): 82.
 [3] 王以进. 人体股骨的有限元计算. 上海科技大学学报, 1980, 2(34): 16.
 [4] 赵炬才, 张铁良. 髋关节外科. 北京: 中国医药科技出版社, 1997. 113.

(收稿: 2000 08 09 修回: 2000 01 12 编辑: 李为农)

• 短篇报道 •

闭式复位加克氏针固定治疗小儿孟氏骨折

谭晚明
 (崇明县堡镇人民医院, 上海 崇明 202157)

我科采用闭式手法复位加克氏针固定相结合治疗小儿孟氏骨折 32 例, 结果满意。

1 临床资料

本组 32 例中男 21 例, 女 11 例; 年龄 3~12 岁。均为新鲜骨折。就诊时间 2 小时~9 天。损伤类型^[1]: I 型 11 例, II 型 2 例, III 型 19 例。合并骨间背侧神经损伤 5 例。

2 治疗方法

氯胺酮或臂丛麻醉, X 线透视下, 患儿平卧, 肩外展, 肘屈曲, 前臂中上位。助手分握上臂及腕部, 对抗牵引, 纠正前臂侧弯及或角畸形, 术者反移位方向先整复桡骨头脱位, 后整复尺骨骨折。18 例复位成功。余 14 例复位后, 桡骨小头

有不同程度向前脱出或有脱出倾向时, 用坎贝尔骨科手术大全法^[2], 消毒铺巾, 助手屈曲患者肘部, 按压固定已复位的桡骨小头, 术者在 X 线引导下将一克氏针自肘后经皮贯穿肱骨小头至桡骨小头固定于桡骨上端髓腔内, 试旋转前臂, 观察桡骨小头是否稳定, 尺骨骨折是否稳定。另 4 例尺骨上 1/3 斜行骨折, 为避免骨折重迭, 亦闭合横贯穿入克氏针 2 枚。针尾均剪短折弯埋皮下, 减少针道感染机会。屈肘 90°, 中立位石膏固定 4 周, 拔除钢针, 功能锻炼。

3 治疗效果

所有病例均得到随访, 时间 3 个月至 5 年, 平均 19 个月。神经损伤恢复 3~7 周, 伤肢功能和外形均恢复正常, 无

桡骨小头脱位和前臂旋转影响, 无再手术病例。无并发症。

4 讨论

采用闭式克氏针固定使孟氏骨折成为稳定骨折, 诸如肿胀消退、石膏松动所致的骨折移动, 桡骨头脱出则可避免。可使患者屈肘中立位, 保持骨间膜最大张力状态, 预防其骨间膜挛缩, 进行早期无痛锻炼, 手指伸屈运动, 利于患肢循环。运动及感觉情况的恢复。

参考文献

[1] 柳用墨译. 儿童骨骺损伤. 北京: 人民卫生出版社, 1987. 230.
 [2] 过邦辅译. 坎贝尔骨科手术大全. 上海: 上海翻译出版公司, 1991. 921.

(编辑: 李为农)