

## 陀螺仪在全髋置换髋臼杯定位中的应用

葛兴涛<sup>1</sup>, 葛兴华<sup>2</sup>, 尚春暖<sup>2</sup>, 王增涛<sup>3</sup>(<sup>1</sup>南方医科大学, 广东省广州市 510515; <sup>2</sup>日照市人民医院, 山东省日照市 276800; <sup>3</sup>山东省立医院, 山东省济南市 250021)

### 文章亮点:

文章的亮点在于将陀螺仪安置于全髋置换的定位杆上对模型髋臼进行了多次定位测试, 发现陀螺仪有定位精确、操作简单、无需学习的优点。

### 关键词:

植入物; 人工假体; 全髋置换; 假体; 前倾; 外展; 陀螺仪; 定位器; 髋臼杯; 定位

### 主题词:

关节成形术, 置换, 髋; 髋臼; 髋假体; 假体安装

### 摘要

**背景:** 全髋置换中良好的髋臼假体方位对于手术的成功起到了至关重要的作用。传统定位工具或精确度欠佳, 或太过繁琐, 限制了其应用。

**目的:** 对比陀螺仪定位仪与传统定位技术在全髋置换髋臼杯定位中的优劣。

**方法:** 应用外侧入路, 在同一个塑料髋部模型上由不同经验年限的医生利用传统方法进行了 100 次髋臼杯定位(每人 20 次 40°外展和 15°前倾); 再利用陀螺仪定位仪分别进行了 60 次相同角度的定位, 记录实测角度与事先设定角度的误差。

**结果与结论:** 与传统技术相比, 使用陀螺仪定位仪测量的外展角和前倾角误差明显下降。提示陀螺仪定位仪能使全髋置换中髋臼杯的定位更加精确。

葛兴涛, 葛兴华, 尚春暖, 王增涛. 陀螺仪在全髋置换髋臼杯定位中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(22):3445-3450.

葛兴涛, 博士, 主治医师, 主要从事骨科方面的研究。

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.22.001  
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2014)22-03445-06

稿件接受: 2014-04-28

## Application of gyroscope to acetabular cup positioning in total hip arthroplasty

Ge Xing-tao<sup>1</sup>, Ge Xing-hua<sup>2</sup>, Shang Chun-nuan<sup>2</sup>, Wang Zeng-tao<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China; <sup>2</sup>Rizhao Municipal People's Hospital, Rizhao 276800, Shandong Province, China; <sup>3</sup>Shandong Provincial Hospital, Jinan 250021, Shandong Province, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** Good position of acetabular prosthesis during total hip replacement plays a key role in success of the operation. Traditional location tool has poor accuracy, is too complicated, and limits its application.

**OBJECTIVE:** To compare the advantages and disadvantages of gyroscope with the traditional technique in acetabular component orientation in total hip arthroplasty.

**METHODS:** Using lateral approach, physicians with different experiences used traditional technique to locate acetabular cup 100 times (20 times in each person; 40° abduction and 15° anteversion), and then used gyroscope to locate 60 times at the same angle in the same plastic hip model. The error between the planned and measured values was recorded.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Compared to the traditional technique, the error of the abduction and anteversion decreased obviously. These indicated that the gyroscope can make the orientation of acetabular component more precise in total hip arthroplasty.

**Subject headings:** arthroplasty, replacement, hip; acetabulum; hip prosthesis; prosthesis fitting

Ge XT, Ge XH, Shang CN, Wang ZT. Application of gyroscope to acetabular cup positioning in total hip arthroplasty. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2014;18(22):3445-3450.

Ge Xing-tao, M.D., Attending physician, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

Accepted: 2014-04-28

## 0 引言 Introduction

髌臼假体方位已经被证实是全髌关节置换成功的关键因素。全髌置换患者假体安放位置不良与脱位、撞击、骨盆骨溶解、髌臼移位、下肢短缩以及聚乙烯磨损密切相关<sup>[1-5]</sup>。安置臼杯时手术入路、体质量指数以及髌臼杯安置的参考系统等的限制, 均可能导致髌臼杯放置欠佳<sup>[6-8]</sup>。

传统方法(单纯目测或应用机械定位器)和计算机导航是将髌臼安置于Lewinnek's安全区的两大最主要方法[前倾角( $15\pm 10^\circ$ )、外展角( $40\pm 10^\circ$ )]<sup>[9]</sup>。虽然近年发展起来的计算机导航技术达到了更精确的方位, 但其昂贵价格和繁琐的操作限制了其应用。

因此, 在安置髌臼杯时很多医生仍应用传统方法。但这是否可靠, 与预想的角度有多大的误差? 于是设计了这一实验来进行验证, 同时应用陀螺仪原理发明了一个

髌臼杯定位仪来进行定位研究。陀螺仪是航海、航空中的定位工具, 它可以很好的测量一个物体的三维空间角度。陀螺定位仪利用患者体位做参考, 不受术中视野的影响, 能轻松的打造完美髌臼, 外展误差在 $0.3^\circ$ , 前倾误差在 $0.5^\circ$ 以内。

## 1 材料和方法 Materials and methods

**设计:** 临床对比观察。

**时间及地点:** 实验于2013年4月10日在山东省立医院实验室完成。

**材料:** 自制塑料半身模型。

**方法:**

**人髌部模型的制作:** 将塑料半身模型由中线沿矢状面剖开, 选取右侧髌部, 在大转子区域做长轴20 cm, 短轴10 cm的椭圆切口, 长轴与模特纵轴平行。在中空的髌内

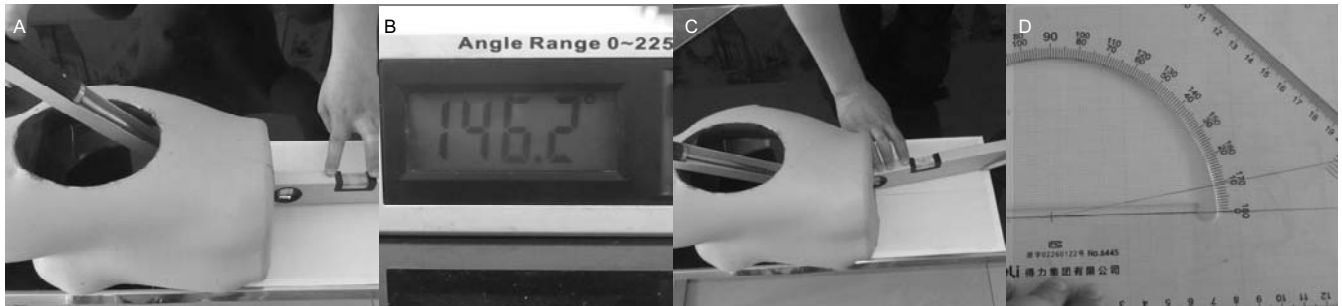


图1 陀螺定位仪的制作

Figure 1 Establishment of gyroscope

图注: 图中A为利用半体塑料模特和发泡塑料来模拟骨盆和周围软组织, 将角度仪的转折处作为旋转中心并固定在髌臼部, 在水平面上事先画好一个直线作为肢体的长轴, 操作者完成外展的模拟; B为通过电子角度仪的显示屏直接读出外展的真实角度( $180^\circ - 146.2^\circ = 33.8^\circ$ ); C为操作者前倾定位杆, 达到自己认可的角度后, 可见角度仪的水平臂与事先划定的线形成一个角度, 用笔平行水平臂并绘出角度, 操作者完成前倾的模拟; D为用量角器测量这一角度, 即为前倾角。

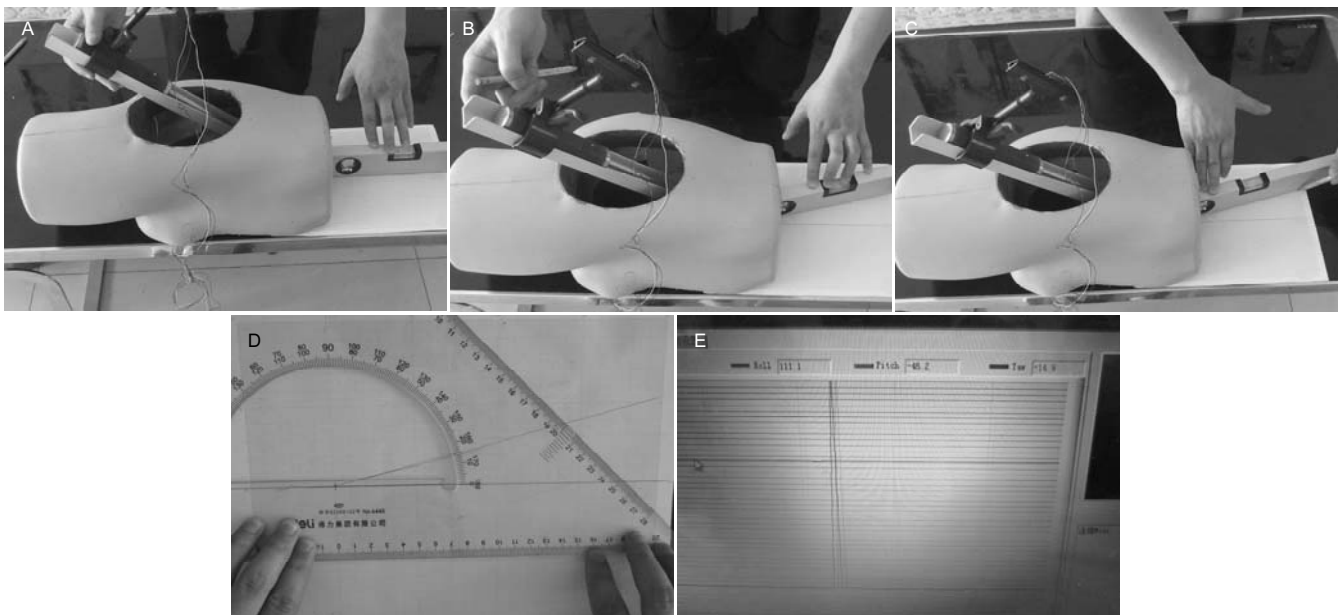


图2 陀螺定位仪的使用方法

Figure 2 Use of gyroscope

图注: 图A分别为用陀螺仪测量外展角和前倾角; 图B-D为用陀螺仪测量外展角和前倾角; 图E中pitch为外展, Yaw为前倾。由于目前软件不能进行归零设定, 结果为初始位置的角度与最终位置角度的差值。

黏合发泡塑料, 并将发泡塑料涂成红色, 模拟切口内软组织。

**陀螺仪的设计制作:** 将9轴陀螺仪模块与电脑相连, 在电脑中安装相应的角度测量程序。当陀螺仪发生角度变化时即可在电脑显示屏上读出其三维角度, 只选取其pitch作为外展, Yaw作为前倾。

半髋模型通过一个装置牢固的固定于手术台, 模拟左侧卧位, 旋转中心设定于数字量角器的转折点并固定于髋臼处。应用外侧入路, 在同一个塑料髋部模型上由5名医生(2名从事关节置换10年以上的医师和3名5年以内的医师)利用传统方法进行了100次髋臼杯定位。每个参与者分别进行了20次40°外展和15°前倾操作(图1)。这样, 数字量角器的固定臂平置于水平面, 髋臼定位杆(威海威高公司)固定于旋转臂(已经通过几何公式验证, 旋转臂与定位杆是否完全平行对角度的精确性没有影响)。

**传统方法操作步骤:** 完全依靠大体估计, 抬高定位杆得到外展角, 然后向前旋转得到前倾角。

**陀螺仪操作步骤:** 在电脑显示屏上可以动态显示前倾外展角度, 抬高再旋前定位杆, 电脑显示屏上的角度满意后, 操作结束。

通过抬高定位杆得到外展角(其真实角度可以通过数字显示屏直接读出), 通过固定臂的反向运动得到前倾角, 真实角度通过格子纸上画出的角度直接测量得出。

陀螺仪定位器分别进行了60次前倾40°和外展15°的测试(图2A-D)。陀螺仪通过塑料夹于定位杆相连(为消除定位杆磁性对九轴陀螺仪精度的影响)。陀螺仪连接笔记本, 显示屏上看到陀螺仪随定位杆移动时的实时角度变化(图2E)。记录笔记本上的角度数值。这样, 就模拟了全髋置换中的前倾角和外展角。另外, 所有的过程均由一位调查者进行监督。

实验共分3组, 10年经验组2人各行20次定位; 5年经验组3人各行20次定位; 陀螺仪行60次定位。均与事先设定角度的差值作为检测标准。

**评价标准:** 所有结果均由角尺或数字量角器进行最终确定, 与事先设定的角度之间的误差作为评价指标, 误差越大准确度越差。

**主要观察指标:** 定位柄所成的前倾角和外展角。

**统计学分析:** 由微软Excel 2003进行所有的计算。 $t$  检验用来分析测量组间的差异,  $P$ 值小于0.05为差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

2.1 不同测量方法得出的外展角和前倾角的精度 结果见表1-3。

2.2 不同测量方法得出的外展角和前倾角的差异 与传统技术相比, 陀螺仪外展角和前倾角的误差下降( $P < 0.05$ ; 表4)。

表1 具有10年临床经验的医师测量的外展角和前倾角

Table 1 Abduction and anteversion measured by physicians who had worked in the clinic for 10 years (°)

测量序数	外展角		前倾角	
	实际角度	误差	实际角度	误差
1	35.8	4.2	18.9	3.9
2	34.8	5.2	12.4	2.6
3	48.6	8.6	19.4	4.4
4	39.6	0.4	13.1	1.9
5	34.4	5.6	10.2	3.8
6	35.2	4.8	12.3	1.9
7	31.2	8.8	11.2	4.8
8	34.3	5.7	21.1	2.7
9	35.2	4.8	11.2	6.1
10	30.4	9.6	11.2	6.7
11	35.4	4.6	12.3	2.9
12	36.3	3.7	14.4	3.8
13	32.1	7.9	23.6	3.8
14	33.7	7.6	20.9	2.7
15	48.3	6.3	19.9	0.6
16	38.3	8.3	7.8	8.6
17	37.3	1.7	18.5	5.9
18	35.4	2.7	8.3	4.9
19	36.9	4.6	12.1	7.2
20	32.4	3.1	13.1	3.5
21	37.3	2.7	18.9	3.5
22	45.7	5.7	17.5	3.3
23	43.6	5.6	14.5	1.7
24	45.6	3.6	13.7	2.6
25	42.8	2.8	19.8	2.9
26	45.6	5.6	12.3	3.9
27	31.5	8.5	11.2	2.5
28	39.6	0.4	21.1	0.5
29	35.7	4.3	11.2	1.3
30	39.8	0.2	11.2	4.8
31	42.5	2.5	18.9	3.9
32	40.4	0.4	17.9	2.9
33	43.2	3.2	18.7	3.7
34	41.4	1.4	19.8	4.8
35	47.7	7.7	13.5	1.5
36	46.5	6.5	19.8	4.8
37	47.6	7.6	19.8	3.9
38	39.8	0.2	15.9	0.9
39	37.7	2.3	13.5	1.5
40	36.8	3.2	17.6	2.6
$\bar{x} \pm s$		3.51±1.78		4.57±2.67

表注: 数据1-20为医生甲所测量的, 21-40为医生乙所测量的。2位医生均有10年传统方法进行全髋置换髋臼杯定位的临床经验。外展角和前倾角的理论值分别为40°和15°。

表4 不同经验和仪器测量髋臼杯角度精度的差异

Table 4 Difference in accuracy of acetabular cup angle measured by different persons using different methods ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )

组别	前倾角	外展角
5年组	6.61±2.72	3.83±1.81
10年组	4.57±2.67	3.51±1.78
陀螺仪组	0.30±0.19	0.14±0.09
$P$	0.00	0.00

表 2 具有 5 年临床经验的医师测量的外展角和前倾角

Table 2 Abduction and anteversion measured by physicians who had worked in the clinic for 5 years using gyroscope (°)

测量序号	外展角		前倾角		测量序号	外展角		前倾角	
	实际角度	误差	实际角度	误差		实际角度	误差	实际角度	误差
1	32.4	7.6	10.4	4.6	31	48.2	8.2	21.9	6.9
2	32.5	7.5	13.4	1.6	32	48.5	8.5	23.4	8.4
3	34.9	5.1	5.8	9.2	33	49.5	9.3	24.1	9.1
4	31.6	8.4	13.1	1.9	34	48.8	8.8	19.9	4.9
5	32.3	7.7	10.3	4.7	35	47.9	7.9	19.3	4.3
6	35.5	4.5	17.4	2.4	36	47.8	10.1	19.3	4.3
7	40.4	0.4	10.7	4.3	37	50.1	8.9	19.4	4.4
8	36.8	3.2	9.7	5.3	38	48.9	7.8	19.7	4.7
9	32.6	7.4	12.7	2.3	39	47.8	9.2	19.2	4.2
10	39.4	0.6	14.1	0.9	40	49.2	7.8	21.3	6.3
11	32.7	7.3	9.9	5.1	41	45.6	5.6	18.9	3.9
12	34.6	5.4	12.1	2.9	42	47.4	7.4	19.7	4.7
13	35.3	4.7	16.4	1.4	43	50.1	10.1	18.9	3.9
14	31.2	8.8	11.9	3.1	44	36.7	3.3	17.8	2.8
15	34.1	5.9	13.2	1.8	45	35.6	4.4	19.7	4.7
16	37.9	2.1	13.8	1.2	46	47.9	7.9	11.7	3.3
17	39.6	0.4	12.9	2.1	47	43.5	3.5	12.6	2.4
18	31.8	8.2	12.7	2.3	48	46.5	6.5	12.1	2.9
19	32.4	7.6	11.2	3.8	49	46.9	6.9	11.2	3.8
20	33.1	6.9	11.5	3.5	50	49.8	9.8	11.2	3.8
21	43.5	3.5	12.3	2.7	51	42.8	2.8	12.9	2.1
22	45.9	5.9	17.6	2.6	52	49.8	9.8	13.2	1.8
23	49.7	9.7	19.9	4.9	53	41.8	1.8	12.3	2.7
24	50.1	10.1	19.3	4.3	54	5.2	5.2	16.9	1.9
25	48.3	8.3	12.3	2.7	55	49.2	9.2	11.2	3.8
26	47.4	7.4	19.2	4.2	56	48.9	8.9	11.7	3.3
27	49.1	9.1	18.3	3.3	57	41.7	1.7	11.8	3.2
28	48.1	8.1	19.8	4.8	58	47.9	7.9	19.7	4.7
29	49.3	9.3	17.8	2.8	59	48.2	8.2	11.2	3.8
30	41.9	1.9	18.4	3.4	60	45.9	5.9	10.4	4.6
					$\bar{x}\pm s$	3.83±1.81		6.61±2.72	

表注: 数据 1-20 为医生丙所测量的, 21-40 为医生丁所测量的, 41-60 为医生戊所测量的, 3 位医生均有 5 年传统方法进行全髌置换髌臼杯定位的临床经验。外展角和前倾角的理论值分别为 40°和 15°。

### 3 讨论 Discussion

陀螺仪是一个基于角动量原理来测量和保持方位的仪器<sup>[10-14]</sup>。它可以很好的测量一个物体的三维空间角度<sup>[15]</sup>。它是根据高速回转的物体, 其动量矩敏感的壳体在相对惯性的空间中, 围绕与自转轴正交的一到两个轴的角运动来进行测量的精密装置。它广泛应用于军事、技术和科学的研究和应用中。

利用陀螺仪相对位置定位的基础上, 通过引入磁传感器获得仰俯角(外展角)和平面指向角(前倾角)<sup>[16]</sup>, 其中仰俯角亦可以通过加速度传感器获得<sup>[17]</sup>, 补偿陀螺仪相对位移偏差引起的实际指向偏差<sup>[18]</sup>, 从而进行角度测量。陀螺仪对仰俯角和平面指向角的测量非常精准。最原始的为机械陀螺仪, 现在基于其他原理的陀螺仪日新月异, 如手机等电子消费领域常见的微机电陀螺仪, 固体激光陀螺仪等<sup>[19-21]</sup>。作者进一步设计制造的新一代陀螺定位仪也是基于微机电陀螺仪原理, 体积只有 2.0 cm×2.0 cm×

0.1 cm, 无需外接电脑, 配备的显示屏上可以直接显示实时角度, 下一步将进入临床应用。

全髌置换中髌臼杯的前倾和外展角度很难估计<sup>[22-24]</sup>。即使有经验的医生在调整前倾角和外展角的过程中也经常出错<sup>[25-26]</sup>。而不准确的髌臼假体方位与术后脱位、内衬磨损等很多问题相关, 严重影响着假体的使用寿命<sup>[1, 27]</sup>。对于正常髌臼, 尚能参照解剖标志来改善定位的精确性。髌关节发育不良等解剖标志全无的髌臼, 术者目测的精度进一步下降<sup>[28-32]</sup>。而且, 近些年逐渐发展起来的通过术前画图对术中髌臼方位进行个性化的设计, 每次设计的角度并不相同, 使得单纯临床经验更难准确定位。而这也正是设计的定位仪的优势所在, 术者可以随意设定角度, 均可得到精准的方位。

目前髌臼假体安置有 2 种方法。一是传统方法: 术者直接通过目测或者利用传统力线杆目测进行定位<sup>[33]</sup>。其很大程度上依赖于医生的经验, 而且对手术视野的要求较高。

表3 使用陀螺仪测量的结果

Table 3 Results measured by gyroscope

(°)

测量序号	外展角		前倾角		测量序号	外展角		前倾角	
	实际角度	误差	实际角度	误差		实际角度	误差	实际角度	误差
1	40.2	0.2	15.6	0.6	31	40.2	0.0	14.8	0.2
2	40.3	0.3	15.8	0.8	32	40.0	0.1	14.7	0.3
3	39.8	0.2	15.7	0.7	33	40.1	0.1	15.3	0.3
4	39.9	0.1	14.8	0.2	34	39.9	0.0	15.1	0.1
5	40.0	0.0	14.6	0.4	35	40.0	0.0	15.0	0.0
6	40.1	0.1	15.3	0.3	36	40.0	0.1	14.8	0.2
7	40.1	0.1	14.7	0.3	37	40.1	0.2	14.7	0.3
8	39.8	0.2	14.5	0.5	38	40.2	0.1	15.2	0.2
9	40.1	0.1	15.4	0.4	39	39.9	0.2	15.2	0.2
10	40.3	0.1	14.8	0.2	40	39.8	0.1	15.4	0.4
11	39.8	0.3	15.0	0.0	41	39.9	0.1	14.9	0.1
12	40.0	0.2	15.1	0.1	42	40.1	0.1	14.6	0.4
13	39.7	0.0	15.2	0.2	43	40.0	0.0	14.4	0.6
14	39.8	0.3	14.9	0.1	44	39.8	0.2	14.6	0.4
15	40.1	0.2	14.8	0.2	45	39.9	0.1	15.4	0.4
16	40.2	0.1	14.7	0.3	46	40.1	0.1	15.6	0.6
17	39.7	0.2	15.0	0.0	47	40.1	0.1	15.3	0.3
18	39.9	0.3	15.1	0.1	48	40.0	0.0	14.7	0.0
19	40.1	0.2	14.9	0.1	49	40.2	0.2	14.7	0.0
20	39.8	0.1	14.7	0.3	50	40.3	0.3	15.0	0.3
21	39.9	0.0	15.5	0.5	51	40.1	0.2	15.0	0.3
22	40.0	0.1	14.3	0.7	52	39.8	0.1	15.3	0.2
23	40.1	0.3	14.8	0.2	53	40.1	0.1	14.7	0.1
24	40.3	0.1	15.3	0.3	54	39.9	0.3	14.8	0.3
25	40.1	0.1	15.5	0.5	55	39.7	0.3	15.1	0.1
26	39.9	0.2	14.9	0.1	56	40.3	0.2	14.7	0.3
27	39.8	0.1	14.7	0.3	57	40.2	0.1	14.9	0.4
28	39.9	0.0	15.4	0.4	58	39.9	0.2	15.3	0.4
29	40.0	0.1	15.4	0.4	59	40.2	0.3	15.4	0.4
30	40.2	0.2	15.3	0.3	60	39.9	0.1	14.6	0.5
				$\bar{x}\pm s$		0.14±0.09		0.30±0.19	

表注: 外展角和前倾角的理论值分别为 40°和 15°。

当应用它们进行定位时, 结果并不满意<sup>[34-35]</sup>。第二种方法是计算机导航系统辅助髌臼杯定位法, 它很大程度上增加了白杯方位的准确性<sup>[36-38]</sup>。但计算接导航程序繁冗、时间长、费用高, 使得大多数外科医生宁可相信自己的眼睛。因此, 发明一种简单、经济、有效的工具来进行髌臼杯的定位势在必行。陀螺仪定位器应运而生, 它是陀螺仪、罗盘、倾角传感器的复合装置, 以陀螺仪原理为主, 相互协调发挥各自优势, 明显增加了精确性, 外展误差0.3°以内, 前倾误差0.5°以内。同时, 它以人体纵轴为参照, 不受术野影响; 而且, 可以自由的设定任何角度, 这就为髌臼方位的个性化设计提供的很好的保障; 另外, 它非常简单, 无需学习, 费用也低。当然手术中还有很多影响最终角度的因素, 如对假体连接手柄的锤击可能导致角度发生变化, 为此给予固定手柄, 开始连续多次轻轻锤击待假体部分置入后再加大锤击力度, 可基本解决其对最终假体方位的影响。还有, 术中患者体位的变化也会影响假体的方位, 所以, 术前肢体需要摆放规范和固定牢靠, 术中定位时需要保持髌关节伸直位, 从而减少骨盆倾斜对假体置入角度的

影响。

陀螺仪让髌臼杯定位更加精确, 而且它简单、无学习曲线、不增加手术时间, 同时不增加额外费用。作为航海航空中的定位工具, 必将引领全髌置换进入一个新纪元。

**作者贡献:** 所有作者共同进行实验的设计、实施及评估。

**利益冲突:** 文章及内容不相关利益冲突。

**伦理要求:** 实验未涉及伦理学内容。

**学术术语:** 陀螺仪—人们利用陀螺的力学性质所制成的各种功能的陀螺装置, 在科学、技术、军事等各个领域有着广泛的应用, 比如回转罗盘、定向指示仪、炮弹的翻转、陀螺的章动等。陀螺仪的种类很多, 按用途来分, 可以分为传感陀螺仪和指示陀螺仪。传感陀螺仪用于飞行体运动的自动控制系统中, 作为水平、垂直、俯仰、航向和角速度传感器; 指示陀螺仪主要用于飞行状态的指示, 作为驾驶和领航仪表使用。

**作者声明:** 文章为原创作品, 无抄袭剽窃, 无泄密及署名和专利争议, 内容及数据真实, 文责自负。

#### 4 参考文献 References

- [1] 胡如印,田晓滨,孙立,等.人工全髋关节置换治疗强直性脊柱炎髋关节强直畸形[J].中国组织工程研究,2012,16(44):8356-8360.
- [2] 刘新剑.髋关节假体的设计、选择与置换[J].中国组织工程研究与临床康复. 2008,12(30):5919-5922.
- [3] 侯喜君,李霖,王春华,等.陶瓷对陶瓷全髋关节置换治疗中青年股骨颈骨折的分析[J].中国组织工程研究, 2013,17(52):8955-8960.
- [4] 袁明武,潘江,张晓冬.全髋关节置换并结构性植骨治疗 Crowe III型髋臼发育不良性骨关节炎[J].中国组织工程研究, 2012, 16(39): 7227-7231.
- [5] 李永旺,马文海,孙俊英,等. Becker V形外旋截骨在 Crowe IV型发育性髋关节脱位人工全髋关节置换术中的应用[J].中国修复重建外科杂志,2013,27(9):1032.
- [6] 陈长留,舒勇.微创小切口与传统切口应用于全髋关节置换的 Meta分析[J].中国组织工程研究,2012,16(35):6503-6507.
- [7] 刘敬锋,冯建民.陶瓷对陶瓷全髋关节置换后的异响问题[J].中国组织工程研究,2013,17(17):3148-3155.
- [8] 姜宇,杨玉生,朱国兴.同期与分期双髋关节置换 112 例围手术期风险的比较[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(48): 9078-9081.
- [9] Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, et al. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. J Bone Joint Surg Am. 1978;60(2):217-220.
- [10] Prikhodko IP, Zotov SA, Trusov AA, et al. Foucault pendulum on a chip: Angle measuring silicon MEMS gyroscope. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2011 IEEE 24th International Conference, 2011.
- [11] 王佳,李醒飞,赵建远,等.参数辨识在陀螺仪性能分析中的应用[J].计算机应用研究,2013,30(3):817-819.
- [12] 王锦,柳林涛.基于 Matlab-simulink 的航空重力仪陀螺稳定平台仿真[J].大地测量与地球动力学,2011,31(3):145-149.
- [13] 石震,杨志强,田永瑞,等.基于高精度基准数据网的陀螺全站仪寻北精度及稳定性评价方法[J].测绘通报,2012,1:91-94.
- [14] 楚中毅,孙晓光,万双爱,等.原子自旋陀螺仪核自旋磁场自补偿系统[J].仪器仪表学报,2013,34(11):2579.
- [15] 张启灿,苏显渝.动态三维面形测量的研究进展[J].激光与光电子学进展,2013,50(1):1-14.
- [16] 许晓东,张小红,程世来.机载激光扫描测高系统的安置角误差检校[J].黑龙江科技信息,2006,1:13.
- [17] 张海涛,阎贵平.MEMS 加速度传感器的原理及分析[J].电子设计技术,2003(6):260-262.
- [18] 甘至宏.光电吊舱内框架减振系统设计[J].光学精密工程,2010, 18(9):2036-2043.
- [19] 谷庆红.微机械陀螺仪的研制现状[J].中国惯性技术学报,2004, 11(5):67-72.
- [20] 陈怀,张嵘,周斌,等.微机械陀螺仪温度特性及补偿算法研究[J].传感器技术,2004,23(10):24-26.
- [21] 万顺平,毛献辉,孙利群,等.半导体泵浦固体激光陀螺的研究进展[J].应用光学,2002,23(2):22-25.
- [22] Peters FM, Greeff R, Goldstein N, et al. Improving acetabular cup orientation in total hip arthroplasty by using smartphone technology. J Arthroplasty. 2012;27(7):1324-1330.
- [23] 兰天,史占军,陈国奋,等.金属对聚乙烯与陶瓷对聚乙烯人工髋关节负重界面的抗磨损性能比较[J].中国组织工程研究,2012, 16(35): 6498-6502.
- [24] 张金成,谢正阳.人工全髋关节假体置换治疗运动性髋损伤的理论与实践[J].中国组织工程研究与临床康复,2012,16(4): 723-727.
- [25] 许杰,马若凡,李登,等.髋臼发育不良髋关节置换前髋臼侧的三维测量[J].中国组织工程研究,2013,17(43):7507-7513.
- [26] 王亮,陈宏峰,甄相周,等.非骨水泥半髋关节置换术治疗老年不稳定股骨转子间骨折[J].中华骨科杂志,2012,32(7):642-647
- [27] 安明勋.人工髋关节假体的设计及界面应力分析[J].中国组织工程研究,2012,16(30):5634-5638.
- [28] 李卫平,王华明.发育性髋关节发育不良[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(52):9851-9854 .
- [29] 许杰,马若凡,李登,等.髋臼发育不良髋关节置换前髋臼侧的三维测量[J].中国组织工程研究,2013,17(43):7507-7513.
- [30] 杨劼,张建立,王旺.经前外侧入路髋臼周围三联截骨术在儿童髋关节疾病中的应用[J].临床小儿外科杂志,2012,11(3):171-173.
- [31] 马俊,沈彬,杨静,等.改良Sutherland 截骨术治疗成人髋关节发育不良[J].中华外科杂志,2011,49(7):623-626.
- [32] 钟仕久,孟炼,何朝华,等.髋关节发育不良的全髋关节置换[J].四川医学,2013,34(12):1880-1882.
- [33] 吴炳华,戴闽.髋臼前倾角对全髋关节置换假体的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(52):9843-9846.
- [34] Hohmann E, Bryant A, Tetsworth K. A comparison between imageless navigated and manual freehand technique acetabular cup placement in total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 2011;26(7):1078-1082.
- [35] Bosker BH, Verheyen CC, Horstmann WG, et al. Poor accuracy of freehand cup positioning during total hip arthroplasty. Arch Orthop Trauma Surg. 2007;127(5):375-379.
- [36] Gandhi R, Marchie A, Farrokhyar F, et al. Computer navigation in total hip replacement: a meta-analysis. Int Orthop. 2009;33(3):593-597.
- [37] 廖亮,赵劲民,苏伟,等.计算机导航技术辅助全髋关节置换的系统分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(9):1599-1602.
- [38] 张元智,杨勇,刘瑞,等.导航模板在单侧髋关节发育不良全髋置换术中的初步应用[J].内蒙古医学院学报,2010(1):21-27.