

参赛队员姓名: 詹林

中学: 上海交通大学附属中学

省份: 上海市

国家/地区: 中国

指导教师姓名: 夏照帆

论文题目: 自主设计体表扫描系统基于三维技术实现压力疗法最优压力值的空间均一性

自主设计体表扫描系统基于三维技术实现压力疗法最优压力值的空间均一性

詹林 上海交通大学附属中学

【摘要】根据 WHO 的数据, 烧伤导致全球每年 1100 万人受伤, 26.5 万人死亡⁽¹⁾。虽然现代医疗技术已经可以挽救许多严重烧伤病人的生命, 但高达 70% 以上的烧伤后增生性瘢痕发病率仍然是一个重大的挑战, 增生性瘢痕不仅影响病人的功能恢复, 瘢痕外观也会造成病人心理压力, 降低了病人的生活质量, 延缓重新融入社会⁽²⁾。压力疗法结合硅胶贴是临床上推荐的一线无创预防和控制增生性瘢痕的物理治疗方法, 其最优压力值为 20-32 毫米汞柱⁽³⁾。目前压力疗法采用高弹性面料, 由获得医疗器械认证的第三方通过测量病人患肢尺寸定制生产压力服。压力服的研究制作需要医学、物理、材料、计算机三维建模、三维扫描系统开发、3D 打印等学科知识的交叉运用, 由于认识的局限和设备的限制造成目前无法做到最优压力值的空间均一性:

- 1) 压力计算只考虑弹性面料的拉伸率, 混淆了面料拉伸力与其产生的压力;
- 2) 有些论文考虑了压力面曲率对压力的影响, 但采用的 Laplace Law 是不准确的;
- 3) 由于没有三维体表扫描系统, 即使考虑了压力面曲率, 也无法具体计算, 只能把肢体当圆柱简化处理, 采用平均曲率⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

在上海长海医院夏照帆院士的指导下, 我通过压力公式推导、自主设计和验证三维体表扫描系统、实验验证压力、拉伸率和曲率的关系、在人体实测压力与曲率关系并以人体最复杂的面部为例实际 3D 设计打印出压力面罩等, 对压力疗法最优压力值的空间均一性做了探究。

我在探究过程中做出了以下创新性的工作:

- 1) 在压力疗法上首次采用经典力学推导了高弹性面料在患肢曲面上的压力公式, 纠正了目前对 Laplace Law 的不准确使用;
- 2) 自主设计和验证三维体表扫描系统, 使三维技术用于压力疗法的研究成为可能;
- 3) 通过三维扫描和建模, 首次建立了人体曲率空间分布图;
- 4) 结合压力公式和人体曲率空间分布图给出了实现压力疗法最优压力值空间均一性的两种方案: 以柔性压力垫调节压力面曲率和以刚性压力垫替代弹性面料改变压力传递方式。

自主设计的三维体表扫描系统在烧伤压力疗法中主要是用于人体体表空间曲率测量, 此外其可以方便测量复杂形状体积的特性也被用于淋巴水肿病人测量水肿部位体积, 代替目前医院普遍采用的复杂的排水法和不精确的简化算法; 其可以方便测量复杂形状面积的特性也被用于测量化疗病人体表面积 (以此计算化疗给药量), 代替目前医院普遍采用但问题很多的按身高和体重计算体表面积的公式法。

【关键词】增生性瘢痕, 压力疗法, 压力值空间均一性, 三维人体曲率图, 三维扫描建模

目录

一. 研究背景.....	4
二. 研究目的.....	5
三. 研究方法和结果.....	5
3.1 压力公式.....	5
3.2 自主设计体表三维扫描系统.....	6
3.3 高弹性面料的拉伸应力测量.....	11
3.4 刚性圆筒状物体上压力实验.....	12
3.5 人体不同部位压力实验.....	14
3.6 人体曲率空间分布的探究.....	16
四. 分析和讨论.....	23
五. 研究结论.....	24
六. 体表三维扫描系统在生物学上的其它应用.....	24
七. 参考文献.....	26
八. 致谢.....	27

一. 研究背景

根据 WHO 的数据, 烧伤导致全球每年 1100 万人受伤, 26.5 万人死亡⁽¹⁾。虽然现代医疗技术已经可以挽救许多严重烧伤病人的生命, 但高达 70% 以上的烧伤后增生性瘢痕发病率仍然是一个重大的挑战, 增生性瘢痕不仅影响病人的功能恢复, 瘢痕外观也会造成病人心理压力, 降低了病人的生活质量, 延缓重新融入社会⁽²⁾。压力疗法结合硅胶贴是临床上推荐的一线无创预防和控制增生性瘢痕的物理治疗方法, 其最优压力值为 20-32 毫米汞柱⁽³⁾。目前压力疗法采用高弹性面料, 由获得医疗器械认证的第三方通过测量病人患肢尺寸定制生产压力服。压力服的研究制作需要医学、物理、材料、计算机三维建模、三维扫描系统开发、3D 打印等学科知识的交叉运用, 由于认识的局限和设备的限制造成目前无法做到最优压力值的空间均一性:

- 1) 压力计算只考虑弹性面料的拉伸率, 混淆了面料拉伸力与其产生的压力;
- 2) 有些论文考虑了压力面曲率对压力的影响, 但采用的 Laplace Law 是不准确的;
- 3) 由于没有三维体表扫描系统, 即使考虑了压力面曲率, 也无法具体计算, 只能把肢体当圆柱简化处理, 采用平均曲率⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

2017 年 10 月钟世镇资深院士在“中华医学会烧伤外科学分会 2017 年学术年会”上指出增生性瘢痕压力治疗的压力应为 20-30 毫米汞柱, 并且要长期施加压力, 又指出压力过大会造成字体血流不畅、骨骼发育迟缓、皮肤破损等问题。20-30 毫米汞柱的压力范围看似比较宽⁽⁶⁾, 如果只考虑压力服的张力是容易达到的, 通过卷尺测量肢体尺寸, 控制压力服尺寸即可, 但在人体这个不规则曲面上要达到这个压力范围是极其困难的, 现有的只采用卷尺测量定制压力服基本上都不能达到钟院士提出的压力范围。



图1-1 中华医学会烧伤外科学分会2017年学术年会 钟世镇资深院士发言

由于有采用消费级深度传感器开发体表扫描系统的知识基础, 又得到了上海长海医院夏照帆院士的指导, 以及美国 Autodesk 上海公司免费学生版三维软件和荷兰 DSM 上海公司 3D 打印材料的支持, 我在本课题上做了以下探究。

二. 研究目的

从高弹性面料在曲面上产生压力的公式推导入手, 自主设计三维扫描系统解决研究工具问题, 而后在刚性圆筒上实验验证压力公式, 接着在本人实际人体各部位继续实验验证压力公式, 得到压力疗法的压力与高弹性面料拉伸率、人体压力面曲率的关系, 最终给出人体曲率空间分布图以及实现压力疗法最优压力值的空间均一性的两个方案: 以柔性压力垫调节压力面曲率和以刚性压力垫替代弹性面料改变压力传递方式。

三. 研究方法和结果

3.1 压力公式

1984 年拉普拉斯定律 (Laplace Law) 首次在有关压力疗法治疗烧伤后瘢痕的论文中被提到⁽⁷⁾⁽⁸⁾, 但并没有公式的推导, 只是凭观察的现象, 给出了一个公式: 压强=张力/曲率半径 (PRESSURE = TENSION/RADIUS OF CURVATURE)⁽⁸⁾。以“Laplace Law”或“Law of Laplace”搜索烧伤专业杂志《Burns》, 可以搜索到 6 篇文章, 都是直接采用公式“压强=张力/曲率半径”而没有公式的推导⁽⁵⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

事实上物理学科中并不存在拉普拉斯定律 (Laplace Law 或者 Law of Laplace), 这只是医学临床和科研中对压强=张力/曲率半径 (PRESSURE = TENSION/RADIUS OF CURVATURE) 公式的一种称呼。这个名称和公式的来源应该是著名的“杨-拉普拉斯方程 (Young-Laplace Equation)”, 即:

$$\begin{aligned}\Delta p &= -\gamma \nabla \cdot \hat{n} \\ &= 2\gamma H \\ &= \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)\end{aligned}$$

杨-拉普拉斯方程起初是用来解释弯曲表面附加压力的形成及计算, 描述了由于表面张力现象, 在两种静态流体界面之间 (比如水和空气等) 会产生附加压力差, ΔP 是跨流体界面的压力差, γ 是表面张力, \hat{n} 是指向表面之外的单位法线, H 是平均曲率, R_1 和 R_2 是主曲率半径。

目前压力疗法使用的所谓“拉普拉斯定律”公式“压强=张力/曲率半径”是杨-拉普拉斯方程的简化版, 即把人体各部分简化成圆柱体处理, 压力服在简化处理的圆柱体上只有垂直于轴线的面有曲率半径因而受力, 平行于轴线方向曲率半径无限大而不受力。但是这个所谓“拉普拉斯定律”公式中高弹性面料的张力性质与杨-拉普拉斯方程中流体表面张力的性质完全不

同, 高弹性面料在人体曲面产生的压力性质与流体表面张力产生的压力差的性质也完全不同, 所以以拉普拉斯定律“压强=张力/曲率半径”来研究压力疗法高弹性面料在人体产生的压力是不准确的, 相应的压力公式完全可以运用经典力学中的力的分解和压强公式进行推导, 推导过程如下:

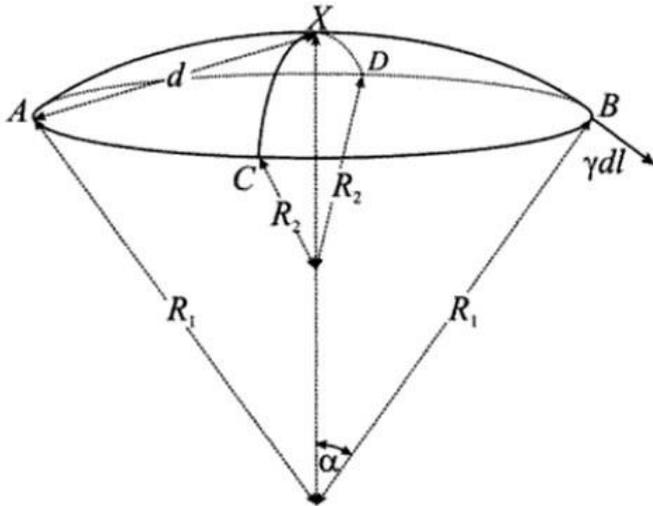


图3-1 压力公式推导

ACBDX 是一曲面, AXB 面与 CXD 面垂直, AXB 面的曲率半径是 R1, CXD 面的曲率半径是 R2, 用一块高弹性面料贴合 ACBDX 曲面并做拉伸, γ_1 是面料垂直于 CXD 面的拉伸应力, γ_2 是面料垂直于 AXB 面的拉伸应力。假设在 B 点有一个微小的拉伸 dl, 则表面的拉伸力为 $\gamma_1 * dl$, 垂直的力为 $\gamma_1 * dl * \sin \alpha$, 对于一个微小的 B 点和微小的角度 α 而言 $\sin \alpha \approx d/R_1$, 代换后垂直力为 $\gamma_1 * dl * d/R_1$ 。A、B、C、D 四个方向上的合力为:

$$2 * \gamma_1 * dl * d/R_1 + 2 * \gamma_2 * dl * d/R_2$$

$$= dl * 2d * (\gamma_1/R_1 + \gamma_2/R_2)$$

总的合力为: $\pi d^2 (\gamma_1/R_1 + \gamma_2/R_2)$, 单位面积上的压强为 $P = \gamma_1/R_1 + \gamma_2/R_2$ 。假设高弹性面料的各向同性, 即 $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$, 则公式简化为: $P = \gamma * (1/R_1 + 1/R_2)$; 如果高弹性面料是施压在一圆柱体上, 即 $R_1 = R, R_2 = \infty$, 则公式简化为: $P = \gamma / R$ 。

高弹性面料在曲面上的压力公式形式与杨-拉普拉斯方程类似, 但内涵完全不同, 杨-拉普拉斯方程中 γ 是表面张力, 对各向同性的流体而言 γ 是一致的, 但对于高弹性面料而言 γ 是不同的, 如果面料两个方向都受力则要分别计算。

3.2 自主设计体表三维扫描系统

3.2.1 研究背景

根据高弹性面料在曲面上的压力公式 $P = \gamma_1/R_1 + \gamma_2/R_2$, 压力面的曲率半径对面料产生的压力影响非常大, 如果精确计算压力必须要得到人体各部分的曲率半径。由于缺乏技术手段, 无法取得人体各部分的曲率半径, 以前的研究都只能把人体各部分简化成圆柱体, 通过测量周长来计算平均曲率半径, 但这样做是非常不准确的。

通过采用体表三维扫描可以对复杂曲面的人体进行三维建模, 然后基于这个三维模型进行详细的人体各部分曲率半径计算, 但目前的困难是几乎所有的烧伤医疗机构都没有体表三维扫描设备, 我需要自己开发一套体表三维扫描系统并验证其实用性, 才能做进一步的研究。

工欲善其事必先利其器, 三维扫描设备是进行压力疗法最优压力值空间均一性研究的基础。三维技术在生物医学中的某些分支领域已经被成熟的应用, 比如骨科和齿科, 采用专业的三维图像软件(如 Materialise 公司的 Mimics 软件), 骨科和齿科医生可以把二维的 CT 或 MRI 影像数据非常好地转换成三维模型, 并以此为基础 3D 设计、3D 打印手术导板、齿模等。但在生物医学其它一些分支领域, 三维技术的使用依然几乎是空白。经过文献查找, 我发现生物医学中不同分支领域使用三维技术进展不同的原因主要在于三维建模, 骨科、齿科等可以基于现有 CT 或 MRI 影像数据采用专业软件完成三维建模; 而其它需要基于人体表面三维结构进行三维建模的领域, 因为目前没有合适的三维扫描设备而无法采用三维技术。

			已成熟使用三维技术领域	未使用三维技术领域
医学与健康学领域			骨科、齿科等	化学治疗、烧伤治疗(体表面积、烧伤面积); 淋巴水肿治疗(患肢体积); 烧伤瘢痕压力治疗(不规则曲面施压)
三 维 技 术	三维扫描	原理	人体内部三维结构, 无法直接用光学法三维扫描	人体表面三维结构, 可以直接用光学法三维扫描
		设备	不需要专用设备; 采用二维CT或MRI影像数据	需要专用设备; 因为是高频次使用, 每次扫描成本要远低于 CT或MRI, 并且对人体无损伤、使用便捷
	三维建模		基于二维的CT或MRI影像数据, 采用专业的三 维图像软件(如Materialise公司的Mimics软 件)转化成三维模型	建模需要基于三维扫描结果
	三维测量		基于三维模型进行: 面积测量; 体积测量; 距离测量等	同左
	三维设计		基于三维模型	同左
	三维打印		基于三维设计	同左

目前光学法三维扫描设备基本用于航空、汽车等工业领域, 见下图, 被扫描物体静止(这对三维扫描非常重要, 可以反复扫描, 扫描图像不容易掉), 可以接受百万元级的扫描设备, 当然精度非常高。而医学与健康学领域需要的光学法三维扫描设备不需要像航空、汽车这些行业那样高的精确度, 另外人体很难做到完全静止, 所以扫描设备要能快速扫描, 图像不容易掉, 第三因为使用频率高, 每次扫描费用要远低于 CT 或 MRI。

根据文献查找结果, 目前除个别医学研究单位外, 目前全中国的医疗机构都还没有在医疗中实际使用的三维扫描设备。三维的问题用三维技术解决, 压力疗法最优压力值的空间均一性就是一个典型的三维问题, 没有三维扫描设备就无法研究压力方面曲率对压力的影响。2009年微软推出了用于体感游戏的深度摄像头 KINECT 1代, 之后又推出精度更高的 2代, 英特尔也推出了 RealSense 系列深度传感器用于机器视觉、VR 等, Occipital、PMD 等公司随后跟进推出各种深度传感器, 价格也大幅下降到千元级。本研究采用以上这些消费级深度传感器, 结合软件开发套件 (SDK, Software Development Kit) 及第三方开源软件, 设计并自己搭建一套光学法体表三维扫描系统, 并实验验证这套设备的实用性。



图3-2 工业级光学法三维扫描设备的应用

3.2.2 自主设计三维扫描系统

分别以微软 Kinect 1代、Intel RealSense R200、微软 Kinect 2代、Occipital Structure 和 PMD Flexx 这 5 种深度传感器, 在 Windows 系统上结合深度传感器自带开发者开发套件 (SDK) 及第三方开源软件分别自主设计 5 套三维扫描系统。

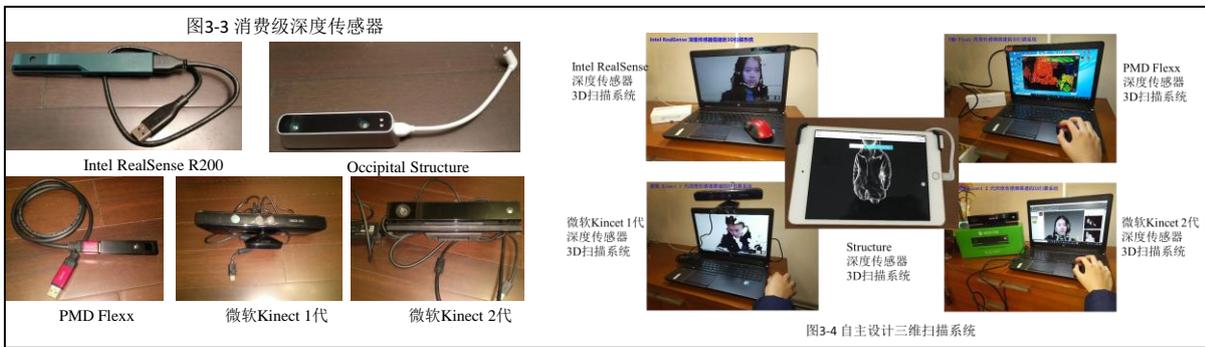
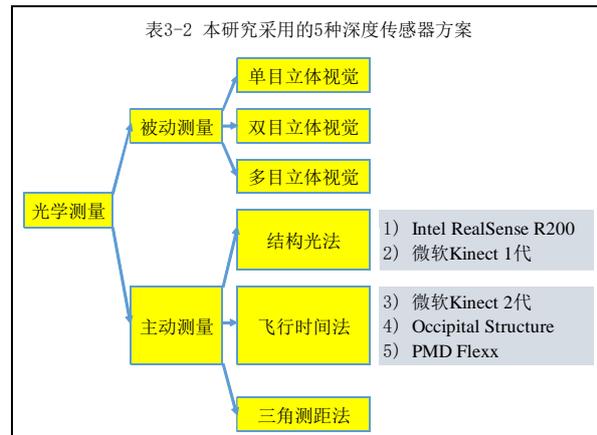


图3-4 自主设计三维扫描系统

三维扫描方法	扫描硬件	深度分辨率	操作范围(米)	USB	扫描连续性	分辨率
结构光法	Intel RealSense R200+计算机	640*480	0.4-2.8	3.0	**	*****
	微软Kinect 1代+计算机	320*240	0.8-4	2.0	**	***
飞行时间法	微软Kinect 2代+计算机	512*424	0.8-4	3.0	**	*****
	Occipital Structure+IPad	640*480	0.4-3.5	2.0	*****	*****
	PMD Flexx+计算机	224 x 171	0.1-4	2.0/3.0	****	**

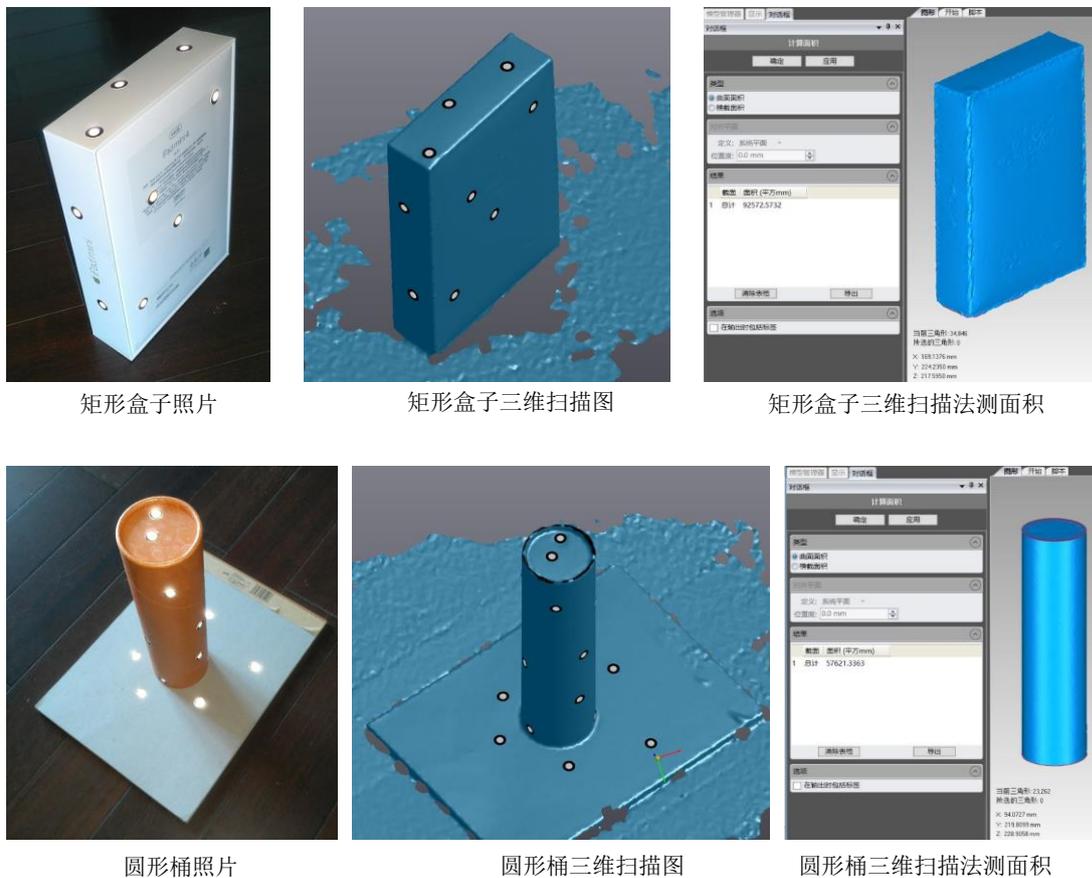
注: *****最优

根据表 3-3 的比较, Occipital Structure+IPad 方案的扫描连续性及分辨率最优, 选取此方案进行下一步研究。

3.2.3 验证自主设计的三维扫描系统的可用性

以 Occipital Structure 深度传感器扫描长方形盒子、圆筒形盒子及人体手臂上方形、圆形、长方形贴纸, 并用 3D Systems 公司 Geomagic Studio 软件测量扫描后各试样面积, 其结果与直尺测量计算结果进行比对。

图3-5 扫描并测量常见规则立体几何结构



矩形盒子照片

矩形盒子三维扫描图

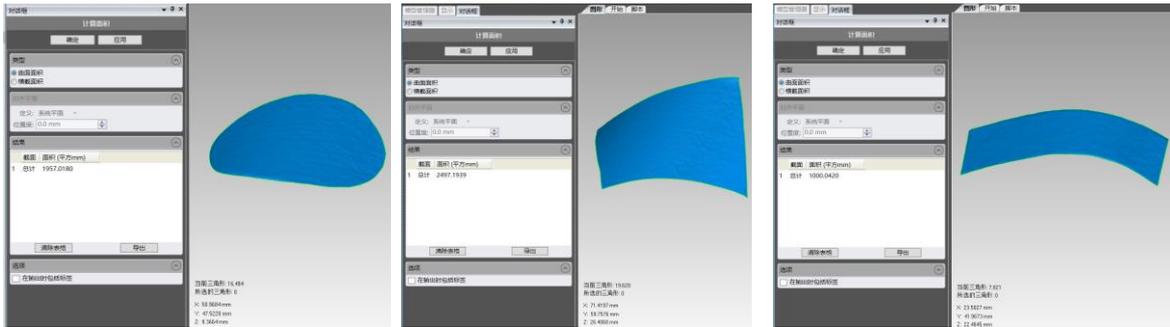
矩形盒子三维扫描法测面积

圆形桶照片

圆形桶三维扫描图

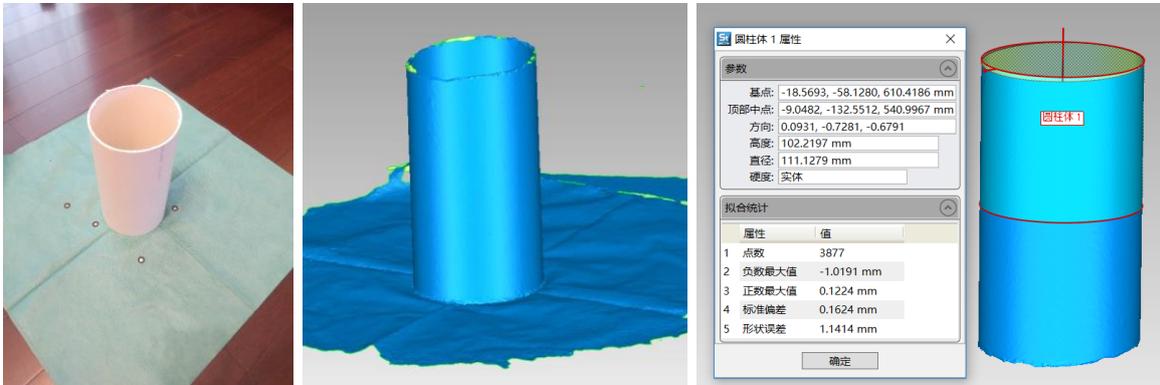
圆形桶三维扫描法测面积

图3-6 扫描并测量人体表贴纸



三维扫描法试样面积

图3-7 圆筒扫描法测直径(曲率)



圆筒照片

圆筒三维扫描图

圆筒三维扫描法测直径(计算曲率用)

3.2.4 自主设计的三维扫描系统的可用性

试样	直尺测量尺寸 (毫米)	计算面积 (平方毫米)	3D扫描法 测量面积 (平方毫米)	3D扫描面积 /计算面积
长方形盒子	长: 215 宽: 145 高: 42	92,590	92,573	99.982%
圆筒形盒子	直径: 65 高: 250	57,658	57,621	99.935%
正方形纸样	边长: 50	2,500	2,497	99.880%
圆形纸样	直径: 50	1,963	1,957	99.720%
长方形纸样	长: 50 宽: 20	1,000	1,000	100.000%

三维扫描测量的精度与直尺测量加计算的精度相当，自主设计的三维扫描系统可以用于扫描建模。

3.3 高弹性面料的拉伸应力测量

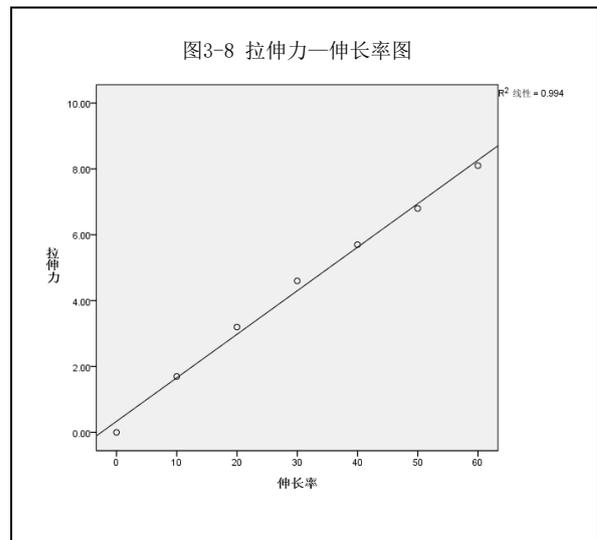
3.3.1 高弹性面料拉伸性能测试

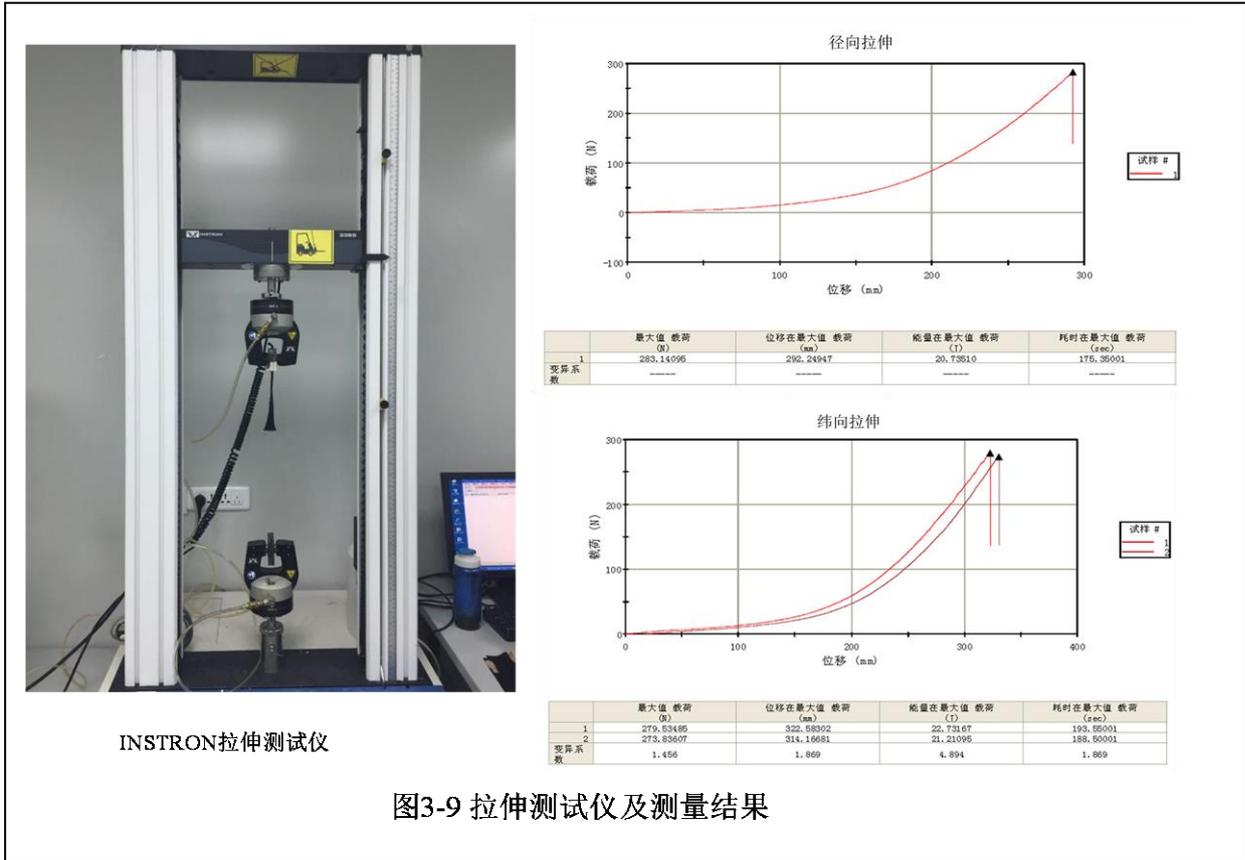
高弹性膜采用意大利 CARVICO 公司的 Infinity Plus 材料(80%尼龙, 20%莱卡)，拉伸设备采用了 INSTRON 万能电子强力仪。

3.3.2 高弹性面料拉伸性能结果

伸长率在 60%以内时，此高弹性面料拉伸负荷曲线基本为直线，对此面料伸长率在 60%以内的拉伸力—伸长率的实验数据进行直线拟合，拟合直线如右图，由此可知此高弹性面料在 60%伸长率内伸长率与拉伸力成线性相关。

根据图 3-9 可知此面料的径向和纬向拉伸应力是不同的，即如果不是单向拉伸，应该采用压力公式 $P = \gamma_1/R_1 + \gamma_2/R_2$ 。

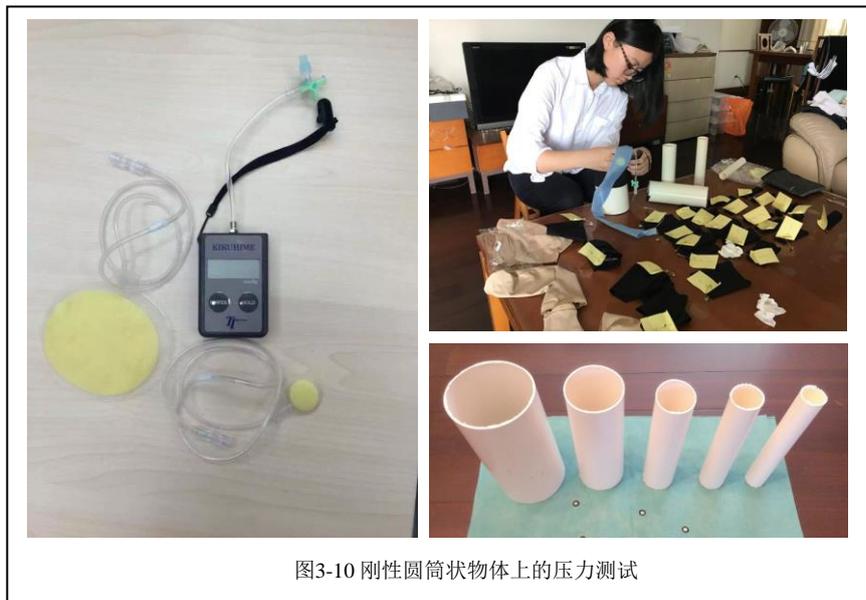




3.4 刚性圆筒状物体上压力实验

3.4.1 压力与伸长率及压力面曲率的关系测试

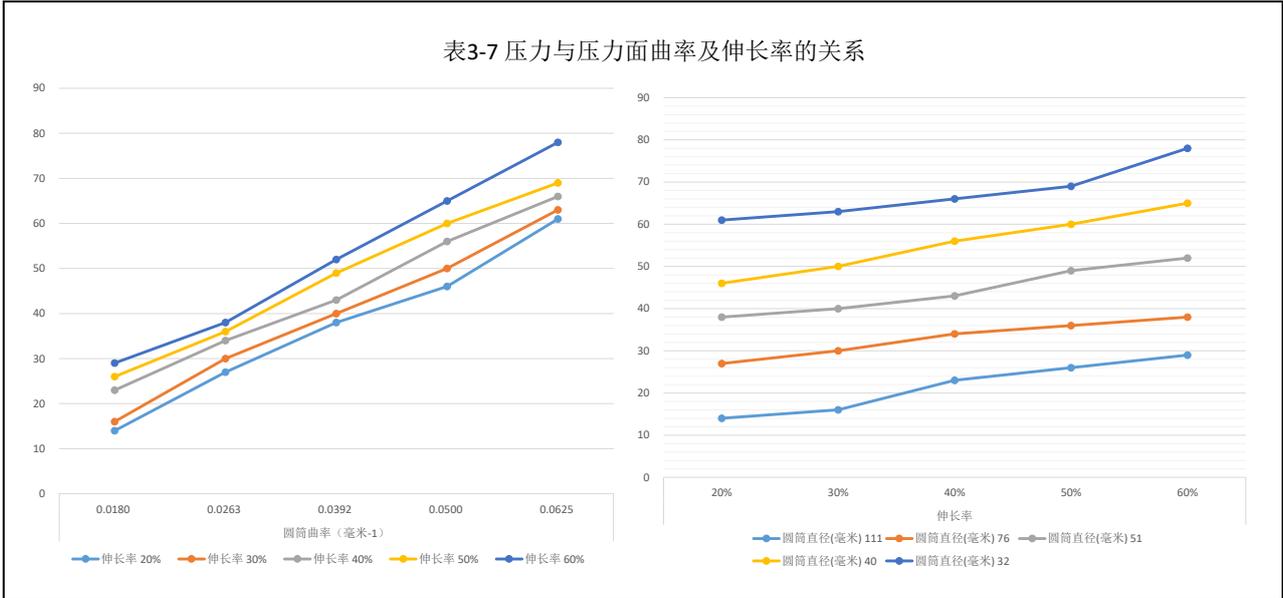
压力测试设备采用 TT Medi 公司的 KIKUHIME 压力测试仪；刚性圆筒采用市场售卖 PVC 管材，直径分别为：111、76、51、40 毫米；弹力套按 20%、30%、40%、50%、60% 的伸长率设计，本人自己用热贴合胶带贴合。



弹力套编号	圆筒直径(毫米)	圆筒曲率	圆筒周长(毫米)	弹力套拉伸率	弹力套长度(毫米)	弹力套宽度(毫米)
110-20	111	0.018	348.5	20%	290.5	120.0
110-30	111	0.018	348.5	30%	268.1	120.0
110-40	111	0.018	348.5	40%	249.0	120.0
110-50	111	0.018	348.5	50%	232.4	120.0
110-60	111	0.018	348.5	60%	217.8	120.0
75-20	76	0.026	238.6	20%	198.9	120.0
75-30	76	0.026	238.6	30%	183.6	120.0
75-40	76	0.026	238.6	40%	170.5	120.0
75-50	76	0.026	238.6	50%	159.1	120.0
75-60	76	0.026	238.6	60%	149.2	120.0
50-20	51	0.039	160.1	20%	133.5	120.0
50-30	51	0.039	160.1	30%	123.2	120.0
50-40	51	0.039	160.1	40%	114.4	120.0
50-50	51	0.039	160.1	50%	106.8	120.0
50-60	51	0.039	160.1	60%	100.1	120.0
40-20	40	0.050	125.6	20%	104.7	120.0
40-30	40	0.050	125.6	30%	96.6	120.0
40-40	40	0.050	125.6	40%	89.7	120.0
40-50	40	0.050	125.6	50%	83.7	120.0
40-60	40	0.050	125.6	60%	78.5	120.0
32-20	32	0.063	100.5	20%	83.7	120.0
32-30	32	0.063	100.5	30%	77.3	120.0
32-40	32	0.063	100.5	40%	71.8	120.0
32-50	32	0.063	100.5	50%	67.0	120.0
32-60	32	0.063	100.5	60%	62.8	120.0

3.4.2 压力与伸长率及压力面曲率的关系测试结果

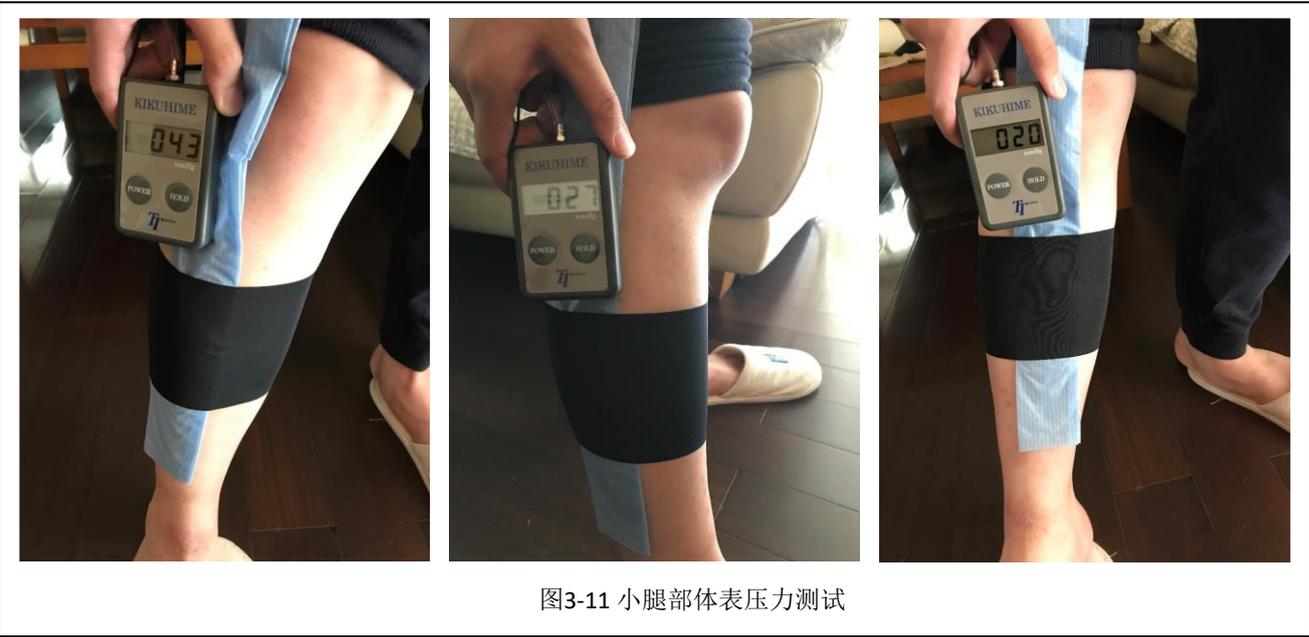
		圆筒直径(毫米)				
		111	76	51	40	32
		圆筒曲率(毫米 ⁻¹)				
		0.0180	0.0263	0.0392	0.0500	0.0625
伸长率	20%	14	27	38	46	61
	30%	16	30	40	50	63
	40%	23	34	43	56	66
	50%	26	36	49	60	69
	60%	29	38	52	65	78



3.5 人体小腿部位压力实验

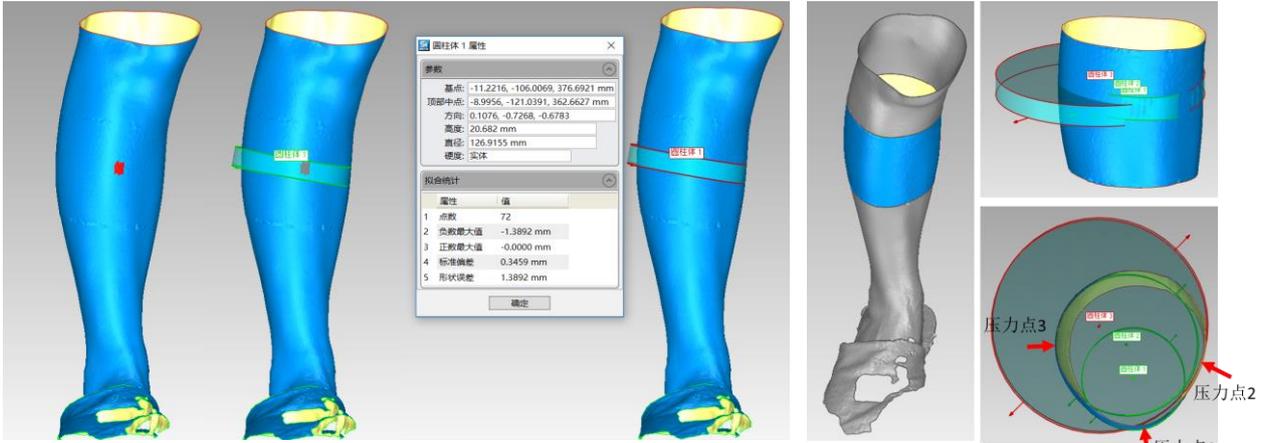
3.5.1 人体小腿部位压力实验

分别以周长 291、268、249、232、218 毫米高弹性膜套在本人小腿肚处，分别测量三个不同曲率部位的压力并三维扫描后测量该压力面曲率。



3.5.2 人体小腿部位压力实验结果

图3-12 小腿压力测试点曲率半径的获取



根据三维模型取得小腿压力测试点的曲率半径

3个压力测试点的曲率半径

表3-8 人体小腿压力测量值 (毫米汞柱)

	曲率	压力 (毫米汞柱)
弹力套1 (周长291毫米)	0.0250	23
	0.0180	16
	0.0118	10
弹力套2 (周长268毫米)	0.0253	26
	0.0168	18
	0.0110	12
弹力套3 (周长249毫米)	0.0253	36
	0.0159	23
	0.0099	17
弹力套4 (周长232毫米)	0.0227	38
	0.0156	24
	0.0092	16
弹力套5 (周长218毫米)	0.0267	43
	0.0180	27
	0.0098	20

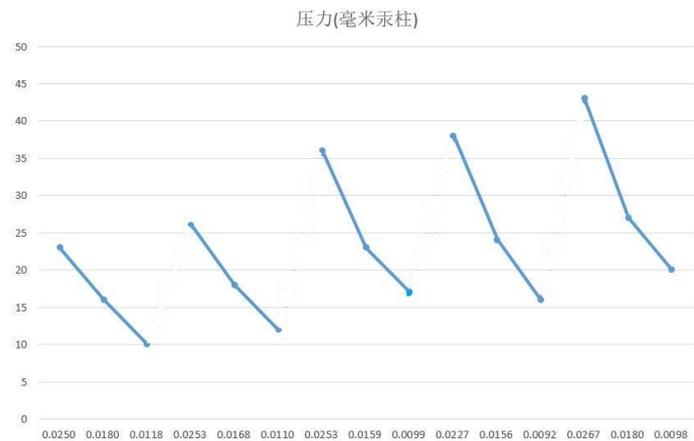
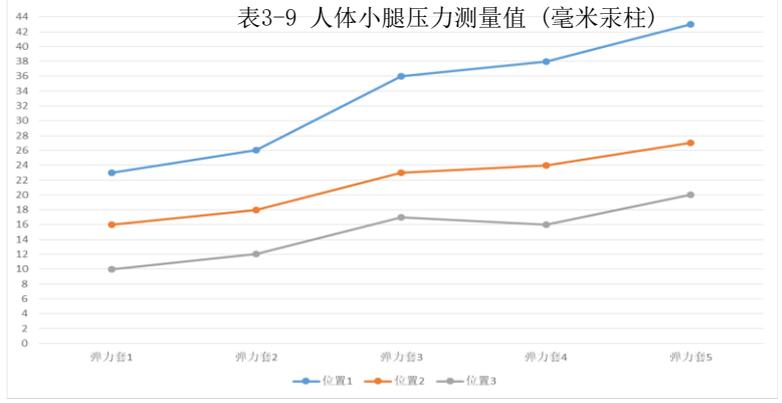


表3-9 人体小腿压力测量值 (毫米汞柱)



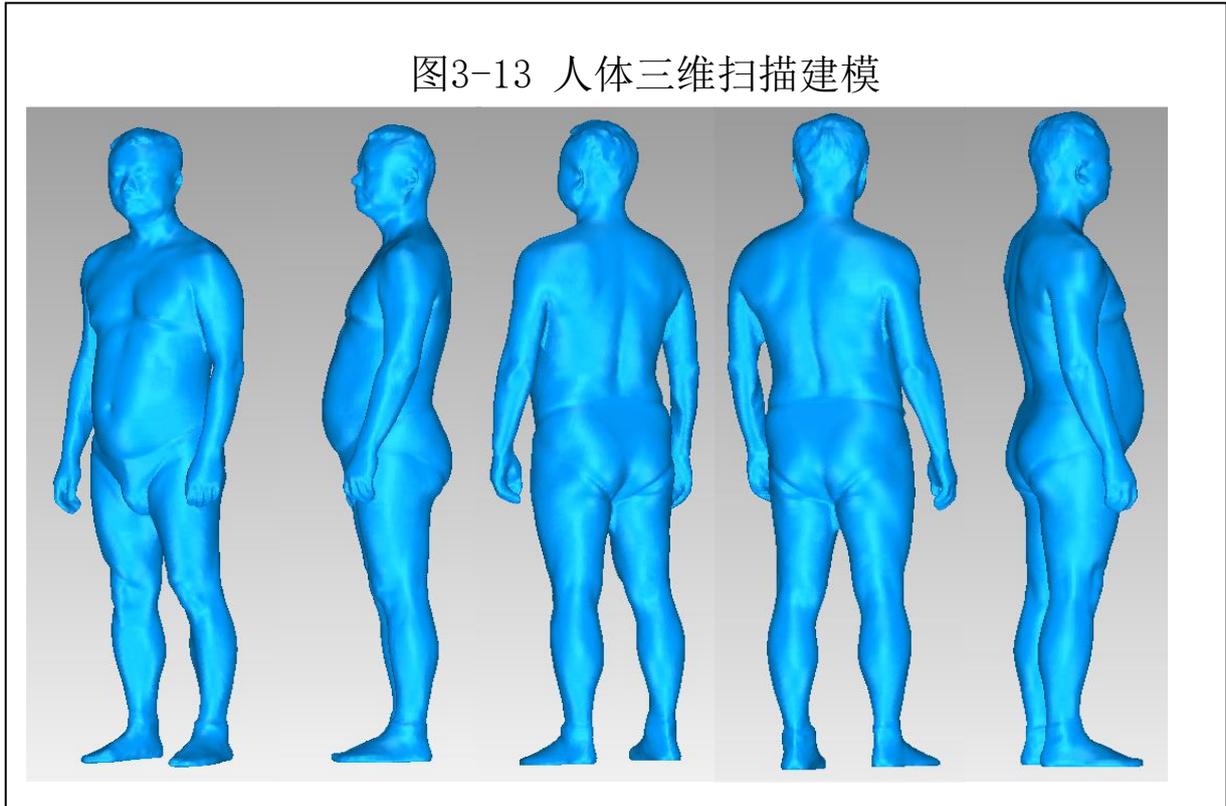
	弹力套1	弹力套2	弹力套3	弹力套4	弹力套5
位置1	23	26	36	38	43
位置2	16	18	23	24	27
位置3	10	12	17	16	20

3.6 人体曲率空间分布的探究

3.6.1 人体三维扫描建模及曲率空间分布

3.6.1.1 人体三维扫描建模

以 45 岁，身高 175 厘米，体重 82 公斤男性人体扫描数模为基础，按 3D Systems 公司 Geomagic Studio 软件中曲率敏感度给出人体曲率分布。



3.6.1.2 人体曲率分布图

以下 5 幅图中，每一幅图右边三个三维部分人体与左边第一个人体中的红色部分相同，代表相同曲率敏感度区间内的体表部分。

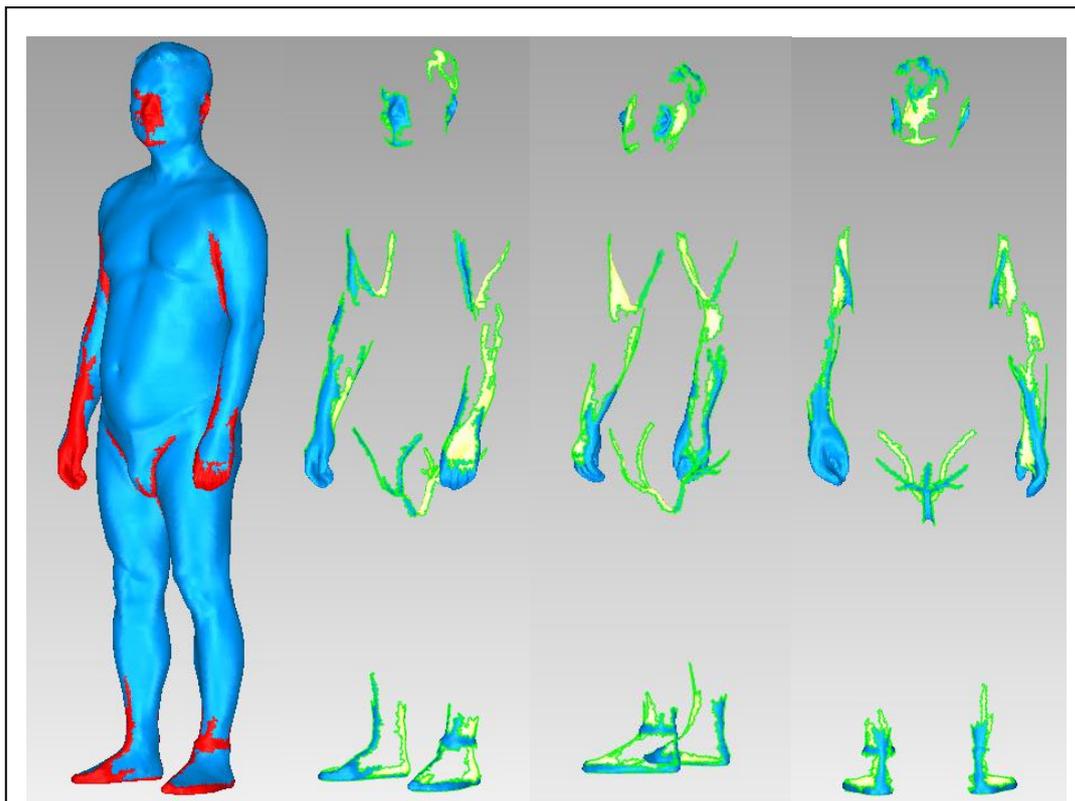


图3-14 曲率敏感度 ≥ 0.6 , 面积2048平方毫米

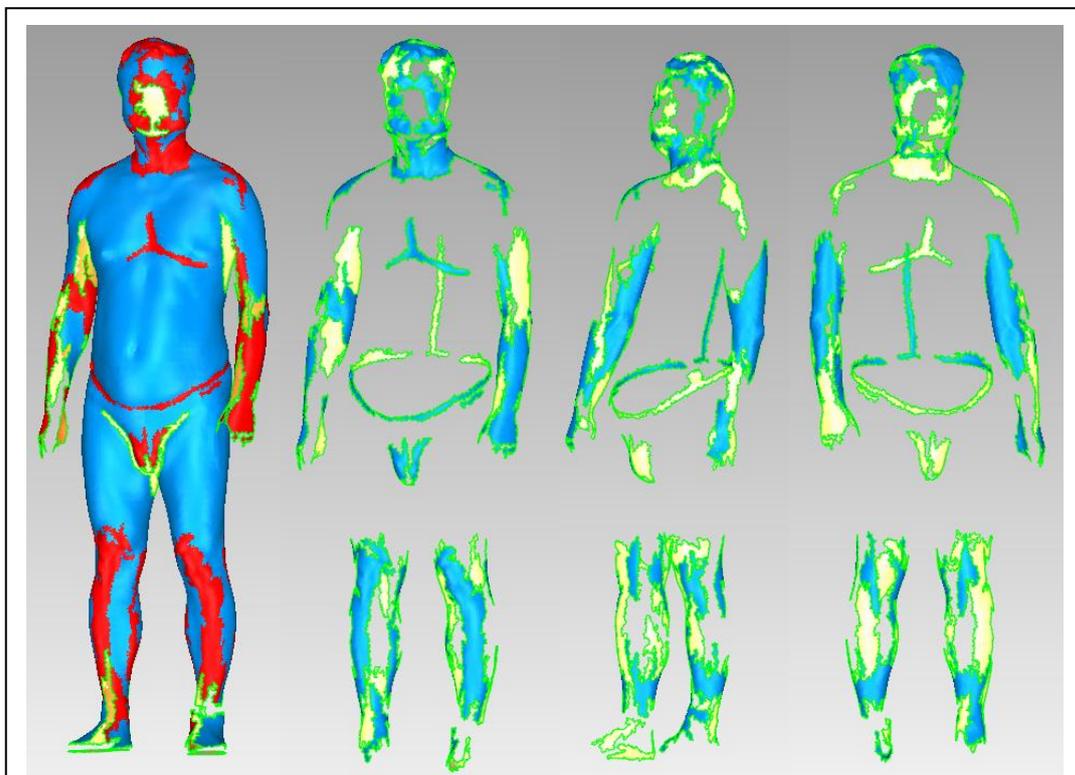


图3-15 $0.6 >$ 曲率敏感度 ≥ 0.5 , 面积3740平方毫米

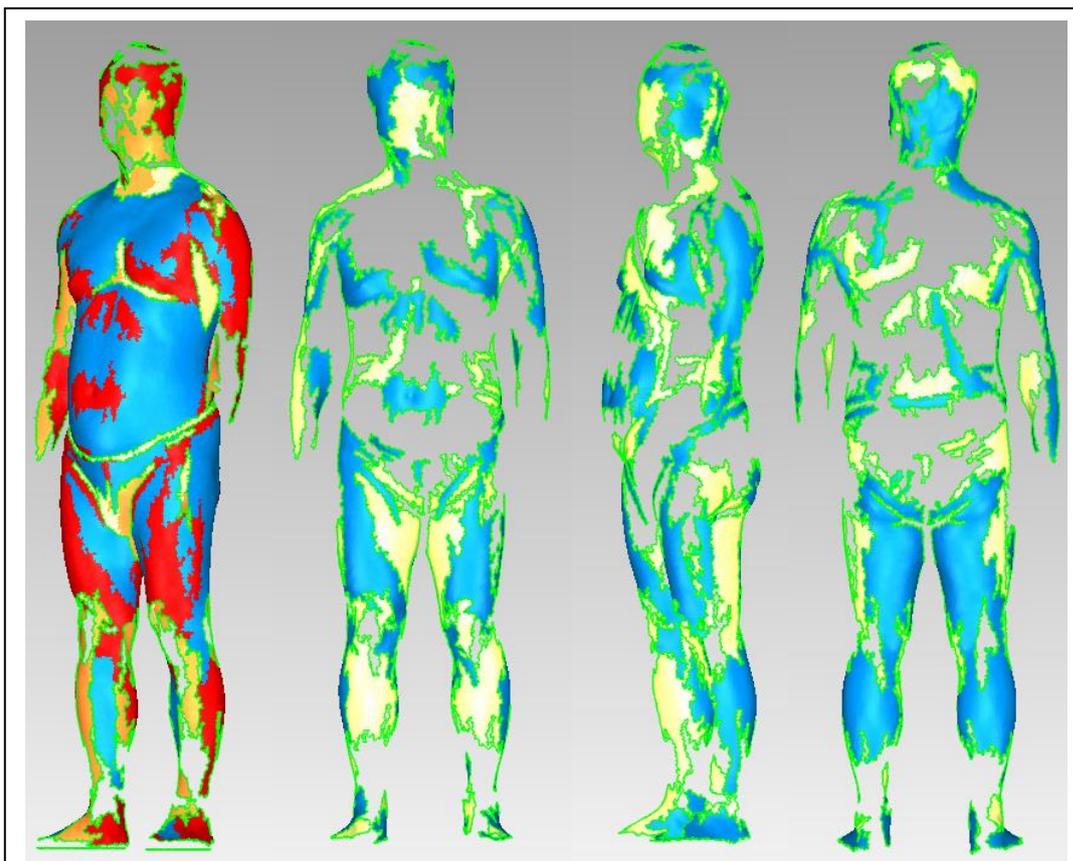


图3-16 $0.5 > \text{曲率敏感度} \geq 0.4$, 面积5918平方毫米

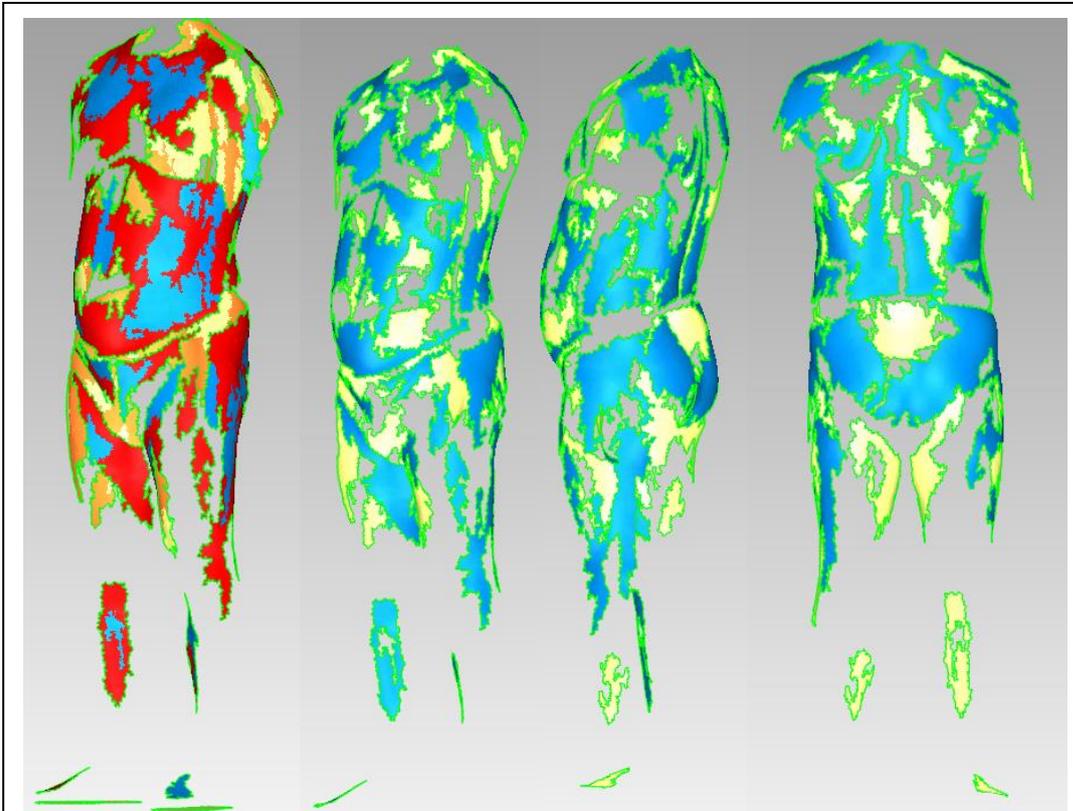


图3-17 $0.4 > \text{曲率敏感度} \geq 0.3$, 面积4163平方毫米

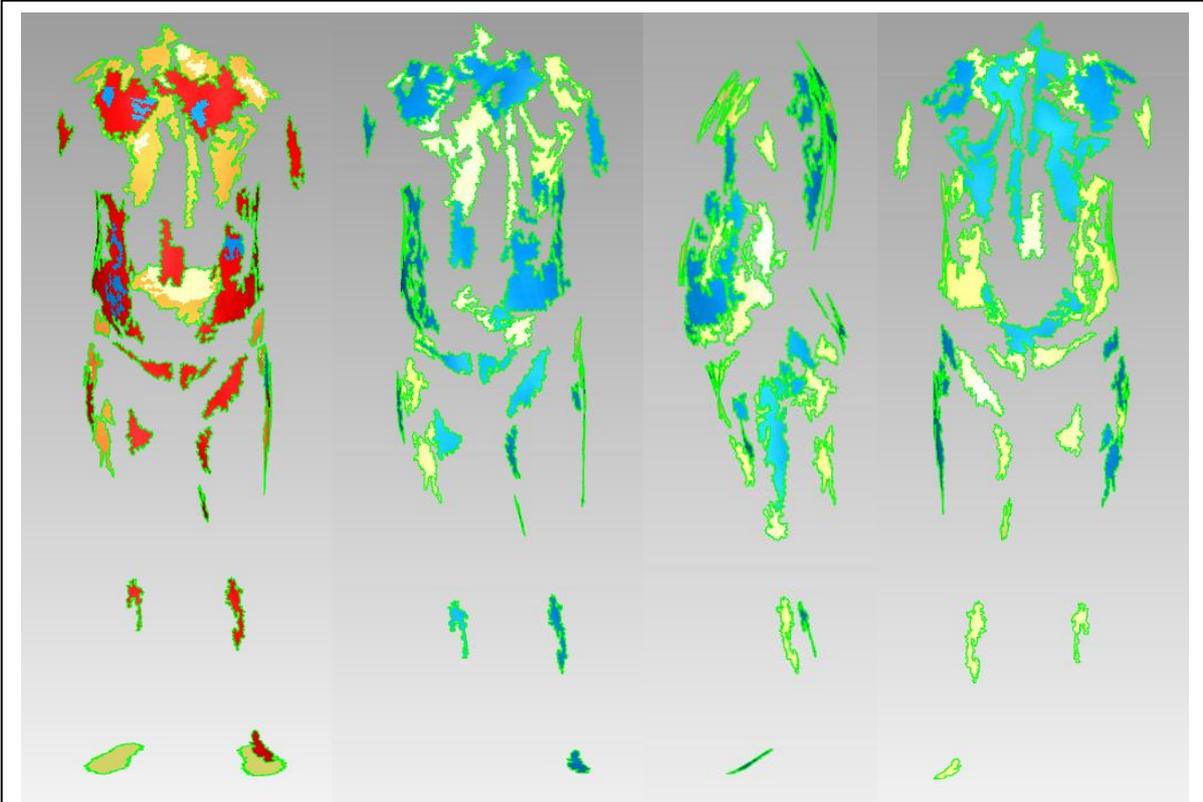


图3-18 $0.3 > \text{曲率敏感度} \geq 0.2$, 面积1877平方毫米

3.6.2 脚部三维扫描建模及压力分布

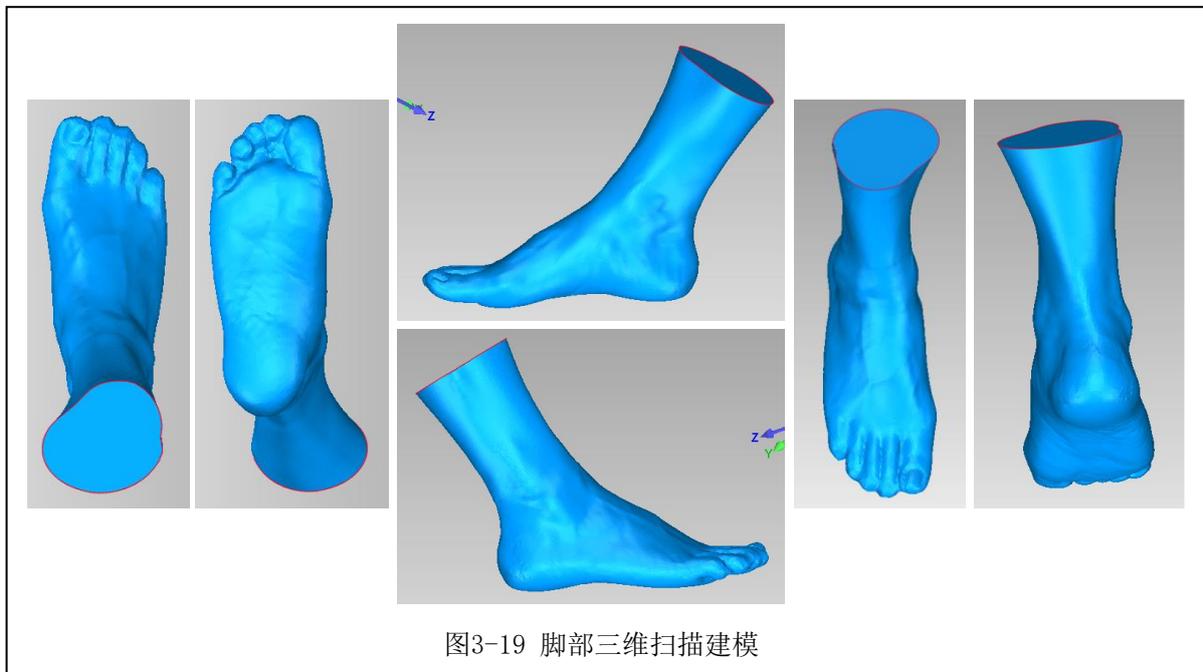
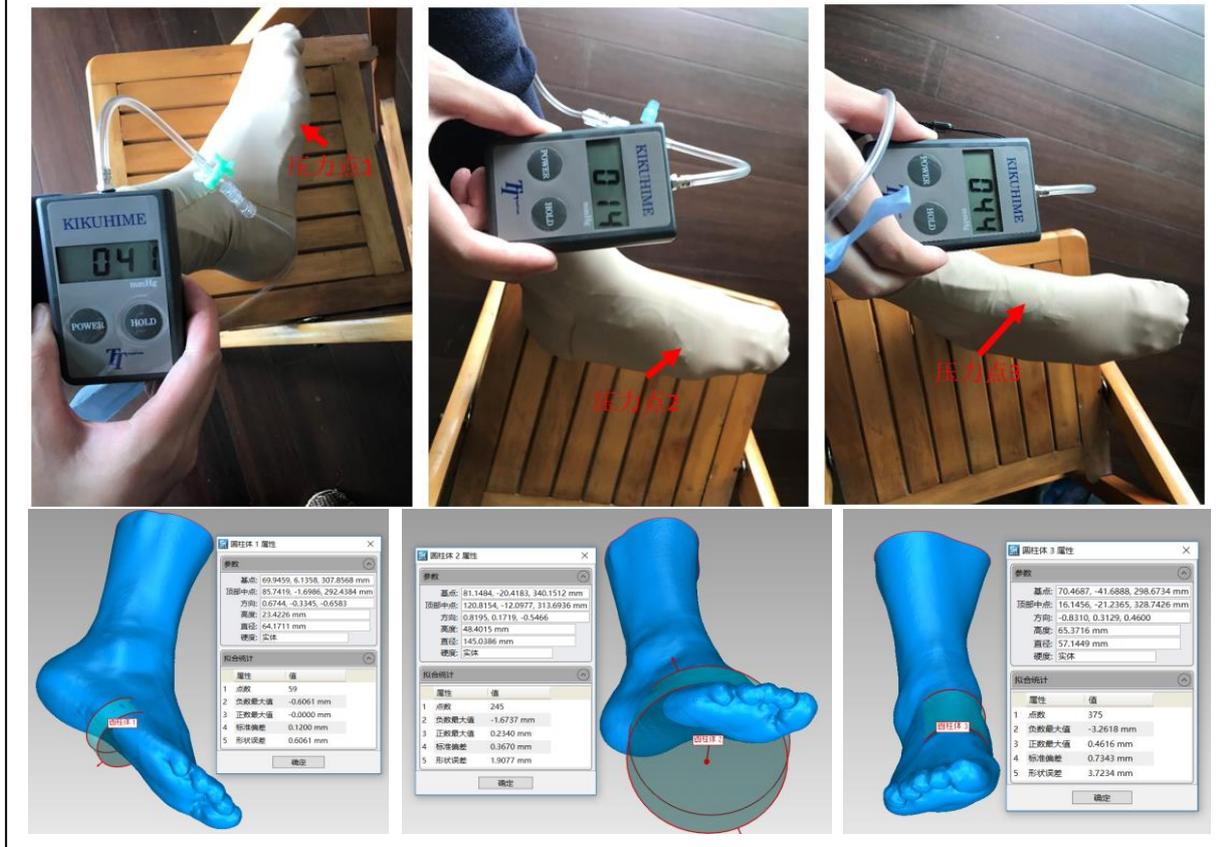


图3-19 脚部三维扫描建模

图3-20 脚部压力分布及其曲率半径



3.6.3 手部三维扫描建模及压力分布

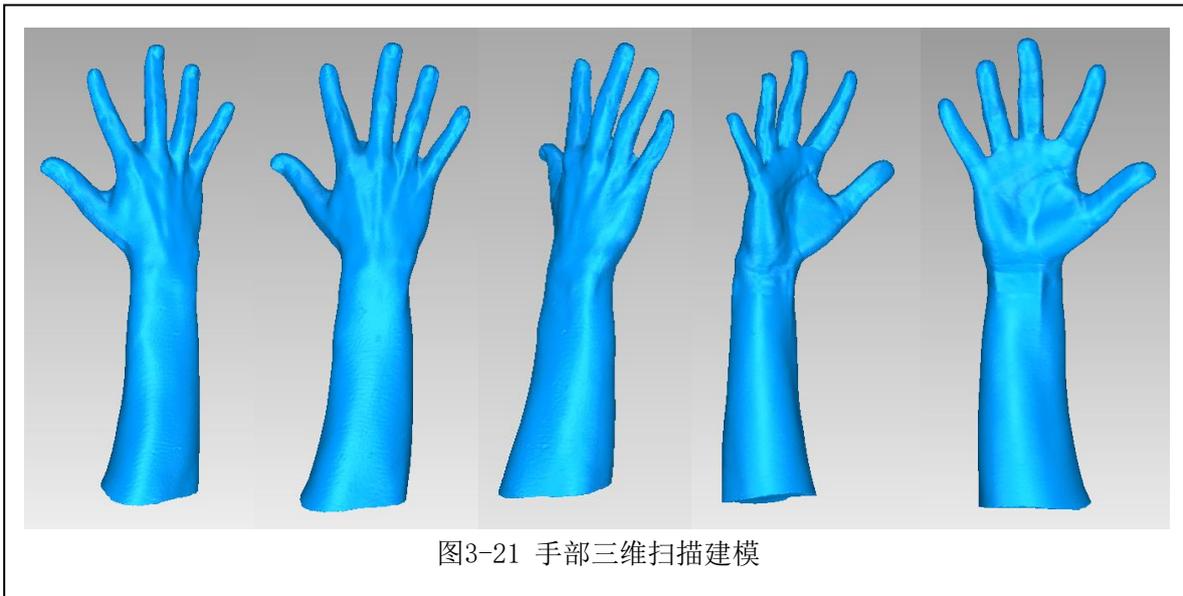
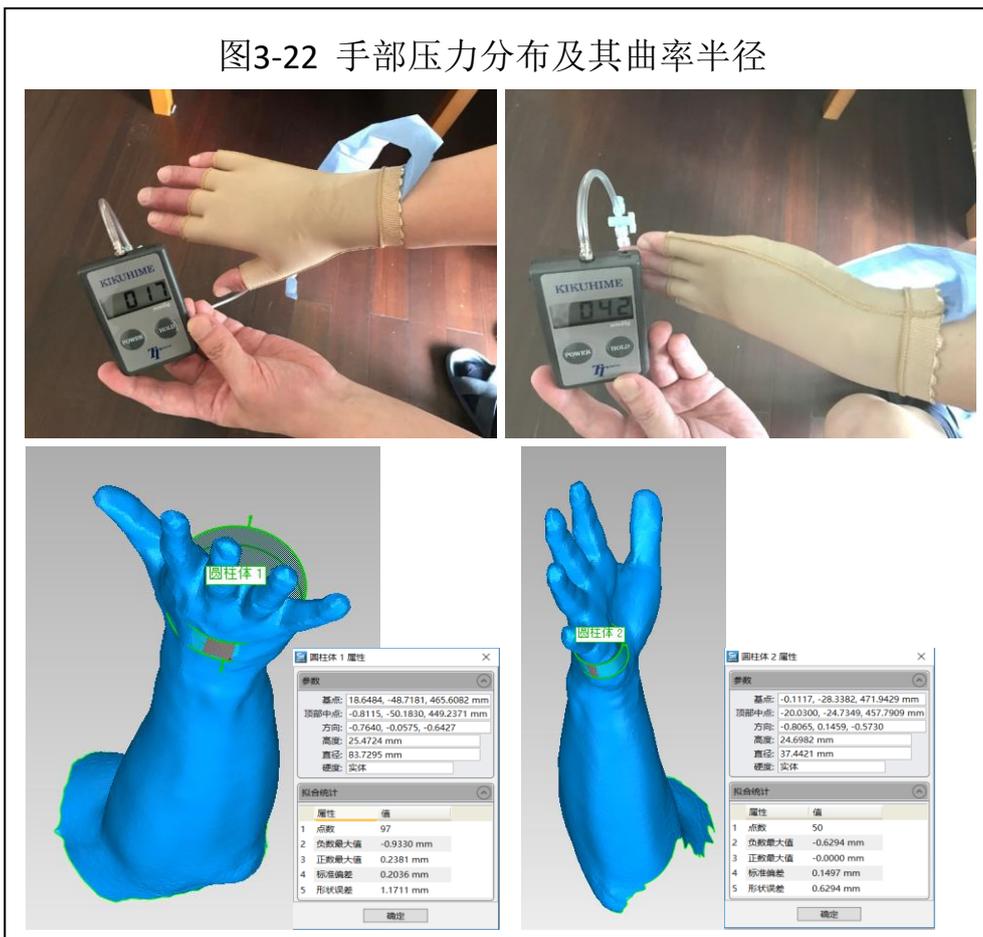


图3-21 手部三维扫描建模

图3-22 手部压力分布及其曲率半径



3.6.4 脸部三维扫描建模及脸部压力分布探究

3.6.4.1 本人脸部三维扫描建模

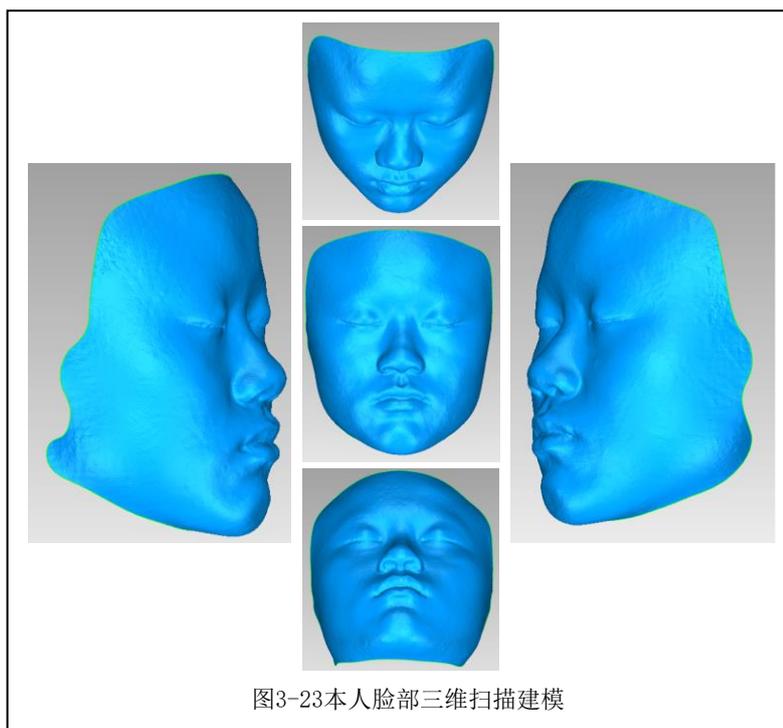


图3-23本人脸部三维扫描建模

3.6.4.2 脸部压力面罩的制作并与市售弹力套比较

以本人脸部扫描建模为基础采用 Geomagic Studio、Autodesk ReCap Photo 及 Autodesk Fusion 360 软件设计烧伤瘢痕压力治疗用压力面罩，以选择性光固化法(SLA)用 DSM 公司光敏树脂进行 3D 打印。



以三维打印压力面罩与市场购买弹性面料头套作对应压力对比，压力测试仪采用上海瑞若测控设备有限公司 RPM 薄膜压力测试仪(100g)



表3-10 压力面罩与压力头套对比

压力面罩								
左边				右边				
A点	B点	C点	D点	A点	B点	C点	D点	
压力(毫米汞柱)	15	14	16	14	14	15	17	15
弹性头套								
左边				右边				
A点	B点	C点	D点	A点	B点	C点	D点	
压力(毫米汞柱)	23	6	17	0	18	2	20	0

四. 分析和讨论

把用于研究两种静态流体界面之间由于弯曲表面的张力产生压力差的杨-拉普拉斯方程 (Young-Laplace Equation) 简化为压强=张力/曲率半径 (PRESSURE = TENSION/RADIUS OF CURVATURE) 并用于高弹面料在人体施压的计算是不准确的, 两者内涵完全不同, 杨-拉普拉斯方程中 γ 是表面张力, 对各向同性的流体而言 γ 是一致的, 但对于高弹性面料而言 γ 是不同的, 如果面料两个方向都受力则要分别计算, 此外高弹性面料的拉伸率可以高达 300%, 其特性与杨-拉普拉斯方程中流体特性完全不同。有一个准确的压力公式, 并清楚其中每个参数的准确含义, 这是进行压力疗法中压力计算的基础。

高弹性面料在体表产生的压力除了与面料伸长率成线性关系 (60%伸长率内) 外, 与体表的曲率成线性关系, 由于人体是不规则体, 不同部位曲率都不同, 有些部位曲率变化还非常大, 这会造成这些部位压力差别非常大, 比如手部, 手侧面的曲率是手背的 2 倍多, 这就决定了如果不加衬垫调节, 这两边的压力值也是 2 倍以上的关系; 又如小腿部分, 看上去是类圆柱体, 好像曲率差别不大, 但实际扫描测量曲率后发现还是有 3 倍的差距, 实测压力也证实了这个结果。

钟世镇院士已经给出了治疗增生性瘢痕的最优压力值 20-30 毫米汞柱, 通过实验我们也验证了弹力套压力与压力面曲率成线性关系。这意味着以增生部位最大曲率处为最优压力最高值 30 毫米汞柱的话, 同一弹力套覆盖下的曲率不应低于最大曲率的 2/3, 否则就会低于 20 毫米汞柱。通过三维扫描人体建模, 我们已经有了人体全身三维曲率分布图, 了解了相邻部位曲率变化的情况, 为实现压力疗法最优压力值的空间均一性, 有些部位, 比如腿、手臂、上身等类圆柱体我们可以通过加衬垫调节相邻部位曲率, 对有些用了衬垫会影响功能的部位, 比如脸部、脚部、手等可以采用 3D 打印刚性压力垫的方法, 由弹性膜张力在曲面产生压力的模式改变成固体压力传递方式, 比如压力面罩就是一个例子, 我们不可能为调节曲率把面部垫成圆筒状, 把贴合脸部的面固化成刚性体然后施加压力这就是压力面罩。

五. 研究结论

压力套的压力不仅与面料伸长率线性相关, 而且与压力面曲率线性相关, 要实现压力疗法最优压力值的空间均一性, 必须考虑三维人体曲率变化, 依据三维人体曲率图, 在身体各部位采用衬垫调节曲率或用贴合的刚性衬垫由高弹性膜张力在曲面产生压力的模式改变成固体压力传递模式, 这两种方案都可以实现压力疗法最优压力值的空间均一性。三维人体扫描建模技术可以使我们量化人体各部位曲率及曲率变化趋势, 人体三维曲率分布图可以作为压力疗法的设计参考应用于临床治疗。

六. 体表三维扫描系统在生物学上的其它应用

我的三维体表扫描系统在烧伤压力疗法主要是用于人体体表空间曲率测量, 此外其可以方便测量复杂形状体积的特性也被用于淋巴水肿病人测量水肿部位体积, 代替目前医院普遍采用的排水法和简化计算法; 其可以方便测量复杂形状面积的特性也被用于测量化疗病人体表面积(以此计算化疗给药量), 代替目前医院普遍采用但问题很多的按身高和体重计算体表面积的计算法。

图6-1 用三维扫描法取代排水法测量水肿体积



排水法测量水肿腿部体积

排水法测量水肿手部体积



3D扫描法测量水肿腿部体积



3D扫描法测量水肿手部体积

图6-2 用三维扫描法取代公式法测量人体体表面积

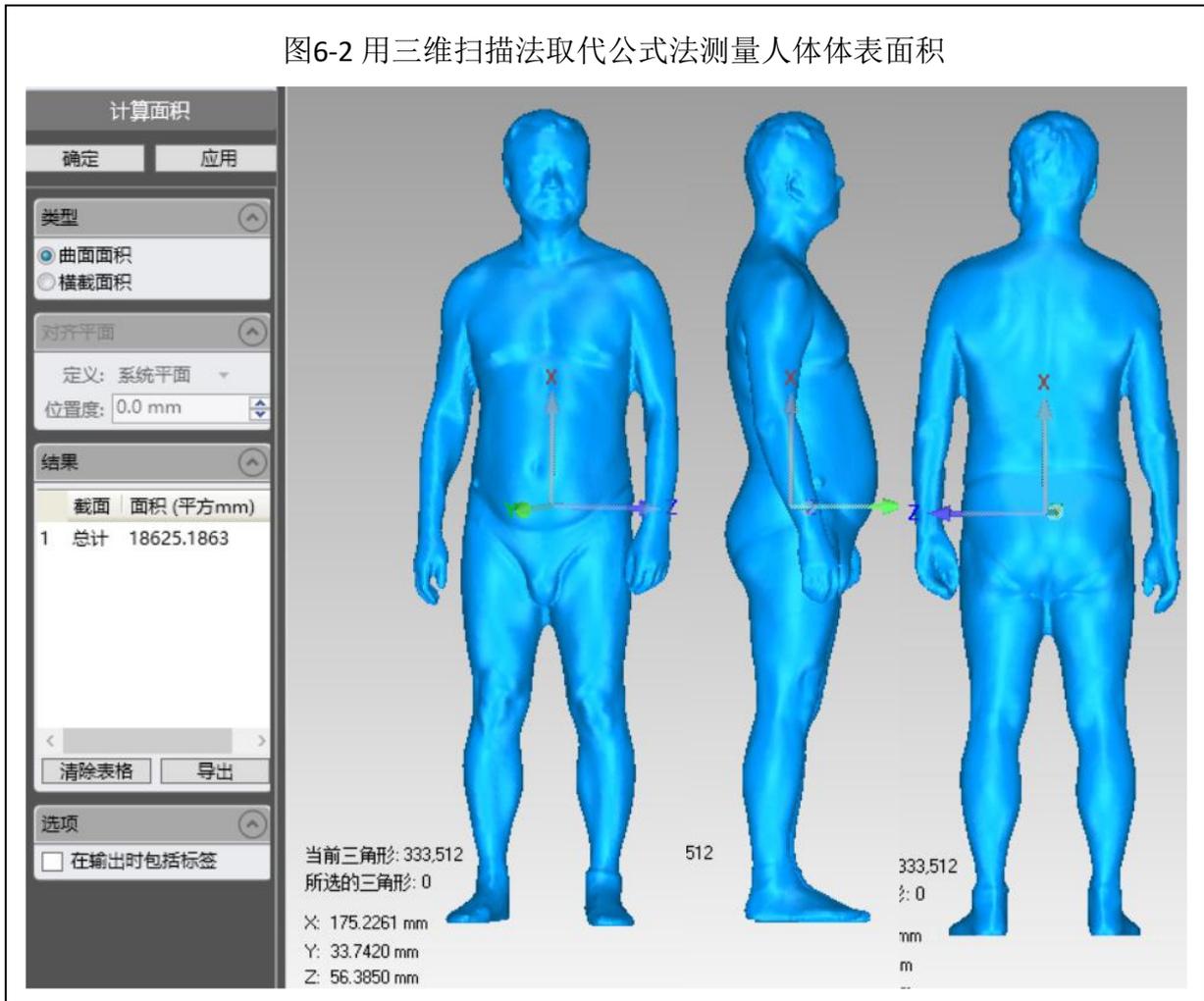
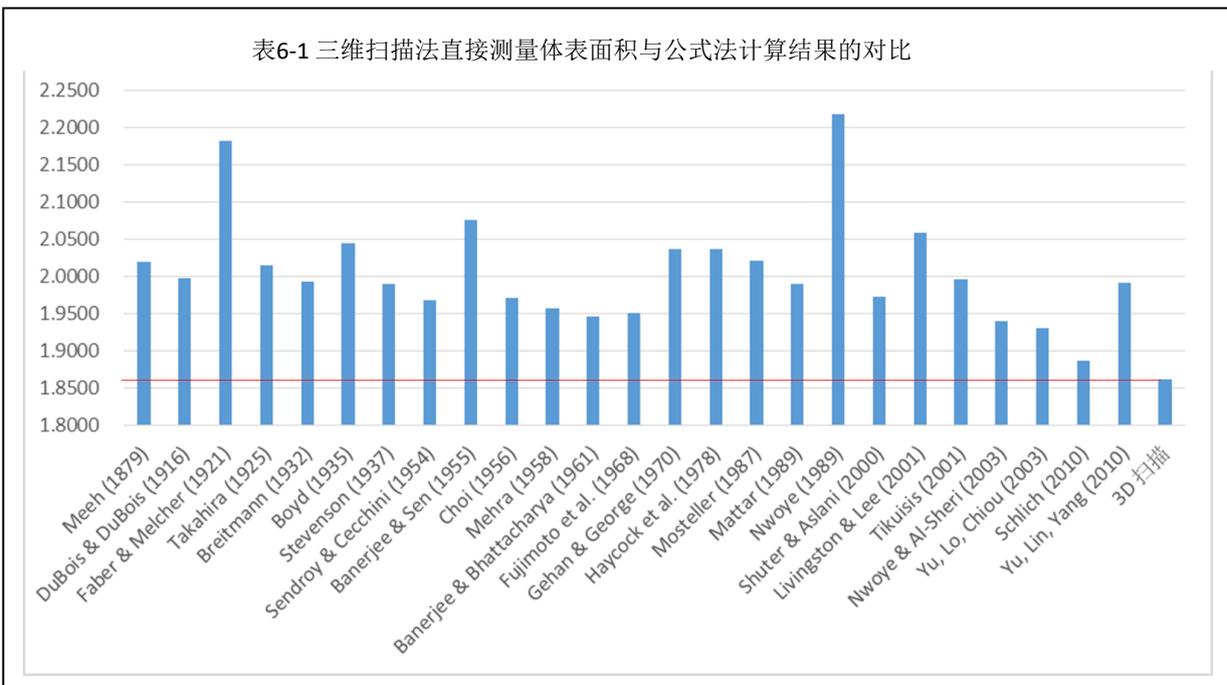


表6-1 三维扫描法直接测量体表面积与公式法计算结果的对比



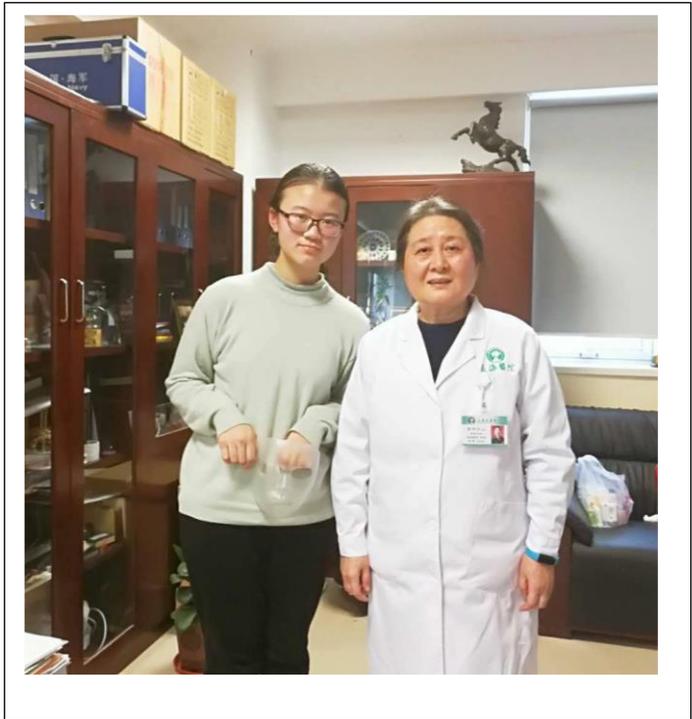
七. 参考文献:

1. Dattesh R. Davé, Neeraja Nagarjan, Joseph K. Canner, Adam L. Kushner, Rethinking burns for low & middle-income countries: Differing patterns of burn epidemiology, care seeking behavior, and outcomes across four countries, *Burns* 44 (2018) 1228-1234
2. Celeste C Finnerty, Marc G Jeschke, Ludwik K Branski, Juan P Barret, Peter Dziewulski, David N Herndon, Hypertrophic scarring: the greatest unmet challenge after burn injury, *The Lancet*, Volume 388, Issue 10052, 1 - 7 October 2016, Pages 1427-1436
3. ISBI Practice Guidelines Committee, Steering Subcommittee, Advisory Subcommittee, ISBI Practice Guidelines for Burn Care, *Burns* 42 (2016) 953-1021
4. Lisa Macintyre, Margot Baird, Phil Weedall, The Study of Pressure Delivery for Hypertrophic Scar Treatment, 《Medical Textiles and Biomaterials for Healthcare 》 Woodhead Publishing Series in Textiles, 1 edition December 2005, P224-231
5. Lisa Macintyre, Margot Baird, Pressure garments for use in the treatment of hypertrophic scars – an evaluation of current construction techniques in NHS hospitals, *Burns*, Volume 31, Issue 1, February 2005, Pages 11-14
6. Atiyeh BS, El Khatib AM, Dibo SA. Pressure garment therapy (PGT) of burn scars: evidence-based efficacy. *Annals of Burns and Fire Disasters*. 2013; 26(4):205-212.
7. Jeffrey R. Basford, The Law of Laplace and Its Relevance to Contemporary Medicine and Rehabilitation, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Volume 83, Issue 8, August 2002, Pages 1165-1170
8. J. C. Y. Cheng, J. H. Evans, K. S. Leung, J. A. Clark, P. C. Leung, Pressure therapy in the treatment of post-burn hypertrophic scar—A critical look into its usefulness and fallacies by pressure monitoring, *Burns*, Volume 10, Issue 3, February 1984, Pages 154-163
9. Lisa Macintyre, Rhona Ferguson, Pressure garment design tool to monitor exerted pressures, *Burns*, Volume 39, Issue 6, September 2013, Pages 1073-1082
10. Lisa Macintyre, New calibration method for I-scan sensors to enable the precise measurement of pressures delivered by ‘pressure garments’, *Burns*, Volume 37, Issue 7, November 2011, Pages 1174-1181
11. Candy H. Y. Lai, Cecilia W. P. Li-Tsang, Validation of the Pliance X System in measuring interface pressure generated by pressure garment, *Burns*, Volume 35, Issue 6, September 2009, Pages 845-851
12. Karen Rappoport, Reni Müller, Carlos Flores-Mir, Dental and skeletal changes during pressure garment use in facial burns: A systematic review, *Burns*, Volume 34, Issue 1, February 2008, Pages 18-23
13. Lisa Macintyre, Designing pressure garments capable of exerting specific pressures on limbs, *Burns*, Volume 33, Issue 5, August 2007, Pages 579-58

八. 致谢

去年 5 月姨妈烧菜灼伤手腕，瑞金医院要求治疗中带压力套，但她觉得不合适、很勒，所以经常不戴，这让我想到是否可以通过初中就接触过的 3D 扫描技术来定制完全贴合的压力套。7 月，在上海图书馆检索“烧伤+3D”时查到了长海医院唐洪泰教授的《三维技术在烧伤面积诊断及治疗中的应用》并根据此文章查到了唐教授负责的国家自然科学基金项目《计算机辅助个体化人体 3D 模型的建立及其在烧伤面积评估中的应用》。从项目申请书摘要中了解到，这个项目计划从 2014 年 1 月开始到 2017 年 12 月结束，所以当时项目还未结束，是一个国家支持的“活”项目；另外从唐教授已发表的 2 篇相关论文中我发现他们使用的是微软 XBOX 游戏机上的 KINECT 1 代深度传感器方案，这个传感器我之前用过，用于体感游戏还行，但用做 3D 扫描建模精度比较低，我知道现在有好几家公司在做 3D 传感器，都是 KINECT 1 代之后才推出的，微软也已经推出了 KINECT 2 代，性能更好、精度更高，而且有传感器供应商提供的软件开发套件及开源程序可以用于 3D 建模。因为这几个因素让我觉得我可以为国家需要的科研做一些自己的贡献。

冒昧的写邮件给上海长海医院夏照帆院士，竟然第二天一早就得到了夏院士的回复，还鼓励我继续探索，在不影响学习的前提下去长海医院与医生病人交流。经过努力，我的小论文《三种人体 3D 建模方法及其在试样面积测量中的比较》有幸被 2017 年 10 月 26 日召开的“中华医学会烧伤外科学分会 2017 年学术年会”录取为书面交流文章。受烧伤学术年会上钟世镇资深院士的启发，查了 2016 年 10 月《The Lancet》上的文章《Hypertrophic scarring: the greatest unmet challenge after burn injury》，发现压力施加非常重要。我本次的论文就是探索压力疗法最优压力值的空间均一性问题。



过去的近一年中夏院士和罗鹏飞讲师/博士对我在运用三维技术解决生物医疗问题的探索研究上给予了极大的关心和细致的指导，我对于三维技术比较熟悉，也成功的研制了三维扫描设备解决了工具的问题，但对于运用这些工具和知识可以解决什么问题、烧伤治疗上还有哪些问题用三维技术可以更好的处理、如何按科学方法来探究这些问题却知之甚少，夏院士和罗博士给我指出了方向。

夏照帆（女）（1954.03.16- ）烧伤外科学专家。出生于福建省福州市，祖籍江苏省泰兴。1988年毕业于第二军医大学获医学博士学位。现任第二军医大学上海长海医院烧伤外科主任、全军烧伤研究所所长、中华医学会烧伤外科学分会前任主任委员。

夏照帆教授从医执教 38 年，致力于烧伤疾病的临床诊疗、教学和基础研究工作。20 世纪



80 年代首次证明烧伤休克细胞能量代谢障碍假说；率先发现皮肤成纤维细胞释放 IL-6 在烧伤后全身炎症反应中的重要作用；最早提出烧伤休克延迟复苏造成重要脏器损伤的三条病理途径；构建真皮替代模式突破传统植皮手术瓶颈，减少了供皮区损害，提高了瘢痕性关节功能不全恢复率；建立肺损伤系统控制技术，烧伤复合肺损伤的救治成功率领先国际。先后主持国际合作重大课题、国家科技支撑计划课题等 20 余项；获国家科技进步一等奖 1 项，二等奖 2 项，三等奖 1 项；获国家发明专利授权 8 项。近年来带领团队参与 30 余次重大事故和灾难性事件的烧创伤救治

任务，其高尚医德和精湛医术受到社会各界的高度赞扬。

2013 年当选中国工程院院士。

主要学历

起始年月	结束年月	院校	专业	学历	学位
1992-02	1994-03	美国 Texas 大学达拉斯西南医学中心	外科学（烧伤外科）		访问学者
1990-01	1992-02	美国 Texas 大学 Galveston 医学分院 Shriners 烧伤研究所、Shriners 儿童烧伤医院	外科学（烧伤外科）		访问学者
1985-01	1988-02	第二军医大学	外科学（烧伤外科）	博士研究生毕业	博士
1982-02	1984-12	第二军医大学	外科学（烧伤外科）	硕士研究生毕业	硕士
1972-09	1976-06	第一军医大学	临床医学	大学本科毕业	

注：以上资料摘自中国工程院网站

本参赛团队声明所提交的论文是在指导老师指导下进行的研究工作和取得的研究成果。尽本团队所知,除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外,论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。若有不实之处,本人愿意承担一切相关责任。

参赛队员: 詹林 指导老师: 夏照帆

2018年9月14日