

首都医科大学宣武医院

2021 年度国家自然科学基金青年培育项目

任 务 书

课题名称：顶椎复合体平行四边形效应对成人脊柱畸形代偿影响的生物力学机制研究

课题编号：QNPY2021018

所在科室：骨科

课题负责人：孙祥耀

联系方式：15624967325

起止年限：2022.1-2023.12

2021 年 10 月

基本信息：

申请人信息	姓 名	孙祥耀	性 别	男	出生年月	1990 年 11 月
	学 位	博士	职 称	医师	研究领域	骨科
	手 机	15624967325		电子邮件	sun.xiang.yao@163.com	
	工作年限	1				
	所在科室	骨科				
项目基本信息	课题名称	顶椎复合体平行四边形效应对成人脊柱畸形代偿影响的生物力学机制研究				
	资助期限	2022 年 1 月至 2023 年 12 月				
	申报类型	☒ 临床研究 ☐ 基础临床结合 ☐ 基础研究 ☐ 技术创新				
	资助经费	3 万元				
中文摘要 (限 400 字)	成人脊柱畸形（adult spinal deformity, ASD）的逐渐进展会引起脊柱的冠状位及矢状位失平衡，导致患者腰背部的疼痛以及运动功能的下降，继而严重影响患者的生活质量。严重的 ASD 需要脊柱长节段内固定椎体间融合术进行矫形治疗。ASD 的矫形治疗迫切需要能够综合分析 ASD 的椎体及周围软组织的三维特点并且符合生物力学原理的评估系统加以指导。而目前采用的评估系统无法准确评估 ASD 的三维畸形特点，并且缺乏生物力学研究加以支持。本研究拟将 ASD 顶椎复合体结构的平行四边形效应理论与生物力学实验相结合，模拟 ASD 的矫形手术，精确建立三维有限元分析（finite element analysis, FEA）模型，与动作测试结果相互验证，明确 ASD 的顶椎复合体在矫形术后对脊柱骨盆代偿的影响，为 ASD 患者的矫形策略提供生物力学机制研究基础。					
关键词	成人脊柱畸形，代偿机制，脊柱融合术，生物力学，有限元分析					

一、课题任务与目标、考核指标

1、 课题任务与目标: 1.1 目前 ASD 的矫形治疗迫切需要能够综合分析 ASD 的椎体及周围软组织的三维特点并且符合生物力学原理的评估系统加以指导。 1.2 采用人工智能技术对 ASD 患者的影像学信息进行处理，进而通过快速有限元技术模拟 ASD 患者的长节段脊柱融合矫形术治疗过程，将其与临床数据进行匹配，验证其有效性，并不断改良建模技术，促进快速 FEA 技术在 ASD 术前决策中的应用，能够实现医学工程学实验技术的临床应用转化。 2、考核指标（应完成的具体工作内容，可量化考核） 2.1 在国内外高水平核心期刊上发表 5 篇论文，其中 SCI 或 EI 收录 3 篇论文，国际会议成果展示 1 次。 2.2 明确可以用于指导临床诊疗的快速 FEA 建模分析方法。	
年度	考核指标
2022 年	将所获取的运动学数据进行分析，得出初步分析结果。获取有效的 FEA 脊柱模型，并对测试结果进行初步分析。基于上述数据，进行生物力学初步研究文章的撰写，国内外高水平核心期刊上发表 2 篇论文。
2023 年	对所获取的运动学数据进行分析，得出最终分析结果。运动学数据应用于 FEA 模型的验证，并根据验证结果改良快速 FEA 建模技术，并对测试结果进行综合分析。最终明确可以用于指导临床诊疗的快速 FEA 建模分析方法。联合软件技术人员对快速 FEA 技术进行软件开发，并进行初步测试。基于上述数据，进行生物力学综合数据分析研究文章的撰写，国内外高水平核心期刊上发表 3 篇论文。进行会议交流 1 次。

二、课题研究内容（可加页）

1、研究内容

1.1 探讨 ASD 患者长节段融合术后脊柱骨盆三维运动规律影响

纳入因 ASD 需行长节段融合术治疗的患者，在术前及术后 3 个月、6 个月、1 年使用 NDI 红外线动作捕捉设备测量胸椎，胸腰段，腰椎及骨盆在三维方向上的活动度，同时采用 X 线摄像机对受试者的脊柱全长正侧位 X 线片及脊柱过屈过伸位 X 线片进行拍摄，测量相关脊柱骨盆参数，比较各组受试者在不同节段活动度差异以及两组受试者节段活动度差异，分析 ASD 对脊柱骨盆运动的影响。

1.2 探讨 ASD 患者长节段融合术后顶椎复合体特点对脊柱骨盆代偿机制的影响

对上述纳入的 ASD 患者进行不同节段活动度的测试之后，将其结果用于 FEA 模型的验证。根据既往研究中的测试结果，设置各椎体节段，骨盆及其周围结构的材料学特性，为 FEA 模型分析所用。

对上述 ASD 患者的术前全脊柱 CT 平扫三维重建 DICOM 图片数据以及全脊柱 MRI 检查 DICOM 数据进行收集，纳入 FEA 分析软件，分别建立各位 ASD 患者的脊柱三维 FEA 模型。椎体包括皮质骨和松质骨；椎间盘包括胶原纤维，髓核和软骨终板；关节突关节包括关节突关节软骨及关节面；韧带包括前纵韧带、后纵韧带、棘间韧带、棘上韧带；肌肉包括腰大肌，竖脊肌和多裂肌。

计算各模型在受力状态下全脊柱活动度情况，将结果与术前 NDI 红外线动作捕捉设备测量结果进行对照，验证 ASD 脊柱模型的有效性。

在上述 ASD 的 FEA 模型有效的基础上，根据患者术后全脊柱 CT 平扫三维重建 DICOM 图片数据以及全脊柱 MRI 检查 DICOM 数据，对长节段脊柱融合矫形手术进行模拟。分析计算上述模型在受力状态下全脊柱活动度以及固定节段的上下邻近节段活动度情况。将结果与术后 NDI 红外线动作捕捉设备测量结果进行对照，验证 ASD 矫形术后模型的有效性。

对各 FEA 模型进行力学测试及分析，测试指标包括：（1）脊柱整体刚度和活动度；（2）钉棒内固定系统的应力分布；（3）各个内固定节段及上下邻近节段椎体、双侧椎旁肌和关节突关节的应力、应变；（4）上下邻近节段椎间盘的活动度、应力和应变；（5）加载过程中脊柱各椎体层面与骨盆之间的相对位移变化情况。

比较 ASD 长节段脊柱融合矫形术前及术后顶椎复合体结构变化对脊柱整体及邻近节段生物力学特性的影响。比较各个模型中脊柱整体刚度和活动度，钉棒内固定系统应力分

布，上下邻近节段椎体和双侧椎旁肌、关节突关节的应力、应变，上下邻近节段椎间盘的活动度、应力和应变情况，探讨 ASD 长节段脊柱融合矫形术后顶椎复合体结构对脊柱骨盆代偿的影响。

2、拟解决的关键科学问题

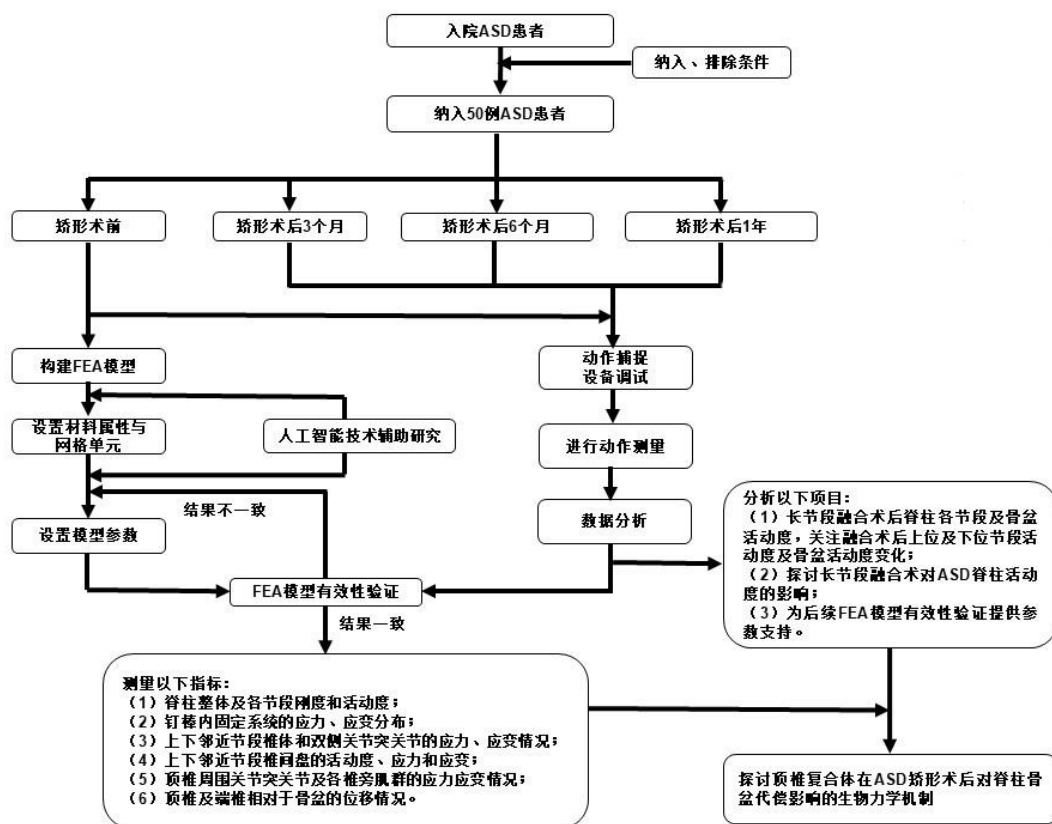
2.1 通过建立 ASD 患者的 FEA 模型，分析顶椎复合体结构变化对 ASD 脊柱整体的应力应变情况的影响，发现可能的脊柱骨盆代偿机制。

2.2 通过快速 FEA 技术模拟 ASD 的长节段脊柱融合术治疗过程，分析不同顶椎复合体处理情况下，内固定系统的应力应变情况，以及内固定邻近节段的应力应变情况及活动范围的改变，分析内固定相关并发症的发病风险，并推测顶椎复合体在 ASD 矫形术后对脊柱骨盆代偿的影响。

2.3 通过将获取的 ASD 矫形术后 NDI 红外线动作捕捉设备测量结果以及影像学参数变化情况与快速 FEA 技术进行匹配，对其有效性进行验证，并根据验证结果逐渐改进建模技术，从而推广其在 ASD 矫形策略制定中的应用。

三、课题技术路线与实施方案

1、总技术路线



2、试验方法与手段

2.1 探讨 ASD 患者长节段融合术后脊柱骨盆三维运动规律影响

(1) 纳入 ASD 患者的情况

a) 申请伦理批件与签署知情同意书

项目开始前向首都医科大学宣武医院伦理委员会申请伦理批件，每位符合纳入条件的患者在测量前签署知情同意书。

知情同意书签署程序如下：(1) 研究者向受试者报告所有研究内容以便受试者随时决定是否继续参加，受试者参加与否完全遵循自愿的原则；(2) 如实将受试者个人信息的储存、使用及保密措施情况告知受试者，未经授权不得将受试者个人信息向第三方透露；(3) 对受试者个人信息及相关资料采取保密措施，仅有研究实施者有相关权限查看受试者信息。

b) 样本量估计

首先使用 G Power 3.1 软件预估需入组样本量，将效应量设为 0.75，I 类错误概率 α 为 0.05，结合临床实际情况，将样本量设定为 50 例患者。

c) 纳入及排除标准

纳入标准：1) 冠状面 Cobb 角 $>10^\circ$ ；2) SVA $>5\text{cm}$ ；3) 年龄 >60 岁；4) 需要长节段脊柱融合术治疗；5) 脊柱畸形顶椎位于腰椎层面；6) 上位固定椎位于腰椎层面。

排除标准：1) 其他类型的脊柱侧凸；2) 脊柱创伤；3) 脊柱感染；4) 既往脊柱手术史。

(2) 使用设备

NDI 红外线动作捕捉设备，包含红外线摄像头及主机系统，通过红外线信号捕捉的附有反光材料的 Marker，通过获取 Marker 运动轨迹，进而计算各节段活动角度。其信号收集频率为 120Hz。

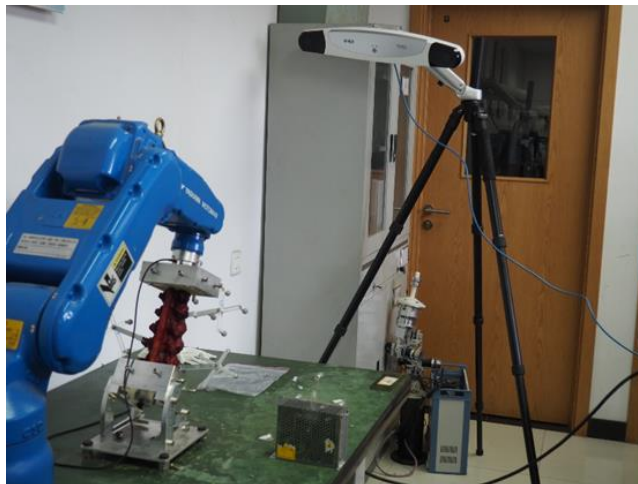


图 1 NDI 红外线动作捕捉设备，通过红外线信号捕捉的附有反光材料的 Marker 运动轨迹。

(3) Marker 放置

在 27°C 的实验条件下，受测者暴露上身，由实验人员通过触诊在体表标记 C7 棘突，T4 棘突，T7 棘突，T10 棘突，L1 棘突，L3 棘突，L5 棘突，S2 棘突，左髂后上棘及右髂后上棘。

(4) 动作测量

ASD 患者在矫形手术前及术后 3 个月、6 个月、1 年分别进行动作测量。在动作测量开始前，对 NDI 红外线动作捕捉设备进行校正。参考国际生物力学学会 (International

Society of Biomechanics, ISB) 坐标轴的建立方法如下 (图 2): Y 轴为椎体上下终板中点的连线, 指向头端; Z 轴与左右两侧椎弓根相同位置连线平行, 指向右侧; X 轴垂直于 Y 轴和 Z 轴组成的平面。原点为相邻两个椎体 Y 轴的交点, 但当椎体处于中立位时, 原点取相邻终板连线的中点。

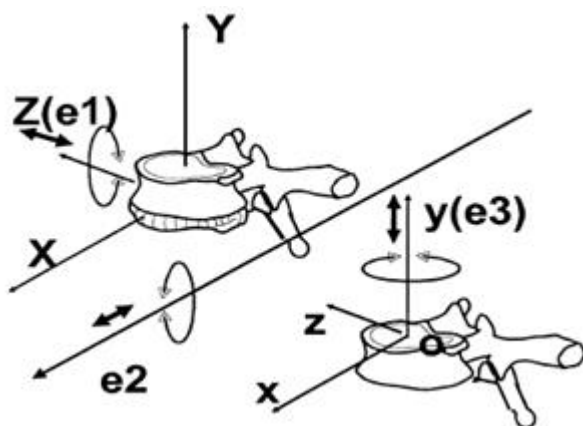


图 2 ISB 坐标轴的建立方法。

具体测量的动作如下:

a) 前屈后伸运动: 受试者双手自然下垂, 双足与肩同宽, 直立于平坦地面, 躯干屈曲时膝关节保持伸直, 屈曲至最大活动度后返回至直立站位, 随后继续后伸至最大活动度, 然后回至直立位。

b) 左右侧屈运动: 受试者双手自然下垂, 双足与肩同宽, 直立于平坦地面, 躯干右侧屈时膝关节保持伸直, 右侧屈至最大活动度后返回至直立站位, 随后以同样的方法左侧屈至最大活动度, 然后回至直立位。

c) 左右旋转运动: 受试者双手交叉置于胸前, 双足与肩同宽, 直立于平坦地面, 躯干右旋时膝关节保持伸直, 右旋至最大活动度后返回至直立站位, 随后以同样的方法左旋至最大活动度, 然后回至直立位。

(5) 数据处理

采用 Python 编程方法对原始数据进行处理, 首先采用 DH5923 动态信号测试分析系统对信号进行滤过处理, 截止频率设为 6Hz。将测量结果按照上胸椎 (C7-T4), 中胸椎 (T4-T7), 下胸椎 (T7-T10), 胸腰段 (T10-L1), 上腰椎 (L1-L3), 下腰椎 (L3-L5), 骶椎 (L5-S2) 分别计算各节段活动度, 各节段活动度为在活动中最大及最小角度差值。

(6) 数据分析

使用 STATA 14.0 (Stata Corp LP, College Station, Texas, USA) 进行统计学分析。计量资料以均数 ± 标准差 (standard deviation, SD) 表示。计量资料的正态性采用 Kolmogorov-Smirnov 检验进行分析。符合正态分布的数值采用单因素方差分析 (one-way analysis of variance, ANOVA) 或 t 检验。采用 Kruskal-wallis 检验分析偏态分布数值。以 P 值 < 0.05 为差异有统计学意义。比较分析术前及术后各时间点 ASD 各节段及骨盆活动度差异, 分析长节段融合术后脊柱各节段及骨盆活动度, 关注融合术后上位及下位节段活动度及骨盆活动度变化, 进而探讨长节段融合术对 ASD 脊柱活动度的影响, 并为后续 FEA 模型有效性验证提供参数支持。

2.2 探讨 ASD 患者长节段融合术后顶椎复合体特点对脊柱骨盆代偿机制的影响

(1) FEA 模型的构建

a) 将 ASD 患者的脊柱全长 CT 三维重建 DICOM 格式图像导入到 Mimics, 设置好上、下、左、右、前、后六个方位, 得到矢状面、冠状面、水平面三个平面的视图。进行阈值分割, 选择 HU 为 226~3071, 这是骨默认的 HU 范围。分别分割出 T10-骨盆层面的骨性结构, 通过 Python 编程技术, 自动填充其内部的空洞, 分割出各骨性结构的边界, 生成骨性结构的初步三维模型。根据初步三维模型, 针对椎体表面缺陷, 返回到三个平面视图边缘进行修补, 通过反复多次修补后得到相对平滑的椎体模型。使用平滑工具对椎体进行光滑处理, 以利于后期的网格划分。分别导出椎体三维模型的 stl 文件到 Geomagic Studio。

b) 在 Geomagic Studio 对 stl 模型进行造面操作。Stl 模型导入到 Geomagic Studio 中是三角面片, 软件中的“网格医生”检查后对许多三角面片提出了警告。因此, 需要对模型表面进行光顺处理, 使用软件中的“表面细化”功能, 对模型进行了两次 4 倍细化。然后在 Geomagic 中的“精确曲面”模块中, 使用自动造面功能, 将细化好的三角面片制造成数量少而有弯曲的四边形曲面片, 对象设置为生物体, 曲面片的数量由软件自动评估。完成之后, 将骨性结构模型导出成实体文件 IGES 文件。

c) 利用 Solidworks 画出椎间盘。将 Geomagic Studio 中得到的 T4-骨盆的 IGES 模型导入 Solidworks, 分别用样条曲线描出各间盘的上、下终板的轮廓, 拉伸样条曲线 0.5mm, 并进行分割操作。得到各间盘的上、下终板后, 对其进行放样, 得到上下终板之间的纤维环和髓核部分, 再通过分割得到纤维环和髓核。至此, T4-S1 各节段的椎间盘模型已经建立, 包括上终板、纤维环、髓核和下终板, 分别导出 IGES 文件。

d) 利用 Hypermesh 对椎体进行网格划分。Hypermesh 有强大的自动划分网格功能,

导入模型的 IGES 文件后，在 Hypermesh 中模型表现为 Surfaces，选中这些面元，先对椎骨表面自动划分二维面网格，网格类型为四边形。之后再用 Solids 功能，将封闭的曲面整体生成一个实体，然后利用 tetramesh 功能中的 volume mesh，对实体进行三维体网格的划分，网格类型为四面体。至此，模型网格划分完毕，导出 inp 文件到 ABAQUS。

2.3 材料属性与单元设置

为了更好的模拟腰椎的蠕变特性，采用多孔弹性和渗透性作为腰椎间盘髓核和纤维环的材料。骨结构和终板结构采用弹性属性，其材料属性如表 1 所示。由于髓核中 80%为水，因此承受压力时会发生渗透。表 1 出了各材料的初始渗透率和初始孔隙率。其中 k_0 和 e_0 是初始渗透系数和初始孔隙率， M 是经验系数，用以修正实验结果。本文模拟多孔饱和渗流，即饱和度始终为 1。孔隙压力包含总孔压力和超孔压力，本文采用超孔压力，无需定义初始孔压分布。选择 Soil 分析步瞬态分析自动时间步长，在“Edit Keywords”通过“initial condition type=ratio”定义初始渗透率和孔隙率。对椎间盘终板上表面设置外表面孔压边界条件，设置孔压为 0.1MPa。通过 TensorFlow 技术对 CT 图像进行识别，自动区分材料特点，并将对应的材料属性添加至 FEA 模型之中。

表 1 材料属性的设置

材料	弹性模量 (MPa)	泊松比	初始渗透率 K_0 ($1E-04m^4/Ns$)	初始孔隙 率 (e_0)	M
皮质骨	12000	0.3	-----	-----	-----
松质骨	100	0.2	577.35	0.29	-----
终板	3000	0.25	40.41	0.80	10
髓核	1.5	0.49	1.56	0.85	10
纤维环	2.5	0.40	1.56	0.71	12
韧带	非线性拉伸连接单元				

椎骨三维有限元模型的处理方法为：松质骨核心外面包裹着厚约 1.0mm 的皮质骨壳层，以 Solid 单元模拟，简化为连续、均匀和各向同性的线性材料。椎间盘模型由纤维环（胶原纤维和基质）和髓核组成。其中纤维环模拟为同源基质中包埋着大量胶原纤维，这些胶原纤维以十字交叉的形式排列为 3 层，它们与椎间盘平面呈平均 30° 的夹角；胶原纤维用 Link 非线性单元模拟，其材料特性为非线性；纤维环基质用 Solid 单元模拟，为连续、

均匀和各向同性的线性材料，髓核面积约为椎间盘面积的 50%，用 Solid 单元模拟为接近于流体的连续、均匀和各向同性的线性材料。软骨终板模型厚为 1.0mm，模拟为椎间盘的上、下表面。

关节突关节用 Solid 单元来模拟，平均分为 16 等份，相对应的小关节面之间的间隙为 1mm，小关节软骨用 Area 单元来模拟，厚度为 0.2mm，用 Link 非线性单元模拟无摩擦力、距离为 0.6mm 的相对运动的两个接触面。脊柱的韧带（前纵韧带、后纵韧带、棘间韧带、棘上韧带）用 Link 非线性单元模拟，其材料特性为非线性，即其弹性模量随着载荷的大小变化而改变。

将肌肉组织简化为非线性超弹性材料，在模型中简化空间线性四面体单元。其脂肪化情况通过人工智能 TensorFlow 技术对脊柱全长 MRI 轴位片中，各肌群的信号识别获取，明确各肌群解剖特点及材料学特性。最终数据导入到 Python 编程软件中，通过完全的 Lagrangian 方法，实现载荷增量求解，从而实现对肌肉组织应力应变情况的生物力学模拟。对长节段脊柱融合术进行模拟，椎弓根螺钉内固定的端椎选择于 ASD 的中立椎。而后路脊柱松解选择 Ponte 截骨术对操作节段的上位椎体下关节突和下位椎体上关节突的顶端部分进行切除，同时对黄韧带进行切除，截骨断端加压封闭。

2.4 三维有限元模型的参数校正和模型有效性验证

T10 层面以上的人体重量大约为体重 (G) 的 40%，人体上半身对脊柱产生的力矩 (M) 大约为 T10 上终板中心到重力线距离 (D) 与 N 的乘积 ($M=40\%G \times D$)。因此可以根据患者脊柱全长 X 线侧位片的影像学数据对 FEA 模型需要的加载力矩 M 进行运算。

FEA 模型建立好后，固定模型 T10 和骨盆，在 T10 椎体上终板表面，按照脊柱全长正侧位 X 线检查结构，施加力矩，大小为 M，方向与影像学检查结果一致。始终保持模型骨盆的固定，在 T10 椎体上终板分别向模型施加前屈、后伸和右旋转力矩，力矩大小均为 7Nm，在各个加载条件下分别测量各模型 T10/T11 至 L5/S1 节段的活动度。

将运动测试结果和 FEA 测试中 T10/T11 至 L5/S1 节段活动度进行对比，以运动测试结果验证 FEA 计算的结果，基于 Python 编程的 ABAQUS 二次开发技术，对 FEA 模型中各材料参数和力学加载条件进行修改和完善，通过调整 FEA 模型的参数，使 FEA 模型与实际情况保持一致，验证 FEA 模型的有效性。验证结果表明 FEA 模型有效，则其分析结果较为可靠。

2.5 测量 ASD 顶椎复合体变化对内固定系统及脊柱生物力学的影响

在 FEA 模型有效性得到验证的基础上，对各种有限元模型进行力学测试，分别测量术前及术后（1）脊柱整体及各节段刚度和活动度；（2）钉棒内固定系统的应力、应变分布；（3）上下邻近节段椎体和双侧关节突关节的应力、应变情况；（4）上下邻近节段椎间盘的活动度、应力和应变；（5）顶椎周围关节突关节及各椎旁肌群的应力应变情况；（6）顶椎及端椎相对于骨盆的位移情况。采用数据分析部分中描述的统计学方法对上述测量结果之间的差异进行分析。

四、预期研究成果（论文、成果、推广应用等）

- 1、对 ASD 顶椎复合体结构的平行四边形效应理论进行生物力学验证，并基于此理论对传统 ASD 评估系统进行改良。
- 2、通过建立 ASD 患者的 FEA 模型，分析不同顶椎复合体结构特点对 ASD 脊柱整体的应力应变情况的影响，发现可能的脊柱骨盆代偿机制。
- 3、通过快速 FEA 技术模拟 ASD 的长节段脊柱融合术治疗过程，分析不同顶椎复合体处理情况下，内固定系统的应力应变情况，以及内固定邻近节段的应力应变情况及活动范围的改变，分析内固定相关并发症的发病风险，并推测顶椎复合体在 ASD 矫形术后对脊柱骨盆代偿的影响。
- 4、通过本项目对快速 FEA 技术的建模过程进行进一步改良，从而实现医学工程学实验技术的临床应用转化。使快速 FEA 技术能够在 ASD 术前决策中加以应用，进而准确预测 ASD 术后的脊柱代偿情况，提高 ASD 的矫形效果。
- 5、在国内外高水平核心期刊上发表 5 篇论文，其中 SCI 或 EI 收录 3 篇论文，国际会议成果展示 1 次。

五、研究团队成员及分工

姓 名	性 别	年 龄	职 称	专 业	所在科室	任务分工	投入项目研究工作时长（月）	签字
孙祥耀	男	30	医师	骨外	骨科	研究策划，数据采集，数据分析，模型制作，文章撰写	6	
程静波	男	28	医师	骨外	骨科	数据采集，数据分析，文章撰写	6	
刘子雨	女	30	医师	消化内科	消化内科	数据采集，数据分析	6	
薛志刚	男	31	医师	普通外科	普通外科	数据采集，数据分析	6	

六、经费预算

资助总金额	总金额 3 万元，其中： 2022 年度 <u>2</u> 万元，2023 年度 <u>1</u> 万元
经费支出用途	1.1 材料费 购买红外线信号捕捉所需的被动式 Marker 反光标记软球，50 个×100 元/个，合计 0.5 万元；建模所需的椎弓根螺钉，10 个×500 元/个，合计 0.5 万元。 1.2 测试加工费 分析受试者动作测量参数，150 次×10 元/次，合计 0.15 万元；分析有限元模型数据，150 次×10 元/次，合计 0.15 万元。 1.3 出版/文献/信息传播/知识产权事务费 需要支付的课题相关论文版面费，预计发表高质量 SCI 论文 3 篇×2000 元/篇，统计源论文 2 篇×5000 元/篇，合计 0.7 万元。 2. 2023 年度 2.1 测试加工费 分析受试者动作测量参数，50 次×10 元/次，合计 0.05 万元；分析有限元模型数据，50 次×10 元/次，合计 0.05 万元。 2.2 出版/文献/信息传播/知识产权事务费 需要支付的课题相关论文版面费，预计发表高质量 SCI 论文 1 篇×3000 元/篇，统计源论文 1 篇×1000 元/篇，合计 0.4 万元。 2.3 作交流费 课题组研究人员参加课题相关学术会议注册费 5000 元/次×1 次，合计 0.5 万元。

经费使用说明：

1、材料费：是指在项目实施过程中消耗的各种原材料、辅助材料等低值易耗品的采购及运输、装卸、整理等费用。

2、测试化验加工费：是指在项目实施过程中由于承担单位自身的技术、工艺和设备等条件的限制，委托或与外单位合作（包括项目承担单位内部独立核算单位）进行的检验、测试、化验、加工、试验、设计、制作、数据处理与分析等费用。测试化验加工费不超过总经费（不含其他来源）的 50%。

3、差旅费：是指在项目实施过程中参加学术会议、开展科学实验（试验）、科学考察、业务调研、学术交流等所发生的会议注册费、城市间交通费、住宿费、伙食补助费。（本市出租车费不予报销）

4、出版/文献/信息传播/知识产权事务费：是指在项目实施过程中，需要支付的出版费、资料及印刷费、专用软件购买费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用。

5、咨询费：是指在项目实施过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用。专家咨询费不得支付给参与项目研究及管理相关的工作人员。

6、其他费用：是指项目研究开发过程中发生除上述费用之外的其他支出，例如受试者补助，需有明确的用途，受试费每人每次不超过 300 元。

（注：

①自 2021 年开始，国自然青年培育项目经费采用“包干制”，各科目经费基本不限定使用上线，负责人可根据研究实际情况支出（具体可列支科目见上）；

②国自然青年培育项目经费不单独设立经费本，项目负责人可持有效发票到科研处直接报销即可）

七、申请者所在科室意见

如同意以下条款，请科（室）主任签字

- 1.同意此课题列为我科的科研任务；
- 2.我科基本具备完成此课题的条件；
- 3.保证给予人力和物力的支持，并给予相应的时间保障；
- 4.我对该课题负有监督和保障的责任，保证课题按计划和预期目标完成。

科（室）主任签字： 年 月 日

八、课题负责人须知条款

- 1.保证按照课题任务书的任务计划执行；
- 2.课题研究内容、目标、进度等计划原则上不作更改。在执行过程中，如有特殊原因需变动时，须及时向科研处提出书面申请，经批准同意后方可变更
- 3.遵守医院科研课题及经费的管理规定，按时填报《科研课题计划执行情况报告表》
- 4.违反以上条款将减发直至停止使用课题经费

课题负责人签字: _____ 年 月 日