



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117253621 B

(45) 授权公告日 2024.03.01

(21) 申请号 202311532026.6

G06N 3/0464 (2023.01)

(22) 申请日 2023.11.17

G06N 3/08 (2023.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 117253621 A

(56) 对比文件

US 2003208190 A1, 2003.11.06

US 2023034092 A1, 2023.02.02

CN 111553402 A, 2020.08.18

CN 113378414 A, 2021.09.10

CN 115530749 A, 2022.12.30

US 2014379268 A1, 2014.12.25

US 2022207218 A1, 2022.06.30

US 2023036691 A1, 2023.02.02

(43) 申请公布日 2023.12.19

(73) 专利权人 北京市眼科研究所

地址 100005 北京市东城区后沟胡同17号

专利权人 首都医科大学附属北京同仁医院
北京天明眼科新技术开发公司

吴晋芳等.角膜塑形镜控制近视原理的探讨.中国斜视与小儿眼科杂志.2022,全文.

Fang JX等.machine learning for predicting the treatment effect of orthokeratology in children.frontiers in pediatrics.2023,10全文. (续)

(72) 发明人 吴晋芳 金子兵 陈文 王楚灿

(74) 专利代理机构 北京聿宏知识产权代理有限公司 11372

专利代理师 胡晓男 吴昊

审查员 田静

(51) Int.Cl.

G16H 50/50 (2018.01)

A61B 3/107 (2006.01)

G16H 20/40 (2018.01)

G06T 17/10 (2006.01)

G06T 17/20 (2006.01)

权利要求书2页 说明书12页 附图4页

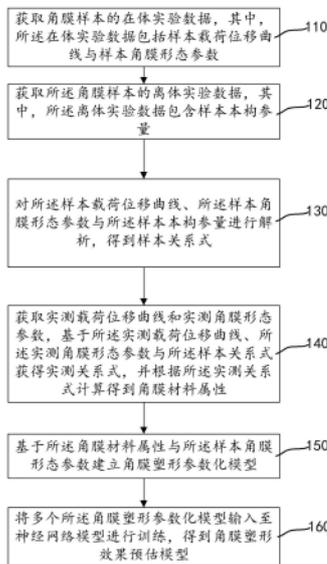
(54) 发明名称

角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质

从而实现对角膜塑形术后角膜形态实现精准预估。

(57) 摘要

本发明涉及一种角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质,该方法包括:获取角膜样本的在体实验数据;获取角膜样本的离体实验数据;对样本载荷位移曲线、样本角膜形态参数与样本本构参量进行解析,得到样本关系式;获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于实测载荷位移曲线、实测角膜形态参数与样本关系式获得实测关系式,并根据实测关系式计算得到角膜材料属性;基于角膜材料属性与样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型;将多个角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。如此,通过角膜塑形效果预估模型获得个性化的角膜材料属性,



CN 117253621 B

[接上页]

(56) 对比文件

孟乔宇;王晓君;陈维毅;李晓娜;贺瑞

.Corvis ST检测在体角膜生物力学性能的有限元模拟.生物医学工程学杂志.2020,(04),全文.

1. 一种角膜塑形效果预估方法,其特征在于,包括:

获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;

获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;

基于所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量逆向建模分析,不断贴合所述样本载荷位移曲线,得到样本关系式;

获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数与所述样本关系式获得实测关系式,将所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数输入所述实测关系式中,计算得到角膜材料属性;

获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;

基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型;

将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型,其中,输入参数包括几何形状、载荷大小、材料属性、边界条件和人口统计学参数,输出参数包括角膜塑形效果,所述角膜塑形效果为对角膜塑形术后角膜形态的预估效果;

所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤包括:

获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对所述图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;

获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型;

获取全眼球模型;

结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型,将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。

2. 根据权利要求1所述的角膜塑形效果预估方法,其特征在于,所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤之后,还包括:

获取临床人眼在体数据,并根据所述临床人眼在体数据对所述角膜塑形参数化模型进行验证;

通过变动所述角膜塑形参数化模型的参数数据,生成多个训练样本数据;

基于多个所述训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。

3. 根据权利要求1所述的角膜塑形效果预估方法,其特征在于,该方法还包括:

获取待测角膜参数,将所述待测角膜参数输入至所述角膜塑形效果预估模型进行解析,得到角膜塑形效果。

4. 根据权利要求2所述的角膜塑形效果预估方法,其特征在于,所述通过变动角膜塑形参数化模型的参数数据,生成训练样本数据的步骤之后,还包括:

对所述训练样本数据分割,生成训练集、验证集以及测试集。

5. 根据权利要求4所述的角膜塑形效果预估方法,其特征在于,所述将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型的步骤之后,还包括:

基于所述训练集对神经网络模型进行训练;

通过所述验证集和所述测试集进行模型调整与能力评估。

6. 一种角膜塑形效果预估装置,其特征在于,包括:

实验数据获取模块,用于获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;并获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;

材料属性获取模块,用于基于所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量逆向建模分析,不断贴合所述样本载荷位移曲线,得到样本关系式;获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,将所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数输入所述样本关系式后获得实测关系式,将所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数输入所述实测关系式中,计算得到角膜材料属性;

模型获取模块,用于获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型,并将角膜塑形参数化模型输入神经网络模型进行训练,以得到角膜塑形效果预估模型,其中,输入参数包括几何形状、载荷大小、材料属性、边界条件和人口统计学参数,输出参数包括角膜塑形效果,所述角膜塑形效果为对角膜塑形术后角膜形态的预估效果;所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤包括:获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对所述图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型;获取全眼球模型;结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型,将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。

7. 一种计算机设备,包含存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至5中任一项所述方法的步骤。

8. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至5中任一项所述的方法的步骤。

角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及角膜塑形预估技术领域,特别是涉及一种角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质。

背景技术

[0002] 近视是最常见的屈光不正类型,除造成视物模糊外,更会增加白内障、青光眼、视网膜眼底病变等失明性疾病发生率,已成为严重的公共卫生问题。目前,角膜塑形术可利用逆几何设计的角膜塑形镜改变角膜形态,已成为控制近视最有效的手段之一。角膜塑形术的效果受到多种因素的综合作用,并最终体现为角膜形态的改变进而影响屈光度、视力、周边离焦量和高阶像差等,从而对近视进展产生控制效果。

[0003] 相关技术中,角膜塑形术控制近视进展的效果存在显著个体差异,因此需在角膜塑形术前精准预估角膜塑形术后的角膜形态学参数。目前,少数研究利用有限元方法预测角膜塑形术后角膜形态学参数的变化,仅采用人群均值设置的角膜材料属性、眼睑压力和泪液的液压膜力。其中,角膜材料属性在患者中变动较大,是影响角膜塑形术效果的核心力学因素。

[0004] 然而,受限于目前的技术手段,目前已建立的有限元模型由于难于获取个性化的角膜材料属性,均难以实现对角膜塑形术后角膜形态的精准预估。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对上述问题,提供一种角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质。

[0006] 一种角膜塑形效果预估方法,包括:

[0007] 获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;

[0008] 获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;

[0009] 对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析,得到样本关系式;

[0010] 获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数与所述样本关系式获得实测关系式,并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性;

[0011] 基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型;

[0012] 将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。

[0013] 在其中一个实施例中,该方法还包括:

[0014] 获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;

[0015] 所述基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型

的步骤包括：

[0016] 基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型。

[0017] 在其中一个实施例中，所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤包括：

[0018] 获取角膜塑形镜在眼的图像信息，并对所述图像信息分割边界，从而划分塑形镜片模型；

[0019] 获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量，基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型；

[0020] 获取全眼球模型；

[0021] 结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型，将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型，得到角膜塑形参数化模型。

[0022] 在其中一个实施例中，所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤之后，还包括：

[0023] 获取临床人眼在体数据，并根据所述临床人眼在体数据对所述角膜塑形参数化模型进行验证；

[0024] 通过变动所述角膜塑形参数化模型的参数数据，生成多个训练样本数据；

[0025] 基于多个所述训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型，以得到多个角膜塑形参数化模型。

[0026] 在其中一个实施例中，该方法还包括：

[0027] 获取待测角膜参数，将所述待测角膜参数输入至所述角膜塑形效果预估模型进行解析，得到角膜塑形效果。

[0028] 在其中一个实施例中，所述通过变动角膜塑形参数化模型的参数数据，生成模型训练样本数据的步骤之后，还包括：

[0029] 对所述模型训练样本数据分割，生成训练集、验证集以及测试集。

[0030] 在其中一个实施例中，所述将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练，得到角膜塑形效果预估模型的步骤之后，还包括：

[0031] 基于所述训练集对神经网络模型进行训练；

[0032] 通过所述验证集和所述测试集进行模型调整与能力评估。

[0033] 一种角膜塑形效果预估装置，包括：

[0034] 实验数据获取模块，用于获取角膜样本的在体实验数据，其中，所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数；并获取所述角膜样本的离体实验数据，其中，所述离体实验数据包含样本本构参量；

[0035] 材料属性获取模块，用于对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析，得到样本关系式；获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数，将所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数输入所述样本关系式后获得实测关系式，并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性；

[0036] 模型获取模块，用于建立角膜塑形参数化模型，并将角膜塑形参数化模型输入神

神经网络模型进行训练,以得到角膜塑形效果预估模型。

[0037] 一种计算机设备,包含存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一实施例中所述方法的步骤。

[0038] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一实施例中所述的方法的步骤。

[0039] 上述角膜塑形效果预估方法、装置、计算机设备和存储介质,通过获取实测关系式,根据实测关系式得到角膜材料属性,基于角膜材料属性建立角膜塑形参数化模型,将多个角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。如此,通过角膜塑形效果预估模型获得个性化的角膜材料属性,从而实现对角膜塑形术后角膜形态的精准预估,本方法具有易于实现快速获得角膜塑形效果预估,可应用于临床的角膜塑形术效果预估的效果。

附图说明

[0040] 图1为一实施例的角膜塑形术效果预估方法的流程框图;

[0041] 图2为获取实测关系式的流程图;

[0042] 图3为压平示意图及不同压痕速率下正切模量变化的示意图;

[0043] 图4为角膜的区域性划分示意图及周边弧区压痕位置的示意图;

[0044] 图5为一个实施例中计算机设备的内部结构图;

[0045] 图6为一个实施例中的角膜塑形术效果预估装置的结构框图。

具体实施方式

[0046] 为了便于理解本申请,为使本申请的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本申请的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本申请,附图中给出了本申请的较佳实施方式。但是,本申请可以以许多不同的形式来实现,并不限于本文所描述的实施方式。相反地,提供这些实施方式的目的是使对本申请的公开内容理解的更加透彻全面。本申请能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本申请内涵的情况下做类似改进,因此本申请不受下面公开的具体实施例的限制。

[0047] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本申请的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。在本申请的描述中,“若干”的含义是至少一个,例如一个,两个等,除非另有明确具体的限定。

[0048] 需要说明的是,当元件被称为“固定于”另一个元件,它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件,它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的,并不表示是唯一的实施方式。

[0049] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中所使用的术语只是为了描述具体的实施方式的目

的,不是旨在于限制本申请。本文所使用的术语“及/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0050] 实施例一

[0051] 本实施例中,如图1所示,提供了一种角膜塑形效果预估方法,该方法包括:

[0052] 步骤110,获取角膜样本的在体实验数据,其中,在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数。

[0053] 本实施例中,角膜样本为日本兔的兔眼角膜,在实际应用中,也可为大鼠、小鼠、狗、猫、仔猪等。通过收集若干个角膜样本,将若干个角膜样本均分成两份,一份作为实验样本集,另一份作为验证样本集,其中实验样本集内的样本用于进行在体实验。在对角膜样本进行在体实验时,通过角膜测量仪对角膜样本进行分区域在体测量,具体地,通过对角膜样本依次进行在体角膜测量仪测量与在体角膜地形图测量,从而获得样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数。

[0054] 步骤120,获取角膜样本的离体实验数据,其中,离体实验数据包含样本本构参量。

[0055] 在进行在体实验后,对角膜样本进行离体实验,并且在实际应用中,可以先进行在体实验,再对角膜样本进行离体处理后进行离体实验,亦或者,将实验样本集均分成两份,其中一份实验样本集进行在体实验,另一份实验样本集进行离体实验,此处不多加限定。在进行离体实验时,通过对角膜样本依次进行角膜膨胀实验与角膜纳米压痕实验,从而获得样本本构参量与样本本构参量比。获取角膜样本的离体实验数据之后,基于离体实验数据求解角膜样本的本构方程,得到若干样本本构参量;对若干所述样本本构参量进行解析,以探索样本本构参量的分布规律。

[0056] 步骤130,对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析,得到样本关系式。

[0057] 本实施例中,在获得样本载荷位移曲线、样本角膜形态参数以及样本本构参量后,基于样本角膜形态参数与样本本构参量逆向建模分析,不断贴合样本载荷位移曲线,通过有限元模拟建立样本载荷位移曲线、样本角膜形态参数以及样本本构参量的样本关系式。例如,样本关系式通过 $aX+bY=Z$ 计算获得,其中, X 为样本载荷位移曲线, Y 是样本角膜形态参数, Z 是样本本构参量,在已知样本载荷位移曲线、样本角膜形态参数与样本本构参量后,求解得到 a 与 b ,从而得到样本关系式。

[0058] 步骤140,获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数与所述样本关系式获得实测关系式,并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性。

[0059] 本实施例中,利用临床人眼在体测量数据获得实测载荷位移曲线和所述实测角膜形态参数,并分析实测载荷位移曲线、实测角膜形态参数与样本关系式从而获得实测关系式,通过将实测载荷位移曲线、实测角膜形态参数输入实测关系式中,得到人眼角膜的角膜材料属性。例如,人眼角膜的角膜材料属性通过 $ax+by=z$ 计算得到,其中, x 为实测载荷位移曲线, y 为实测角膜形态参数, z 为角膜材料属性,如样本关系式中已得知 a 与 b 的具体值,将实测载荷位移曲线、实测角膜形态参数输入实测关系式,从而计算得到人眼角膜的角膜材料属性。此外,通过对验证样本集中角膜样本进行在体实验与离体实验,得到角膜样本的测量数据,此外,获取临床人眼在体测量数据,通过临床人眼在体测量数据与验证样本集中角

膜样本的测量数据对实测关系式进行验证并优化。

[0060] 步骤150,基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型。

[0061] 本实施例中,在获得人眼角膜的角膜材料属性后,基于角膜材料属性与样本角膜形态参数构建角膜塑形参数化模型。在建立角膜塑形参数化模型后,通过改变输入的参数数据即可高效快捷地实现模型修改,提升有限元建模的效率和质量。

[0062] 步骤160,将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。

[0063] 本实施例中,在获得多个角膜塑形参数化模型的基础上,建立合适的神经网络模型。此处的神经网络模型为深度卷积神经网络模型,相比于传统的机器学习方法,深度卷积神经网络模型具有更强大的特征提取能力和更高的计算效率,因此在图像分类、语音识别、自然语言处理等领域得到了广泛应用。随后将多个角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,从而得到角膜塑形效果预估模型。

[0064] 上述实施例中,通过获取实测关系式,根据实测关系式得到角膜材料属性,基于角膜材料属性建立角膜塑形参数化模型,将多个角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。如此,通过角膜塑形效果预估模型获得个性化的角膜材料属性,从而实现对角膜塑形术后角膜形态的精准预估,本方法具有易于实现快速获得角膜塑形效果预估,可应用于临床的角膜塑形术效果预估的效果。

[0065] 在一个实施例中,一种角膜塑形效果预估方法还包括:

[0066] 获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;

[0067] 所述基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型的步骤包括:

[0068] 基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型。

[0069] 通过眼睑压力测量装置对角膜塑形镜进行测量,以得到角膜塑形镜的区域性眼睑压力,此处可通过现有的眼睑压力测量装置对角膜塑形镜进行测量。在得到角膜塑形镜的区域性眼睑压力后,建立眼睑压力参数化模型,基于角膜材料属性与区域性眼睑压力施加载荷,再建立角膜塑形参数化模型。

[0070] 在一个实施例中,所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤包括:

[0071] 获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;

[0072] 获取角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于塑形镜片模型与杨氏模量建立镜片有限元模型;

[0073] 获取全眼球模型;

[0074] 结合镜片有限元模型与全眼球模型得到中间有限元模型,将角膜材料属性与区域性眼睑压力输入至中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。

[0075] 在实际应用中,利用高分辨率眼前节相干光断层成像技术(OCT)获取角膜塑形镜在眼的三维图像,基于U-NET网络的智能化分割算法分割边界,利用六面体单元划分塑形镜

片模型。此处,U-Net网络是一种卷积神经网络,专门应用于生物医学影像领域。随后,获取杨氏模量,本实施例中,杨氏模量与角膜塑形镜的硬度相关,即根据角膜塑形镜的镜片公布的硬性材料设置杨氏模量,并基于塑形镜片模型与杨氏模量建立镜片有限元模型。

[0076] 获取全眼球模型的过程中,可基于Abaqus编写全眼球有限元模型,此处的Abaqus是一款有限元分析软件,其广泛用于各种工程模拟,此处不多加赘述。在获取全眼球模型的过程中,通过采用非线性六面体划分网格,眼内压以液体腔模拟,基于眼前节分析系统(Pentacam)导出个性化人眼角膜高度矩阵,使用人群均值设置巩膜材料属性、泪液厚度和液压膜力,从而对全眼球有限元模型进行参数设置以得到全眼球模型。此后,结合镜片有限元模型、全眼球模型与眼睑压力参数化模型,可以理解为假设的将角膜塑形镜装配于眼球,镜片有限元模型与全眼球模型结合得到中间有限元模型,此时,将角膜材料属性与区域性眼睑压力输入至中间有限元模型,从而得到角膜塑形参数化模型。

[0077] 在一个实施例中,所述基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型的步骤之后,还包括:

[0078] 获取临床人眼在体数据,并根据临床人眼在体数据对角膜塑形参数化模型进行验证;

[0079] 通过变动角膜塑形参数化模型的参数数据,生成多个训练样本数据;

[0080] 基于多个训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。

[0081] 本实施例中,通过对门诊患者接受角膜塑形术前后进行眼睑压力测量装置检查,获取临床人眼在体数据,此处的临床人眼在体数据为区域性眼睑压力。根据临床人眼在体数据对角膜塑形参数化模型进行验证,验证方式为将临床实测角膜塑形效果与角膜塑形参数化模型得出的理想角膜塑形术后形态进行比较,当角膜塑形参数化模型验证成功后,通过变动角膜塑形参数化模型的参数数据,以生成多个训练样本数据。基于多个训练样本数据,并将多个训练样本数据输入角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。

[0082] 在一个实施例中,一种角膜塑形效果预估方法还包括:

[0083] 获取待测角膜参数,将待测角膜参数输入至角膜塑形效果预估模型进行解析,得到角膜塑形效果。

[0084] 本实施例中,待测角膜参数包括几何形状、载荷大小、材料属性、边界条件和人口统计学参数等,在实际应用中,将角膜塑形参数化模型中的几何形状、载荷大小、材料属性、边界条件和人口统计学参数作为输入参数输入至角膜塑形效果预估模型,即可输出角膜塑形效果。如此,本实施例的方法具有易于实现快速获得角膜塑形效果预估,可应用于临床的角膜塑形术效果预估。

[0085] 在一个实施例中,所述通过变动角膜塑形参数化模型的参数数据,生成训练样本数据的步骤之后,还包括:

[0086] 对训练样本数据分割,生成训练集、验证集以及测试集。

[0087] 本实施例中,需要说明的是,此处的对训练样本数据进行分割的方式可采取现有技术中的分割方式实现。

[0088] 在一个实施例中,所述将多个角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型的步骤之后,还包括:

[0089] 基于训练集对神经网络模型进行训练;

[0090] 通过验证集和测试集进行模型调整与能力评估。

[0091] 本实施例中,在生成训练集、验证集以及测试集后,通过训练集对神经网络模型进行训练。在多次训练后,将验证集和测试集输入神经网络模型,以对神经网络模型进行模型调整与能力评估。

[0092] 应该理解的是,虽然图1的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示,但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明,这些步骤的执行并没有严格的顺序限制,这些步骤可以以其它的顺序执行。而且,图1中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段,这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成,而是可以在不同的时刻执行,这些子步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行,而是可以与其它步骤或者其它步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

[0093] 实施例二

[0094] 本实施例中,如图2至图4所示,首先对角膜材料属性获取:通过一种新型的角膜压痕系统CID对兔眼角膜进行分区域在体测量,获取各区域角膜的载荷位移曲线,并测量角膜的形态学参数,对不同力学属性的角膜生物力学行为进行表征;具体流程如下:1) 离体实验依次进行传统角膜膨胀实验和纳米压痕实验求解角膜本构方程,初步探索角膜生物力学本构参量的分布规律,为有限元模拟CID在体测量提供初始值设置;2) 通过有限元模拟建立兔角膜CID载荷位移曲线、形态参数与生物力学本构参量的关系式。3) 利用关系式分析临床实测载荷位移曲线和形态参数计算获得人眼角膜的本构参量。4) 再利用临床数据进行验证与优化,最终获取临床实测载荷位移曲线和形态学参数与人眼角膜本构参量的函数关系式,完成在体角膜生物力学分布图的构建。

[0095] 随后,进行有限元模型构建:

[0096] 利用高分辨率眼前节相干光断层成像技术OCT获取角膜塑形镜在眼的三维图像,基于U-NET网络的智能化分割算法分割边界,利用六面体单元划分塑形镜片网路模型。根据镜片公布的硬性材料设置杨氏模量,建立角膜塑形镜有限元模型。

[0097] 基于Abaqus编写全眼球有限元模型:采用非线性六面体划分网格,眼内压以液体腔模拟,基于角膜地形图Pentacam导出个性化人眼角膜高度矩阵,使用人群均值设置巩膜材料属性、泪液厚度和液压膜力。

[0098] 装配镜片和眼球,基于前部分获取的角膜材料属性和区域性眼睑压力施加载荷,获取角膜塑形的最终效果。并建立参数化有限元模型,即通过改变参数尺寸高效快捷的实现模型修改,提升有限元建模的效率和质量。

[0099] 纳入眼视光门诊拟接受角膜塑形术患者300名,接受角膜塑形术前后依次进行Pentacam、CID、自主研发的眼睑压力测量系统检查。将临床实测角膜塑形效果与理想角膜塑形术后形态进行比较,对该参数化有限元模型进行验证。验证优化后的有限元模型通过镜片参数扰动,生成另外3万个神经网络参数化有限元模型训练样本数据并进行训练集、验证集及测试集分割。

[0100] 然后,进行深度卷积神经网络模型构建:

[0101] 在大量参数化有限元模型的基础上,建立合适的深度卷积神经网络模型,将多模态数据包括参数化有限元模型中的几何形状、载荷大小、材料属性、边界条件和人口统计学

参数作为输入参数,角膜塑形效果作为输出参数,训练神经网络,经过多轮迭代直至收敛。通过验证集和测试集进行模型调整和泛化能力评估。深度卷积神经网络易于实现快速获得角膜塑形效果预估,可应用于临床的角膜塑形术效果预估。

[0102] 实施例三

[0103] 本实施例中,如图6所示提供了一种角膜塑形效果预估装置,该装置包括:

[0104] 实验数据获取模块310,用于获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;并获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;

[0105] 材料属性获取模块320,用于对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析,得到样本关系式;获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,将所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数输入所述样本关系式后获得实测关系式,并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性;

[0106] 模型获取模块330,用于建立角膜塑形参数化模型,并将角膜塑形参数化模型输入神经网络模型进行训练,以得到角膜塑形效果预估模型。

[0107] 在一个实施例中,该装置还包括:

[0108] 眼睑压力获取模块,用于获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力。

[0109] 在一个实施例中,模型获取模块330还用于基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型。

[0110] 在一个实施例中,模型获取模块330包括:

[0111] 塑形镜模型获取单元,用于获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对所述图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;

[0112] 镜片获取单元,用于获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型;

[0113] 眼球模型获取单元,用于获取全眼球模型;

[0114] 角膜塑形模型获取单元,用于结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型,将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。

[0115] 在一个实施例中,模型获取模块330还包括:

[0116] 模型验证单元,用于获取临床人眼在体数据,并根据所述临床人眼在体数据对所述角膜塑形参数化模型进行验证;

[0117] 训练样本生成单元,用于通过变动所述角膜塑形参数化模型的参数数据,生成多个训练样本数据;

[0118] 模型训练单元,用于基于多个所述训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。

[0119] 在一个实施例中,模型获取模块330还包括:

[0120] 效果获取单元,用于获取待测角膜参数,将所述待测角膜参数输入至所述角膜塑形效果预估模型进行解析,得到角膜塑形效果。

[0121] 在一个实施例中,模型获取模块330还包括:

[0122] 数据分割单元,用于对所述训练样本数据分割,生成训练集、验证集以及测试集。

[0123] 在一个实施例中,模型获取模块330还包括:

[0124] 神经网络训练单元,用于基于所述训练集对神经网络模型进行训练;

[0125] 模型调整单元,用于通过所述验证集和所述测试集进行模型调整与能力评估。

[0126] 关于角膜塑形效果预估装置的具体限定可以参见上文中对于角膜塑形效果预估方法的限定,在此不再赘述。上述角膜塑形效果预估装置中的各个单元可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各单元可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个单元对应的操作。

[0127] 实施例四

[0128] 本实施例中,提供了计算机设备。其内部结构图可以如图5所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口、显示屏和输入装置。其中,该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质、内存存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序,且该非易失性存储介质部署有数据库,该数据库用于存储在体实验数据和离体实验数据。该内存存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的网络接口用于与部署了应用软件的其他计算机设备通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种角膜塑形效果预估方法。该计算机设备的显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏,该计算机设备的输入装置可以是显示屏上覆盖的触摸层,也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板,还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

[0129] 本领域技术人员可以理解,图5中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0130] 在一个实施例中,提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,该存储器存储有计算机程序,该处理器执行计算机程序时实现以下步骤:

[0131] 获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;

[0132] 获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;

[0133] 对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析,得到样本关系式;

[0134] 获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数与所述样本关系式获得实测关系式,并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性;

[0135] 基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型;

[0136] 将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。

[0137] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:

[0138] 获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;

[0139] 基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型。

- [0140] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:
- [0141] 获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对所述图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;
- [0142] 获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型;
- [0143] 获取全眼球模型;
- [0144] 结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型,将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。
- [0145] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:
- [0146] 获取临床人眼在体数据,并根据所述临床人眼在体数据对所述角膜塑形参数化模型进行验证;
- [0147] 通过变动所述角膜塑形参数化模型的参数数据,生成多个训练样本数据;
- [0148] 基于多个所述训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。
- [0149] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:
- [0150] 获取待测角膜参数,将所述待测角膜参数输入至所述角膜塑形效果预估模型进行解析,得到角膜塑形效果。
- [0151] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:
- [0152] 对所述训练样本数据分割,生成训练集、验证集以及测试集。
- [0153] 在一个实施例中,处理器执行计算机程序时还实现以下步骤:
- [0154] 基于所述训练集对神经网络模型进行训练;
- [0155] 通过所述验证集和所述测试集进行模型调整与能力评估。
- [0156] 实施例五
- [0157] 本实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现以下步骤:
- [0158] 获取角膜样本的在体实验数据,其中,所述在体实验数据包括样本载荷位移曲线与样本角膜形态参数;
- [0159] 获取所述角膜样本的离体实验数据,其中,所述离体实验数据包含样本本构参量;
- [0160] 对所述样本载荷位移曲线、所述样本角膜形态参数与所述样本本构参量进行解析,得到样本关系式;
- [0161] 获取实测载荷位移曲线和实测角膜形态参数,基于所述实测载荷位移曲线、所述实测角膜形态参数与所述样本关系式获得实测关系式,并根据所述实测关系式计算得到角膜材料属性;
- [0162] 基于所述角膜材料属性与所述样本角膜形态参数建立角膜塑形参数化模型;
- [0163] 将多个所述角膜塑形参数化模型输入至神经网络模型进行训练,得到角膜塑形效果预估模型。
- [0164] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:
- [0165] 获取角膜塑形镜的区域性眼睑压力;

[0166] 基于所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力建立角膜塑形参数化模型。

[0167] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:

[0168] 获取角膜塑形镜在眼的图像信息,并对所述图像信息分割边界,从而划分塑形镜片模型;

[0169] 获取所述角膜塑形镜与硬度相关的杨氏模量,基于所述塑形镜片模型与所述杨氏模量建立镜片有限元模型;

[0170] 获取全眼球模型;

[0171] 结合所述镜片有限元模型与所述全眼球模型得到中间有限元模型,将所述角膜材料属性、所述样本角膜形态参数与所述区域性眼睑压力输入至所述中间有限元模型,得到角膜塑形参数化模型。

[0172] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:

[0173] 获取临床人眼在体数据,并根据所述临床人眼在体数据对所述角膜塑形参数化模型进行验证;

[0174] 通过变动所述角膜塑形参数化模型参数数据,生成多个训练样本数据;

[0175] 基于多个所述训练样本数据输入所述角膜塑形参数化模型,以得到多个角膜塑形参数化模型。

[0176] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:

[0177] 获取待测角膜参数,将所述待测角膜参数输入至所述角膜塑形效果预估模型进行解析,得到角膜塑形效果。

[0178] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:

[0179] 对所述训练样本数据分割,生成训练集、验证集以及测试集。

[0180] 在一个实施例中,计算机程序被处理器执行时还实现以下步骤:

[0181] 基于所述训练集对神经网络模型进行训练;

[0182] 通过所述验证集和所述测试集进行模型调整与能力评估。

[0183] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。需要说明的是,本申请的“一实施例中”、“例如”、“又如”等,旨在对本申请进行举例说明,而不是用于限制本申请。

[0184] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

[0185] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、存储、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和/或易失性存储器。非易失性存储器可包括只读存储器(ROM)、可编程ROM(PROM)、电可编程ROM(EPROM)、电可擦除可编程ROM(EEPROM)或闪存。易失性存储器可包括

随机存取存储器 (RAM) 或者外部高速缓冲存储器。作为说明而非局限, RAM以多种形式可得, 诸如静态RAM (SRAM)、动态RAM (DRAM)、同步DRAM (SDRAM)、双数据率SDRAM (DDRSDRAM)、增强型SDRAM (ESDRAM)、同步链路 (Synchlink) DRAM (SLDRAM)、存储器总线 (Rambus) 直接RAM (RDRAM)、直接存储器总线动态RAM (DRDRAM)、以及存储器总线动态RAM (RDRAM) 等。

[0186] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述, 然而, 只要这些技术特征的组合不存在矛盾, 都应当认为是本说明书记载的范围。

[0187] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本申请构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本申请的保护范围。因此, 本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

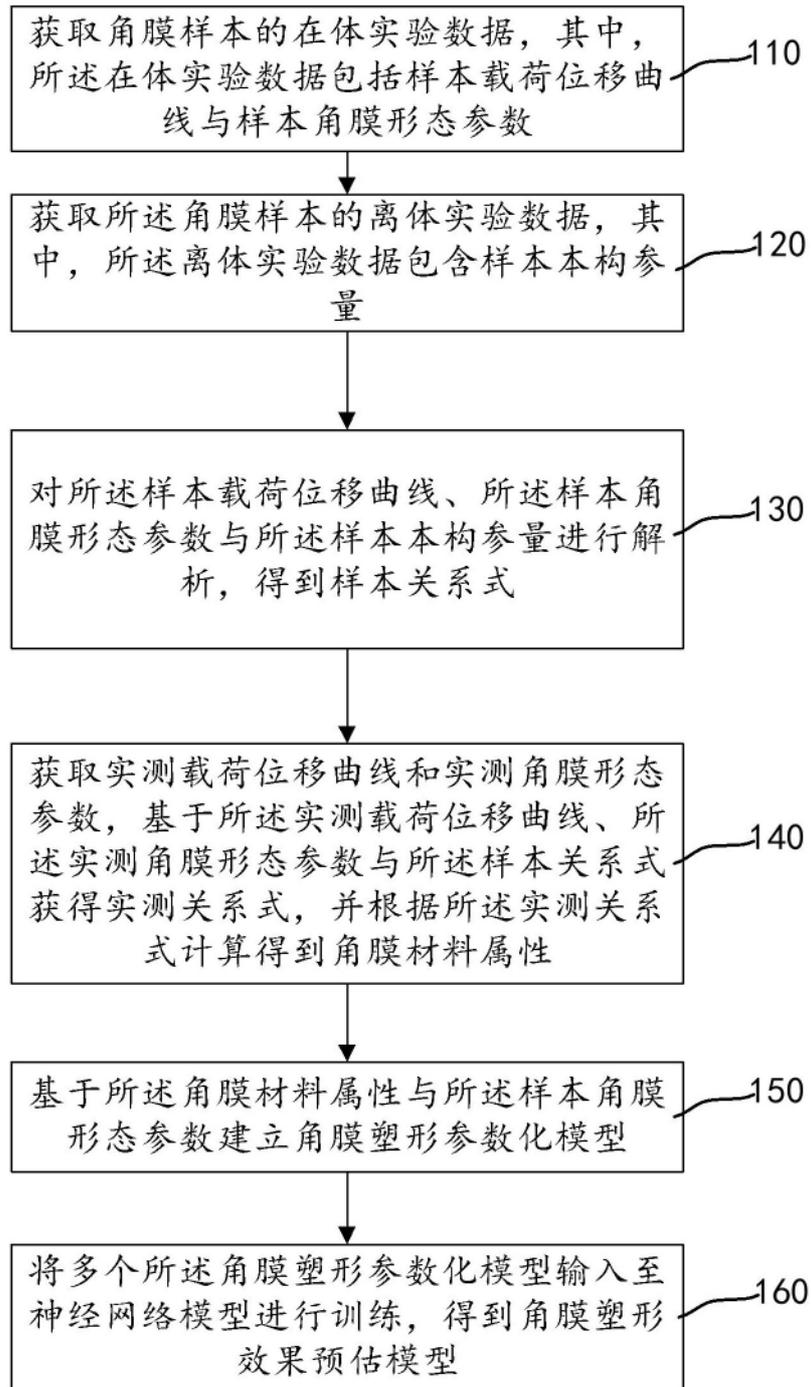


图 1

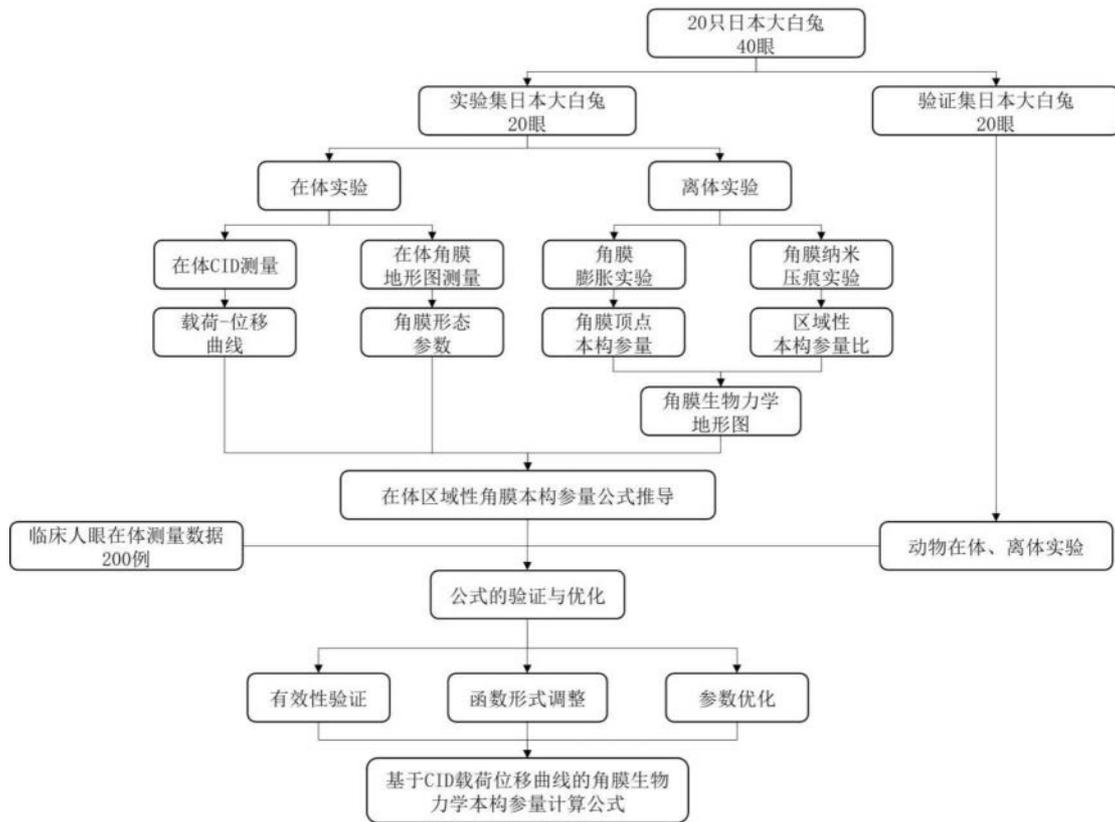


图 2

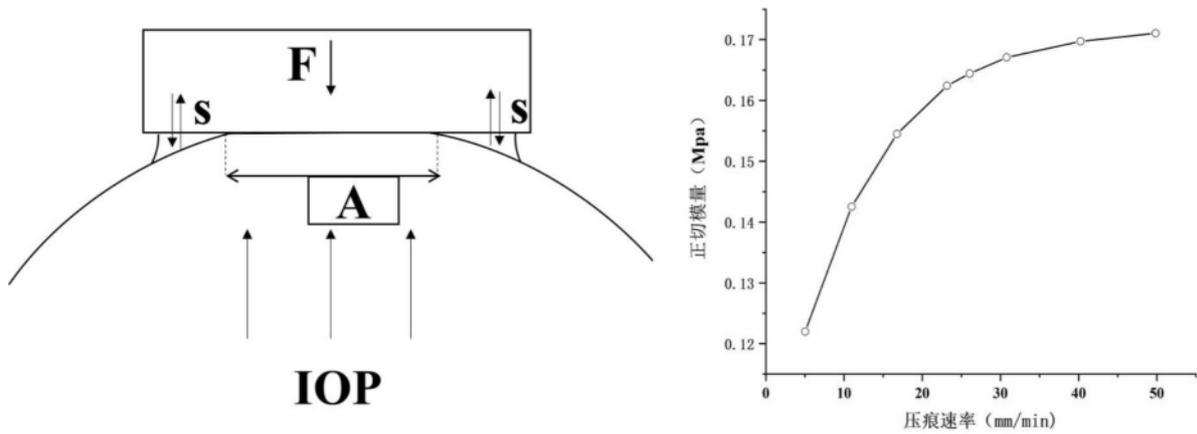


图 3

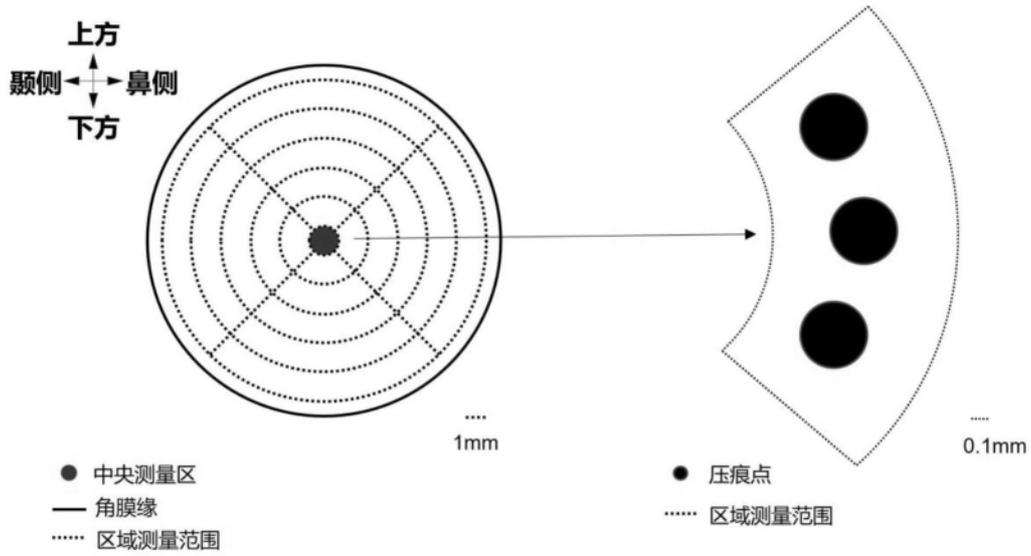


图 4

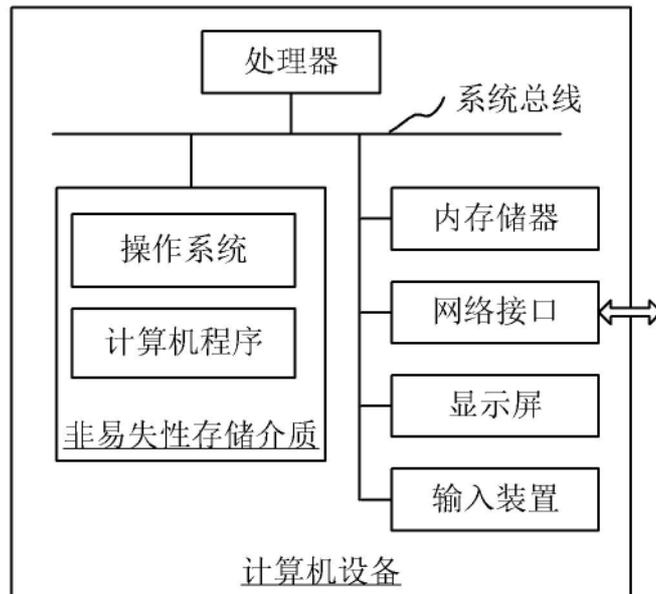


图5

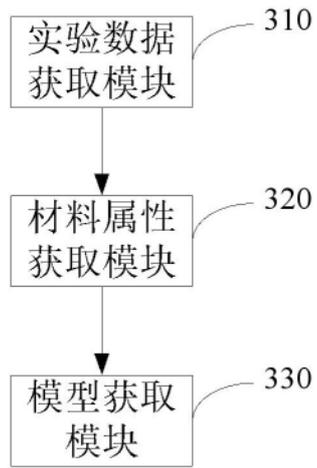


图6