



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115568942 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 29

(21) 申请号 202211259373.1

(22) 申请日 2022.10.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115568942 A

(43) 申请公布日 2023.01.06

(73) 专利权人 首都医科大学

地址 100069 北京市丰台区右安门外西头
条10号

专利权人 北京积水潭医院

(72) 发明人 张蕴显 赵经纬 杨智 何达

刘波

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

专利代理师 张月娟

(51) Int.Cl.

A61B 34/10 (2016.01)

A61B 34/20 (2016.01)

A61B 17/90 (2006.01)

A61B 17/70 (2006.01)

A61B 17/86 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106659524 A, 2017.05.10

CN 109069166 A, 2018.12.21

审查员 刘如慧

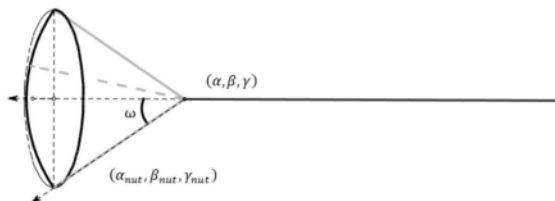
权利要求书4页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,包括如下步骤:确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;利用每个椎体上螺钉的入点范围,计算连接杆的最优形态;确定多轴钉钉帽的活动范围;利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件,然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。本发明能够准确、快速的计算出椎弓根螺钉的临床有效三维置入路径。



1. 一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,其特征在于,包括如下步骤:
 确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;
 利用每个椎体上螺钉的入点范围,计算连接杆的最优形态;
 确定多轴钉钉帽的活动范围;

利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件,然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹;

其中,确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围是通过以下方式实现的:

椎弓根螺钉最优路径为:

$$M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (1)$$

椎体置钉的安全置钉区域为:

$$\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} > \rho \forall M \quad (2)$$

其中, M 是规避区域上的点, M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; ρ 为螺钉到规避区域的安全距离,且 $\rho > 0$; $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉轨迹的单位方向向量; $\forall$ 为特殊符号表示任意;

对公式(2)进行放射变换,使其简化为一个以最优螺钉轨迹为中心线圆柱体,具体为:

$$M' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (3)$$

$$Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (4)$$

$$0 \leq X \leq L$$

其中, $(\alpha', \beta', \gamma') = \frac{(-\gamma, 0, \alpha)}{\|(-\gamma, 0, \alpha)\|}$, 为 (α, β, γ) 的正交的单位向量; $(\alpha'', \beta'', \gamma'') =$

$\frac{(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\beta\gamma}, 1)}{\|(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\beta\gamma}, 1)\|}$, 为 (α, β, γ) 的正交的单位向量; $\begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix}$ 为空间变换矩阵; L 为螺钉长

度; $d = \min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right)$, 为最优螺钉轨迹到规避区域的最短距离; $M' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}$, 为安全置钉

区域; ρ 为螺钉到避开区域的安全距离; L 为螺钉长度; X, Y, Z 为原始坐标;

螺钉轨迹的入钉点范围为:

$$M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (5)$$

$$Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (6)$$

其中, $M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix}$, 为螺钉轨迹的入钉点范围;

其中, 所述连接杆的最优形态是符合脊柱自然弯曲形态的曲线, 且位于尽可能靠近所有同侧最优螺钉轨迹方向上的平面; 所述连接杆的最优形态包括其位置和形状, 具体为:

设 $M_0(x, y, z)$ 为所有椎体同侧最优螺钉轨迹入点位置, 则最优连接杆位置表示为:

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (7)$$

$$A, B, C, D = \arg \min_{A, B, C, D} \left(\max \left(\frac{|Ax + By + Cz + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right) \right) \quad (8)$$

因此, 在连接杆约束下的最优螺钉轨迹表示为:

$$M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M'} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (9)$$

$$s. t. \begin{cases} [L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0][A, B, C]^T + D = 0 \\ \cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut} \alpha + \beta_{nut} \beta + \gamma_{nut} \gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

其中, $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$; A、B、C、D 为连接杆所在位置平面的参数; L' 为钉帽长度; $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量; ω 为钉帽能够与钉子形成的最大夹角;

设已知连接杆的最佳平面为 P:

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (11)$$

以该平面为 XOZ 面可构建新的空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$, 则:

$$i_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_x}}{\|\overrightarrow{N_0 N_x}\|} = (a, b, c) \quad (12)$$

$$j_T = \frac{(A, B, C)}{\|(A, B, C)\|} = (a', b', c') \quad (13)$$

$$k_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_z}}{\|\overrightarrow{N_0 N_z}\|} = (a'', b'', c'') \quad (14)$$

其中, N_0 、 N_x 和 N_z 为最佳平面 P 上的点, 且 $\overrightarrow{N_0 N_x}$ 垂直于 $\overrightarrow{N_0 N_z}$, 则钉帽在最佳平面 P 上的坐标为:

$$\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} x_{o1} \\ y_{o1} \\ z_{o1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{o2} \\ y_{o2} \\ z_{o2} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} x_{on} \\ y_{on} \\ z_{on} \end{bmatrix} \right\} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 = R \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 \quad (16)$$

其中, $R = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix}$, 为将 $\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix}$ 坐标转换为 $\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}$ 坐标上的空间变换矩阵; $\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}$ 为钉帽

在空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 下的坐标; 由于, 定义最佳平面P为空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 的XOZ面, 则 $y_T = 0$, 因此, 连接杆的形状通过最小二乘法拟合得出:

$$z_{Tl} = \text{fitting}(\theta, x_{Tl}) \quad (17)$$

综上, 得到连接杆最优位置和形状为:

$$\begin{bmatrix} x_{ol} \\ y_{ol} \\ z_{ol} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{Tl} \\ 0 \\ \text{fitting}(\theta, x_{Tl}) \end{bmatrix} + N_0 \quad (18)$$

其中, x_{Tl} 和 z_{Tl} 为钉帽在新坐标系下的坐标; x_{ol} 、 y_{ol} 和 z_{ol} 为钉帽在原始坐标系下的坐标; θ 为钉帽所在曲线的曲线参数。

2. 根据权利要求1所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法, 其特征在于, 确定多轴钉的钉帽的活动范围是通过以下方式实现的:

设螺钉钉帽长度为 L' , 则钉帽的参数方程表示为:

$$(x, y, z) = t(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_{nut} \quad (19)$$

s. t. $0 < t < L'$

其中, $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量, M_{nut} 为钉帽的位置, t 表示钉帽长度的未知数;

则钉帽的可活动范围为:

$$(x, y, z) = L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0 \quad (20)$$

$$\cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut}\alpha + \beta_{nut}\beta + \gamma_{nut}\gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \quad (21)$$

其中 $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉的单位方向向量; M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; ω 为钉帽与螺钉之间的最大可活动夹角。

3. 一种基于权利要求1或2所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法的装置, 其特征在于, 包括:

第一处理单元, 用于确定每个椎体置钉的安全置钉区域, 获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;

第二处理单元, 用于利用每个椎体上螺钉的入点范围, 计算连接杆的最优形态;

第三处理单元, 用于确定多轴钉钉帽的活动范围;

第四处理单元, 用于利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件, 然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。

4. 一种计算机存储介质, 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1-2中任一项所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

5. 一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计

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1-2任意一项所述多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及脊柱椎弓根螺钉置入技术领域,具体是关于一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法及装置。

背景技术

[0002] 图像引导(机器人辅助)椎弓根螺钉置入可以提高螺钉放置的准确性。与手动螺钉置入相比,图像引导(机器人辅助)螺钉置入具有更高的准确率。然而,目前的商业机器人导航系统普遍缺乏自动化。医生必须在CT或CBCT像上手动规划螺钉轨迹的方向和位置。

[0003] 目前的螺钉轨迹规划主要是在CBCT图像上使用手动拖放策略来获得螺钉轨迹。此过程会中断工作流程并可能导致错误。因此计算机辅助规划方法成为一种可行的替代方案。例如从不同角度揭示了椎体骨密度和螺钉置入轨迹之间的关系,并根据相关关系规划螺钉轨迹。采用3D规划系统,通过CT图像衍生的骨力学性质或骨密度特性能来寻找和优化螺钉轨迹。根据CT图像和椎体几何特性优化螺钉轨迹,例如通过构建多角度投影并在投影面上标记规避区域的方法寻找最优螺钉轨迹。通过构建椎体和螺钉轨迹图谱然后将图谱配准到目标椎体上进行螺钉轨迹规划。基于椎弓根几何特征的椎体和椎弓根自动分割和轨迹规划方法。通过人工智能方法进行椎体分割和螺钉轨迹规划。

[0004] 但实践中,通常需要同时处理多个椎体。在这种情况下,同侧螺钉需要与刚性的连接杆连接,以实现最终的目的。因此除了对单个椎体螺钉放置的约束外,还需要很好地理解同侧不同椎体螺钉之间的相互约束关系。但到目前为止,传统的螺钉轨迹规划方法都是针对单椎体的,未考虑多椎体约束的情况。

发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法及装置,该方法为多椎体联合置钉提供确定入钉点范围及连接杆设计所需的有效方法,能够准确、快速的计算出椎弓根螺钉的临床有效三维置入路径。

[0006] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:

[0007] 本发明所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,包括如下步骤:

[0008] 确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;

[0009] 利用每个椎体上螺钉的入点范围,计算连接杆的最优形态;

[0010] 确定多轴钉钉帽的活动范围;

[0011] 利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件,然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。

[0012] 所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,优选地,确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围是通过以下方式实现的:

[0013] 椎弓根螺钉最优路径为:

$$[0014] \quad M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (1)$$

[0015] 椎体置钉的安全置钉区域为:

$$[0016] \quad \frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} > \rho \forall M \quad (2)$$

[0017] 其中, M 是规避区域上的点, M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; ρ 为螺钉到规避区域的安全距离, 且 $\rho > 0$; $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉轨迹的单位方向向量; $\forall$ 为特殊符号表示任意;

[0018] 对公式 (2) 进行放射变换, 使其简化为一个以最优螺钉轨迹为中心线圆柱体, 具体为:

$$[0019] \quad M' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (3)$$

$$[0020] \quad Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (4)$$

$$[0021] \quad 0 \leq X \leq L$$

[0022] 其中, $(\alpha', \beta', \gamma') = \frac{(-\gamma, 0, \alpha)}{\|(-\gamma, 0, \alpha)\|}$, 为 (α, β, γ) 的正交的单位向量; $(\alpha'', \beta'', \gamma'') =$

$\frac{(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\gamma}, \frac{\beta}{\gamma}, 1)}{\|(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\gamma}, \frac{\beta}{\gamma}, 1)\|}$, 为 (α, β, γ) 的正交的单位向量; $\begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix}$ 为空间变换矩阵; L 为螺钉长

度; $d = \min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right)$, 为最优螺钉轨迹到规避区域的最短距离; $M' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}$, 为安全置钉

区域; ρ 为螺钉到避开区域的安全距离; L 为螺钉长度; X, Y, Z 为原始坐标;

[0023] 螺钉轨迹的入钉点范围为:

$$[0024] \quad M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (5)$$

$$[0025] \quad Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (6)$$

[0026] 其中, $M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix}$, 为螺钉轨迹的入钉点范围。

[0027] 所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法, 优选地, 所述连接杆的最优形态是符合脊柱自然弯曲形态的曲线, 且位于尽可能靠近所有同侧最优螺钉轨迹方向上的平面; 所述最优连接杆的形态包括其位置和形状, 具体为:

[0028] 设 $M_0(x, y, z)$ 为所有椎体同侧最优螺钉轨迹入点位置, 则最优连接杆位置表示为:

$$[0029] \quad AX + BY + CZ + D = 0 \quad (7)$$

$$[0030] \quad A, B, C, D = \arg \min_{A, B, C, D} \left(\max \left(\frac{|Ax + By + Cz + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right) \right) \quad (8)$$

[0031] 因此,在连接杆约束下的最优螺钉轨迹表示为:

$$[0032] \quad M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M'} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (9)$$

$$[0033] \quad s. t. \begin{cases} [L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0][A, B, C]^T + D = 0 \\ \cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut} \alpha + \beta_{nut} \beta + \gamma_{nut} \gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

[0034] 其中, $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$; A、B、C、D为连接杆所在位置平面的参数; L'为钉帽长度; $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量; ω 为钉帽能够与钉子形成的最大夹角;

[0035] 设已知连接杆的最佳平面为P:

$$[0036] \quad AX + BY + CZ + D = 0 \quad (11)$$

[0037] 以该平面为XOZ面可构建新的空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$, 则:

$$[0038] \quad i_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_x}}{\|\overrightarrow{N_0 N_x}\|} = (a, b, c) \quad (12)$$

$$[0039] \quad j_T = \frac{(A, B, C)}{\|(A, B, C)\|} = (a', b', c') \quad (13)$$

$$[0040] \quad k_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_z}}{\|\overrightarrow{N_0 N_z}\|} = (a'', b'', c'') \quad (14)$$

[0041] 其中, N_0 、 N_x 和 N_z 为最佳平面P上的点, 且 $\overrightarrow{N_0 N_x}$ 垂直于 $\overrightarrow{N_0 N_z}$, 则钉帽在最佳平面P上的坐标为:

$$[0042] \quad \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} x_{o1} \\ y_{o1} \\ z_{o1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{o2} \\ y_{o2} \\ z_{o2} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} x_{on} \\ y_{on} \\ z_{on} \end{bmatrix} \right\} \quad (15)$$

$$[0043] \quad \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 = R \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 \quad (16)$$

$$[0044] \quad \text{其中, } R = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix}, \text{ 为将 } \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} \text{ 坐标转换为 } \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} \text{ 坐标上的空间变换矩阵; } \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}$$

为钉帽在空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 下的坐标; 由于, 定义最佳平面P为空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 的XOZ面, 则 $y_T = 0$, 因此, 连接杆的形状通过最小二乘法拟合得出:

$$[0045] \quad z_{Tl} = \text{fitting}(\vartheta, x_{Tl}) \quad (17)$$

[0046] 综上, 得到连接杆最优位置和形状为:

$$[0047] \quad \begin{bmatrix} x_{ol} \\ y_{ol} \\ z_{ol} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{Tl} \\ 0 \\ fitting(\vartheta, x_{Tl}) \end{bmatrix} + N_0 \quad (18)$$

[0048] 其中, x_{Tl} 和 z_{Tl} 为钉帽在新坐标系下的坐标; x_{ol} 、 y_{ol} 和 z_{ol} 为钉帽在原始坐标系下的坐标; ϑ 为钉帽所在曲线的曲线参数。

[0049] 所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法, 优选地, 确定多轴钉的钉帽的活动范围是通过以下方式实现的:

[0050] 设螺钉钉帽长度为 L' , 则钉帽的参数方程表示为:

$$[0051] \quad (x, y, z) = t(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_{nut} \quad (19)$$

$$[0052] \quad s.t. 0 < t < L'$$

[0053] 其中, $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量, M_{nut} 为钉帽的位置, t 表示钉帽长度的未知数;

[0054] 则钉帽的可活动范围为:

$$[0055] \quad (x, y, z) = L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0 \quad (20)$$

$$[0056] \quad \cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut}\alpha + \beta_{nut}\beta + \gamma_{nut}\gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \quad (21)$$

[0057] 其中 $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉的单位方向向量; M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; ω 为钉帽与螺钉之间的最大可活动夹角。

[0058] 本发明所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划装置, 包括:

[0059] 第一处理单元, 用于确定每个椎体置钉的安全置钉区域, 获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;

[0060] 第二处理单元, 用于利用每个椎体上螺钉的入点范围, 计算连接杆的最优形态;

[0061] 第三处理单元, 用于确定多轴钉钉帽的活动范围;

[0062] 第四处理单元, 用于利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件, 然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。

[0063] 本发明所述的计算机存储介质, 其上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现所述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

[0064] 本发明所述的计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现所述多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

[0065] 本发明由于采取以上技术方案, 其具有以下优点:

[0066] 本发明为多椎体联合置钉提供确定入钉点范围及连接杆设计所需的有效方法, 能够准确、快速的计算出椎弓根螺钉的临床有效三维置入路径。

附图说明

[0067] 通过阅读下文优选实施方式的详细描述, 各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的, 而并不认为是对本发明

的限制。在整个附图中,用相同的附图标记表示相同的部件。在附图中:

[0068] 图1是本发明的螺钉的活动范围示意图;

[0069] 图2是本发明的连接杆的最优形态的示意图。

具体实施方式

[0070] 下面将参照附图更详细地描述本发明的示例性实施方式。虽然附图中显示了本发明的示例性实施方式,然而应当理解,可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反,提供这些实施方式是为了能够更透彻地理解本发明,并且能够将本发明的范围完整的传达给本领域的技术人员。

[0071] 本发明提供一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,通过确定每个椎体置钉的安全区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;利用每个椎体上螺钉的入点范围,计算连接杆的临床有效位置;确定多轴钉钉帽的活动范围;利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成最优螺钉置入轨迹的约束条件,然后计算出每个椎体在联合约束条件下的有效螺钉轨迹。本发明为多椎体联合置钉提供确定入钉点范围及连接杆设计所需的有效方法,能够准确、快速的计算出椎弓根螺钉的临床有效三维置入路径。

[0072] 本发明提供的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法,包括如下步骤:

[0073] S1、确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;

[0074] S2、利用每个椎体上螺钉的入点范围,计算连接杆的最优形态;

[0075] S3、确定多轴钉钉帽的活动范围;

[0076] S4、利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件,然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。

[0077] 在上述实施例中,优选地,确定每个椎体置钉的安全置钉区域,获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围是通过以下方式实现的:

[0078] 椎弓根螺钉最优路径为:

$$[0079] \quad M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (1)$$

[0080] 椎体置钉的安全置钉区域为:

$$[0081] \quad \frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} > \rho \forall M \quad (2)$$

[0082] 其中,M是规避区域上的点, M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; $\rho > 0$,为螺钉到规避区域的安全距离; $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉轨迹的单位方向向量; $\forall$ 为特殊符号表示任意;

[0083] 为置钉的安全性和计算的简便性可将公式(2)进行放射变换,使其简化为一个以最优螺钉轨迹为中心线圆柱体,具体为:

$$[0084] \quad M' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (3)$$

$$[0085] \quad Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (4)$$

$$[0086] \quad 0 \leq X \leq L$$

$$[0087] \quad \text{其中, } (\alpha', \beta', \gamma') = \frac{(-\gamma, 0, \alpha)}{\|(-\gamma, 0, \alpha)\|}, \text{ 为 } (\alpha, \beta, \gamma) \text{ 的正交的单位向量; } (\alpha'', \beta'', \gamma'') =$$

$$\frac{(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\beta\gamma}, 1)}{\|(\frac{\alpha - (\alpha^2 + \gamma^2)}{\beta\gamma}, 1)\|}, \text{ 为 } (\alpha, \beta, \gamma) \text{ 的正交的单位向量; } \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \text{ 为空间变换矩阵; } L \text{ 为螺钉长}$$

$$\text{度; } d = \min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right), \text{ 为最优螺钉轨迹到规避区域的最短距离; } M' =$$

$$[0088] \quad \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}, \text{ 为安全置钉区域; } \rho \text{ 为螺钉到避开区域的安全距离; } L \text{ 为螺钉长度; } X, Y, Z \text{ 为原始}$$

坐标;

[0089] 其中, 螺钉轨迹的入钉点范围为:

$$[0090] \quad M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha' & \alpha'' \\ \beta & \beta' & \beta'' \\ \gamma & \gamma' & \gamma'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + M_0 \quad (5)$$

$$[0091] \quad Z^2 + Y^2 = (d - \rho)^2 \quad (6)$$

$$[0092] \quad \text{其中, } M'' = \begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix}, \text{ 为螺钉轨迹的入钉点范围。}$$

[0093] 在上述实施例, 优选地, 所述连接杆的最优形态是符合脊柱自然弯曲形态的曲线, 且位于尽可能靠近所有同侧最优螺钉轨迹方向上的平面; 所述最优连接杆的形态包括其位置和形状, 具体为:

[0094] 设 $M_0(x, y, z)$ 为所有椎体同侧最优螺钉轨迹入点位置, 则最优连接杆位置可表示为:

$$[0095] \quad AX + BY + CZ + D = 0 \quad (7)$$

$$[0096] \quad A, B, C, D = \arg \min_{A, B, C, D} \left(\max \left(\frac{|Ax + By + Cz + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right) \right) \quad (8)$$

[0097] 因此, 在连接杆约束下的最优螺钉轨迹可表示为:

$$[0098] \quad M_0, \vec{S} = \arg \max_{M_0, \vec{S}} \left(\min \left(\frac{|\overrightarrow{M_0 M'} \times \vec{S}|}{|\vec{S}|} \right) \right) \quad (9)$$

$$[0099] \quad s. t. \quad \begin{cases} [L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0][A, B, C]^T + D = 0 \\ \cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut}\alpha + \beta_{nut}\beta + \gamma_{nut}\gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

[0100] 其中, $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$; A、B、C、D为连接杆所在位置平面的参数; L' 为钉帽长度; $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量; ω 钉帽能够与钉子形成的最大夹角;

[0101] 设已知连接杆的最佳平面为P:

$$[0102] \quad AX + BY + CZ + D = 0 \quad (11)$$

[0103] 以该平面为XOZ面可构建新的空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$, 则:

$$[0104] \quad i_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_x}}{\|\overrightarrow{N_0 N_x}\|} = (a, b, c) \quad (12)$$

$$[0105] \quad j_T = \frac{(A, B, C)}{\|(A, B, C)\|} = (a', b', c') \quad (13)$$

$$[0106] \quad k_T = \frac{\overrightarrow{N_0 N_z}}{\|\overrightarrow{N_0 N_z}\|} = (a'', b'', c'') \quad (14)$$

[0107] 其中, N_0, N_x, N_z 为最佳平面P上的点, 且 $\overrightarrow{N_0 N_x}$ 垂直于 $\overrightarrow{N_0 N_z}$, 则钉帽在最佳平面P上的坐标为:

$$[0108] \quad \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} x_{o1} \\ y_{o1} \\ z_{o1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{o2} \\ y_{o2} \\ z_{o2} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} x_{on} \\ y_{on} \\ z_{on} \end{bmatrix} \right\} \quad (15)$$

$$[0109] \quad \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 = R \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} + N_0 \quad (16)$$

$$[0110] \quad \text{其中, } R = \begin{bmatrix} a & a' & a'' \\ b & b' & b'' \\ c & c' & c'' \end{bmatrix}, \text{ 为将 } \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} \text{ 坐标转换为 } \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} \text{ 坐标上的空间变换矩阵; } \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}$$

为钉帽在空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 下的坐标; 由于, 定义最佳平面P为空间坐标系 $\{i_T, j_T, k_T\}$ 的XOZ面, 则 $y_T = 0$, 因此, 连接杆的形状可以通过最小二乘法拟合得出:

$$[0111] \quad z_{Tl} = fitting(\vartheta, x_{Tl}) \quad (17)$$

[0112] 如图2所示, 综上可得连接杆最优位置和形状为:

$$[0113] \quad \begin{bmatrix} x_{ol} \\ y_{ol} \\ z_{ol} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{Tl} \\ 0 \\ fitting(\vartheta, x_{Tl}) \end{bmatrix} + N_0 \quad (18)$$

[0114] 其中, x_{Tl} 和 z_{Tl} 为钉帽在新坐标系下的坐标; x_{ol}, y_{ol} 和 z_{ol} 为钉帽在原始坐标系下的坐标; ϑ 为钉帽所在曲线的曲线参数。

[0115] 在上述实施例, 优选地, 确定多轴钉的钉帽的活动范围是通过以下方式实现的:

[0116] 设螺钉钉帽长度为 L' , 则钉帽的参数方程可表示为:

$$[0117] \quad (x, y, z) = t(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_{nut} \quad (19)$$

[0118] s.t. $0 < t < L'$

[0119] 其中, $(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})$ 为钉帽的单位方向向量, M_{nut} 为钉帽的位置, t 表示钉帽长度的未知数;

[0120] 则, 如图1所示, 钉帽的可活动范围为:

$$[0121] \quad (x, y, z) = L'(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut}) + M_0 \quad (20)$$

$$[0122] \quad \cos \omega \leq \frac{\alpha_{nut}\alpha + \beta_{nut}\beta + \gamma_{nut}\gamma}{\|(\alpha_{nut}, \beta_{nut}, \gamma_{nut})\| \|(\alpha, \beta, \gamma)\|} \leq 1 \quad (21)$$

[0123] 其中 $\vec{S} = (\alpha, \beta, \gamma)$ 为螺钉的单位方向向量; M_0 为最优螺钉轨迹的入钉点; ω 为钉帽与螺钉之间的最大可活动夹角。

[0124] 本发明还提供一种多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划装置, 包括:

[0125] 第一处理单元, 用于确定每个椎体置钉的安全置钉区域, 获取每个椎体上螺钉轨迹的入点范围;

[0126] 第二处理单元, 用于利用每个椎体上螺钉的入点范围, 计算连接杆的最优形态;

[0127] 第三处理单元, 用于确定多轴钉钉帽的活动范围;

[0128] 第四处理单元, 用于利用椎体置钉的规避区域、连接杆位置及多轴钉钉帽的活动范围形成临床有效螺钉置入轨迹的约束条件, 然后确定出每个椎体在联合约束条件下的椎弓根螺钉最优轨迹。

[0129] 本发明还提供一种计算机存储介质, 其上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现上述的多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

[0130] 本发明还提供一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现上述多椎体联合约束的椎弓根螺钉最优轨迹规划方法步骤。

[0131] 最后应说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

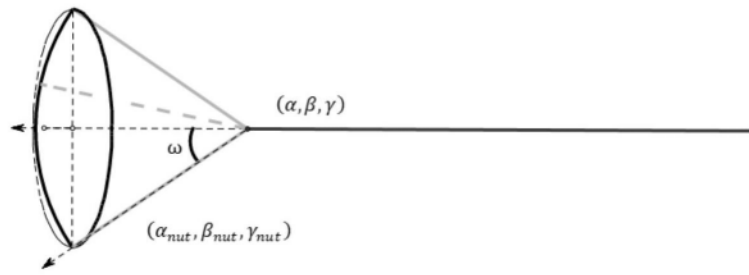


图1

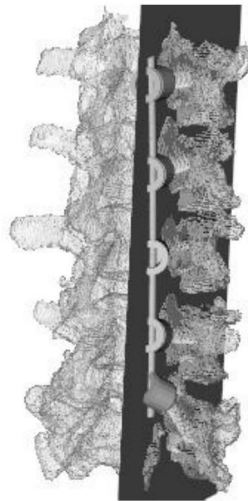


图2