

## 我们的眼球运动及其控制：第一部分

最初发表于《创造杂志》第 16 卷第 3 期(2002 年 12 月)：111-115 页。

### 抽象的

这是两篇论文中的第一篇，其目的是简要回顾我们的眼睛是如何运动的以及眼球运动是如何被控制的，这是全能的上帝令人惊叹的精密工程的又一个例子。

### 概括

本文是两篇系列论文的第一篇，旨在简要回顾我们眼睛的运动方式及其控制机制，以此作为造物主精妙绝伦的又一例证。如此精妙复杂的系统，[进化论根本](#)无法解释。本文将探讨眼外肌及其运动机制，而下一篇论文将着重分析大脑对其的控制。

对于我们大多数有幸拥有正常双眼视觉的人来说，我们或许很少会去思考是什么让我们能够毫不费力地左右环顾。我们往往对此习以为常——一直到出现问题。那时，我们才会敏锐地意识到一些典型症状，例如复视、两个图像混淆或方向感丧失。本文旨在简要回顾我们眼球运动的一些方面，以及由此产生的相关问题。

读者可以参考文末附录的术语表。

## 复视和斜视

我们双眼同时在视网膜上形成周围世界的两幅光学图像。这些图像经视网膜转换和处理后，通过视神经传递到大脑。那么，为什么我们不会看到两幅图像，也就是没有复视呢？这个问题的答案与视觉通路（视网膜到大脑）的组织方式或“连接”方式有关。一只眼睛视网膜上的每个点都必须与另一只眼睛视网膜上的一个点*相对应*，这样两幅光学图像才能在大脑中叠加融合，最终形成单一的心理图像。因此，研究发现，来自*对应点（每只眼睛视网膜上一个点）的光感受器的数据会汇聚到大脑视觉皮层的一组神经元上*，从而产生单一的心理图像。<sup>1, 2</sup>最重要的两个对应视网膜点是每只眼睛的中央凹，视线或视觉轴穿过中央凹。然而，当两个视觉轴未能指向同一物体时（这种情况称为*斜视*），斜视眼的视网膜图像相对于非斜视眼（或注视眼）的视网膜图像会发生偏移（图1）。换句话说，两个视网膜上不对应的点被同一图像刺激，从而导致复视。同时，在斜视的情况下，两个视网膜上对应点接收到的信息也会不同，从而引起视觉混淆或双眼竞争（一只眼睛的视觉抑制与另一只眼睛的视觉抑制交替出现）。

此外，一只视网膜上的每个点实际上对应着另一只视网膜上的一个小区域，而不是一个点。这使得两只眼

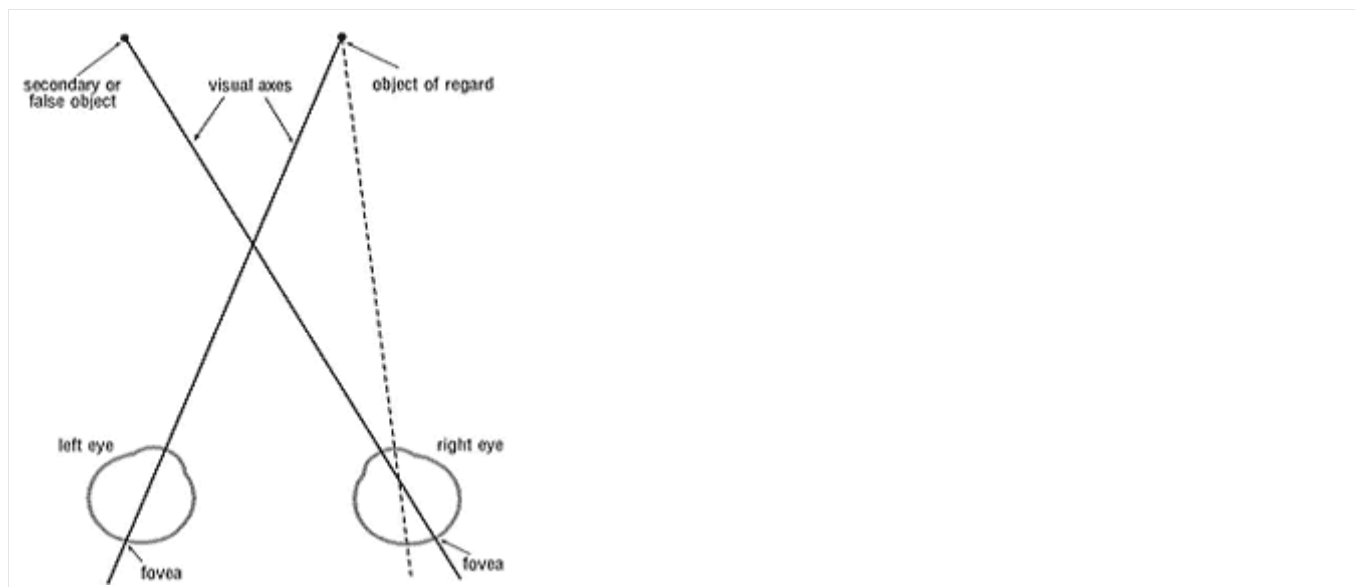
睛看到的物体图像之间存在一定程度的视差，这是由于每只眼睛看到的物体略有不同造成的。大脑利用这种视差来产生深度或距离感知，即**立体视觉**。正因如此，单眼患者在某些活动中会受到显著限制，例如球类运动。此外，对于这类患者而言，一些需要高度立体视觉的职业，例如起重机驾驶、飞机驾驶、显微外科手术等，也无法胜任。

因此，为了使大脑中的两个光学图像能够叠加，需要两个视觉轴始终保持精确协调的指向，指向空间中的同一物体。这一功能由眼外肌及其控制系统实现，我们将在下文中详细讨论。

### 眼球运动的机制 3, 4

每个**眼球**都位于一个深的骨性窝内，即**眼眶**。眼眶为眼球提供一定的保护，并为每块眼球运动肌肉提供牢固的**附着点**。眼眶的两个外壁彼此垂直（图 2），而两个内壁则平行。因此，两个眼眶的轴线形成  $45^\circ$  角。在眼眶内，眼球被一层纤维弹性结缔组织筋膜（*Tenon 囊*）包裹，其内表面光滑闪亮，有利于眼球自由无阻地运动。*Tenon 囊*通过与眶骨膜（覆盖眼眶腔的纤维膜）的连接，悬吊着眼球。眼球的肌肉、神经和血管都穿过这个囊，其中肌肉还通过 *Tenon 囊* 向后延伸的部分得到包裹。稍后我将详细介绍关于这个囊的更多

发现。眼眶内除这些结构之外的所有空间都填充着一种特殊的脂肪组织，它起到缓冲眼球的作用。



**图 1.** 对应点与斜视。两个中央凹是对应点。由于右眼斜视，注视物体的像落在非对应点上，从而导致复视。在任何特定时刻，眼球的注视方向都由六块肌肉施加的旋转牵引力之间微妙而极其精确的平衡决定。即使看似处于静止状态，这些肌肉也始终处于低张力神经支配下的活动状态。当持续注视某个物体时，这需要眼球进行持续的精细运动，其精细程度之高，只有借助放大设备才能察觉。<sup>5</sup>如果没有这种精细的运动，视网膜感光细胞就会适应环境并停止反应。<sup>6</sup>每一次肌肉收缩都必须由与之相反的肌肉的相应放松来平衡。这种肌肉活动的平衡使得眼球的旋转中心在每次运动中都相对于眼眶保持在一个恒定的位置（在狭窄的范围内）。<sup>7</sup>在研究视觉轴的偏转时发现，视觉轴确实会穿过一个

相对于眼眶固定或几乎固定的点。<sup>8</sup>事实上，如果眼球运动障碍中出现肌肉收缩与舒张失衡的情况，眼球就不会围绕固定的旋转中心旋转。相反，眼球会根据收缩的肌肉而回缩到眼眶内或向前突出。显然，这种功能障碍（称为*协同收缩*）会干扰并阻碍眼球运动，导致视觉轴错位，进而造成视力下降。

*眼外肌*（EOMs——图 3 和图 4）通过附着于眼球外表面，使眼球旋转。每只眼睛的眼外肌包括四条*直肌*（内直肌、外直肌、上直肌和下直肌）和两条*斜肌*（上斜肌和下斜肌）。<sup>9, 10</sup>直肌起于眶尖后方，其共同起点是视神经出口周围的纤维环；它们向前走行止于眼球旋转中心平面前方的眼球表面。因此，直肌总体上倾向于将眼球拉回眶内。这种直肌的向后拉力部分由斜肌的前拉力平衡，部分由眶脂肪垫平衡。<sup>11</sup>

从本文的图示中可以清楚地看出，*每块肌肉的活动都取决于眼球相对于眼眶的方向*。当我们的双眼旋转到新的方向（即注视方向）时，十二块眼外肌的活动也会随之改变。此外，在眼球旋转的过程中，这些肌肉活动的变化是一个无缝衔接、高度协调的连续过程。

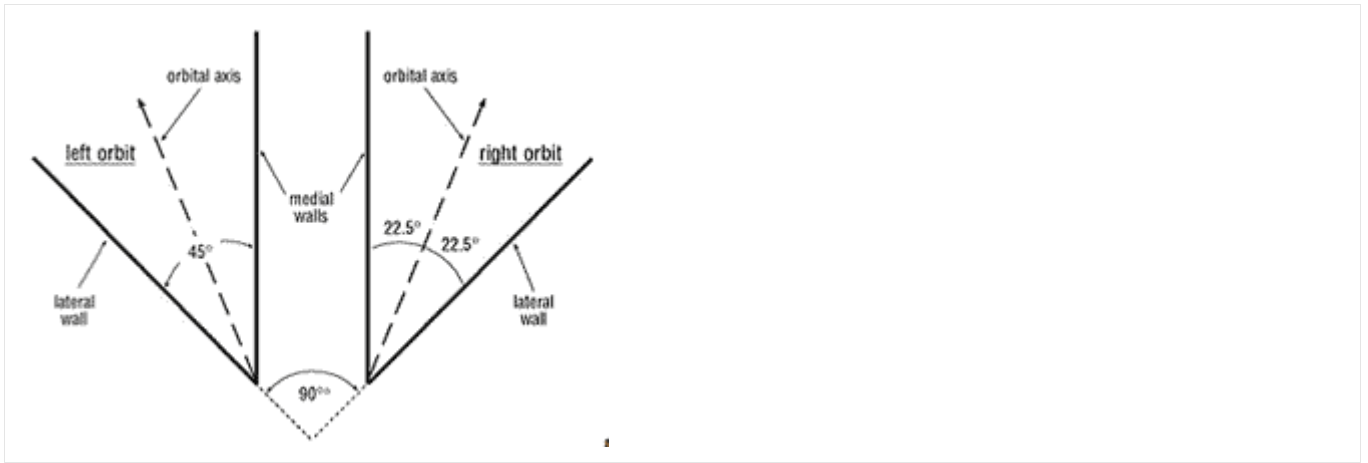


图 2. 轨道及其轴线的示意图。

每块肌肉的运动都可以用数学方法分解为三个分量，这三个分量分别对应于穿过旋转中心且彼此垂直的三个主轴。这三个轴（图 3）分别是水平轴、垂直轴和前后轴（视觉轴或视线）。水平轴和垂直轴都位于眼球的赤道面（李斯廷平面）上。要更好地理解肌肉的运动，需要考虑每块肌肉在眼球上的附着点与眼球旋转中心的关系。

**上直肌**（SR—图 3）向前穿过眼眶，与眶轴平行（位于眶轴上方和眶轴平面内），下直肌也位于其下方。由于上直肌止于眼球赤道前方上方，其主要功能是上转（使眼球向上旋转）。但只有当视轴与眶轴对齐时，即眼球外展（向外转动）约  $23^\circ$ （眼球正视前方时），上直肌才发挥其唯一功能。当眼球从外展  $23^\circ$  向内转时，上直肌的功能逐渐从单纯的上转转变为内收和内

旋（绕视轴旋转）。在眼球内收的过程中，上直肌辅助内直肌完成其主要功能——内收。如果眼球外展超过  $23^\circ$ ，上直肌的作用会逐渐转变为外展（辅助外直肌）和外旋的结合。上直肌的这些作用通常由下直肌相应但方向相反的作用来平衡。

如上所述，当眼球内收时，垂直直肌（上直肌和下直肌）在眼球上提或下转方面作用减弱或丧失。此时，斜肌的功能就转移到了眼球内收时，它们的作用非常有效：**上斜肌**（SO—图 4）负责眼球下转，下斜肌负责眼球上转。上斜肌起于眶尖，位于上直肌（SR）和内直肌（MR）起点的上方和内侧。上斜肌肌腹向前延伸至眼球上方和内侧，接近眶口。在此处，它变成一条圆形的索状肌腱，并且与其他眼外肌不同，它急剧地转弯穿过一个软骨环（滑车，希腊语意为滑车），向后、向下和向外侧移动。肌腱末端呈扇形展开，止于眼球后外侧上象限，即眼球赤道和旋转中心的后方。上睑肌腱从滑车后方走行时，与眼眶内侧壁和视轴在正位时形成约  $54^\circ$  的夹角。只有当眼球完全内收（ $54^\circ$ ）时，视轴才与上睑肌腱对齐，此时上睑肌腱仅起到强有力的下转作用。随着眼球外展，上睑肌腱的下转作用逐渐减弱，直至完全外展时，它仅引起外展（辅助外直肌）和内旋。当我们向下看近处物体时，例如阅读时，上睑肌腱起着重要作用。此时，由于双眼（视轴）会聚，即双眼内收，上睑肌腱是主要的下转肌。

**下斜肌**（IO）起于眶底前内侧壁，走行较短；它向下后外侧走行，止于眼球表面后外侧下象限，位于赤道后方。与上斜肌（SO）类似，下斜肌与眶内侧壁形成约  $51^\circ$  的夹角。下斜肌的作用与上斜肌的作用相对应，相互平衡。在眼球正位和外展位，这两条斜肌都是眼球旋转的强力肌肉。在眼球正位时，上下运动由两组协同作用的肌肉完成：上斜肌（SR）和下斜肌（IO）负责上转，下斜肌（IR）和上斜肌（SO）负责下转。

**水平直肌**（内直肌和外直肌，分别用MR和LR表示）就像马的缰绳。虽然解剖学上对水平直肌的描述通常认为它们的作用是纯粹的水平运动，但从力学角度和实际应用中，当眼球上提或下转时，这两块肌肉确实会产生垂直运动。<sup>11</sup>当眼球上转时，它们辅助上转肌（上直肌和下斜肌）运动；当眼球下转时，它们辅助下转肌（内直肌和上斜肌）运动。这一原理被用于一种旨在治疗某些上转肌麻痹的手术中：将MR和LR分离，然后重新插入到更高的位置，即旋转中心上方，并与SR并排。<sup>12</sup>同样，水平直肌也可能具有轻微的扭转作用，具体取决于注视方向。例如，当眼球上提时，外直肌（LR）倾向于使眼球绕视轴旋转（内旋），但这种作用通常会被MR的作用（外旋）所平衡和抵消。

## 特农的胶囊

近期利用高分辨率磁共振成像（MRI）和尸体解剖的研究揭示了 Tenon 囊及其肌袖此前未知的功能重要性。

<sup><sup></sup>13, 14 <sup></sup></sup>

这促使我们重新评估并修正了上述眼外肌的功能认识。此前，计算机断层扫描（CT）和 MRI 研究表明，在眼球运动过程中，直肌肌腹相对于眼眶保持稳定，仅肌腱因附着于眼球而发生移动。术后 MRI 检查证实了这一观察结果，该手术中肌肉止点发生移动，但术后 MRI 显示直肌肌腹的位置并未发生变化。这些发现与直肌沿最短路径运动的传统观点相悖，并强调了眼眶支撑组织（主要是 Tenon 囊）的存在及其机械作用。

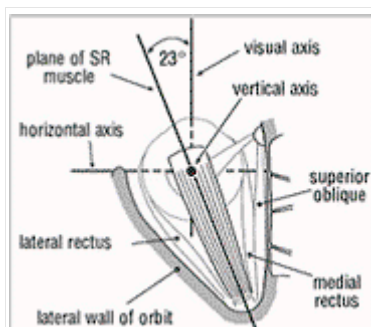


图 3. 左侧上直肌（SR）示意图。

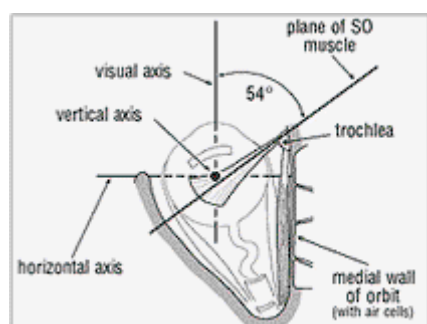


图 4. 左侧上斜肌（SO）示意图（已去除上直肌和提上睑肌）。

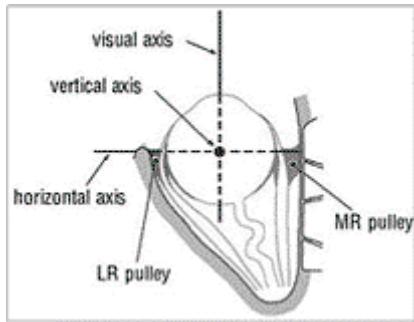


图 5. 水平直肌的 Tenon 囊滑车示意图。

当眼睛处于正视位（即直视前方）时，眼球赤道平面附近，直肌穿过 Tenon 氏囊的部位，Tenon 氏囊会变得更厚更坚韧。每条直肌穿过 Tenon 氏囊时，都占据着一个隧道，该隧道像滑车一样牢固地附着在相邻的眶骨膜（覆盖骨骼的纤维膜）上，并起到滑车的作用（图 5）。根据注视方向的不同，*这些滑车会改变每条直肌的牵拉方向，从而成为肌肉的功能起点*（图 6）。它们减少或消除了在没有滑车的情况下直肌的辅助运动。它们还维持着相邻直肌从起点到穿过 Tenon 氏囊之间的间距。同样，它们限制了肌肉的侧向滑动，例如，在垂直运动过程中水平（内直肌和外直肌）的侧向滑动。然而，Demer 等人……承认 Tenon 胶囊的滑轮存在一定的松弛度，这在一定程度上允许直肌进行如上所述的辅助动作。

## 谜题已解

更复杂的是，<sup>19</sup>世纪中期唐德发现，当地球旋转到任何倾斜位置时，例如同时向上和向内旋转，都会发生某种形式的地球扭转。<sup>15, 16</sup>这种效应对于任何

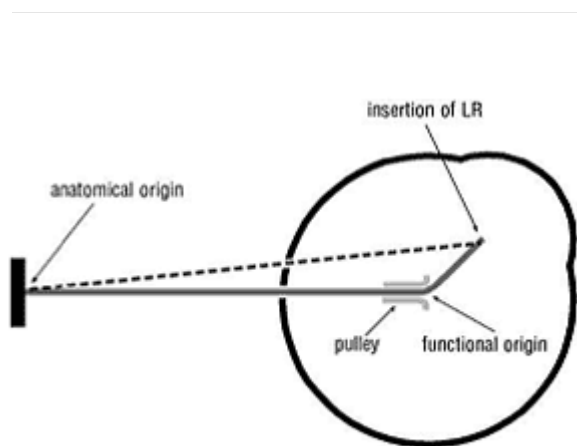
给定的倾斜（第三）位置都是可预测的。它表明地球绕着利斯廷平面内垂直和水平方向之间的一个中间轴旋转，该轴垂直于运动方向。这很容易验证：直视前方一个直立的发光十字架约一分钟，然后以倾斜方向看向白色背景，观察倾斜的残像。也可以用一个画有十字架的大球作为模型，用手指沿倾斜轴旋转它来演示。令人惊讶的是，尽管如此，人们在斜视方向上对周围环境的感知仍然是直立的，因为大脑会竖起心理图像。想象一下，如果大脑不这样做，生活将会多么令人不安！鉴于上述最近发现的直肌纤维弹性滑车，唐德眼球在斜视位置的扭转似乎是这些滑车的存在所导致的被动机械结果，而不是大脑决定的动作。

## 结论

从以上讨论可以看出，大脑中协调、调节和控制十二条眼外肌的神经支配是一个极其复杂的过程。此外，人眼旋转速度极快（高达每秒  $700^\circ$ ），运动流畅，视线转向精准，所有这些因素共同造就了眼球运动系统卓越的性能。拥有第二只眼睛来补充和协调另一只眼睛，更使复杂性倍增。当双眼同步运动（称为同向运动或共轭运动）时，需要对双眼产生运动的肌肉进行同等程度的神经支配（赫林定律）。在水平运动中，每只眼睛的不同肌肉会收缩或放松，例如，向左看时，左眼的外直肌（LR）和右眼的内直肌（MR）会同时收

缩；这种成对的肌肉被称为*对侧协同肌*或*拮肌*。尽管需要进行复杂的计算，从有意识地决定看向别处或对某些刺激（无论是视觉、听觉、前庭觉、触觉等）做出反射反应，到将指令综合起来发送到脑干中的眼动核，所有这一切都在一瞬间毫不费力地完成。

我们眼外肌十二条肌群所需的惊人协调性，以及眼外肌的滑轮机制，都充分证明了其精妙的设计。只有根深蒂固的偏见才会坚持将其贴上“表观设计



（理查德·道金斯创造的术语）的标签。毋庸赘言，如果没有如此高度组织化、协调一致且精密的神经控制系统，这些肌肉几乎毫无用处。

图 6. 图示纤维弹性滑轮对眼球上提时外直肌运动的机械效应。（虚线表示无滑轮时外直肌行走。）

<sup>17</sup> 引用人类眼

球运动学权威马歇尔·帕克斯（Marshall Parks）在谈到眼外肌时所说的话：

“它们同时收缩和舒张的各种组合，为眼球提供了无数不同的旋转轴，使眼球能够围绕这些轴同时运动。这一特性得益于它们相对于眼球旋转中心的各种起止点所产生的力学原理。这种非凡的运动系统所蕴含的全部潜力，需要一

个复杂的神经支配系统，而它无疑具备这样的系统。”<sup>3</sup>

这再次引出了一个问题：构建这样一个系统所需的海量遗传信息（数据）究竟来自何处？数十年的实验已经确凿地证明，突变<sup>18</sup>永远不会产生新的编码的连贯信息。在某些情况下，突变会表达基因组中已存在的潜在遗传信息（包括所谓的“隐性基因”），这可能使种群适应变化或恶劣的环境；否则，它们总是代表信息的损坏或丢失<sup>19</sup>。同样，自然选择也不会增加新的遗传信息，而是倾向于消耗种群的基因库，从而使其适应能力下降<sup>20</sup>。道金斯认为，在他所设想的宇宙历史中，不仅信息，而且智能都是自发地、相对较晚才出现的<sup>21</sup>。由此推断，尽管信息科学<sup>22</sup>的研究结果与此相悖，更不用说常识了，他仍然认为编码信息也是如此。这真是莫大的信念！

## 致谢

我要感谢审稿人以及 Michael Siatkowski 博士、Lois Parkes 和 Robert Higginson 对本文草稿提出的意见和建议。

## 术语表

**斜视或斜视**——两个视觉轴（视线）无法同时指向同一个注视对象。

**对应点**——即视网膜上的一对点——当它们同时受到同一图像的刺激时，就会产生一个单一的心理图像。

**融合（感觉）**——将两只眼睛分别看到的两个相似图像感知为一个图像的能力。

**立体视觉**——通过融合略有不同的图像来感知深度的能力。

**旋转**——地球的旋转；前缀指定旋转方向：ab- 表示向外旋转；ad- 表示向内旋转；supra- 表示向上旋转；infra- 表示向下旋转。

**扭转**——眼球绕前后（视觉）轴滚动或旋转；按照惯例，内旋是指导致角膜 12 点钟方向的半径向鼻侧旋转的扭转，外旋则相反。

**主眼位**——指头部保持直立，目光直视前方时眼睛的位置。**次要眼位**是指眼睛向上、向下、向内或向外的位置，而任何倾斜的眼位都称为**三级眼位**。

**视觉轴**——视线穿过视网膜中央凹的直线。

**内侧**——靠近身体中线

**侧方**——远离身体中线

肌肉的起点——肌肉两个附着点中活动度较小的一个。

肌肉的止点——肌肉两个附着点中活动性较大的一个。

利斯廷平面——地球的赤道平面，将地球分为前半部分和后半部分。

版本——双眼同步旋转；前缀指定版本方向：dextro-表示向右；laevo-表示向左等等。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住

的地方,寻找一间合适的教会,与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问,或在信仰上需要帮助,欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听,也愿意与你一同前行。