卫生部“十一五”规划教材　全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校医学成人学历教育（专科起点升本科）配套教材

供临床、预防、口腔、护理、检验、影像等专业用

医用物理学
学习指导与习题集

主　编／童家明

副主编／阮　萍　袁小燕

人民卫生出版社

PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

全国高等学校医学成人学历教育（专科起点升本科）配套教材

供临床、预防、口腔、护理、检验、影像等专业用

医用物理学
学习指导与习题集

主　编　童家明

副主编　阮　萍　袁小燕

编　者（以姓氏笔画为序）

于　新（哈尔滨医科大学）
仲伟纲（泰山医学院）
阮　萍（桂林医学院）
刘东华（新乡医学院）
苏永春（南方医科大学）
陈月明（安徽医科大学）
陈艳霞（大连医科大学）
侯淑莲（华北煤炭医学院）
袁小燕（长治医学院）
曾　兵（青岛大学）
彭友霖（赣南医学院）
童家明（青岛大学）

人　民　卫　生　出　版　社

图书在版编目（CIP）数据

医用物理学学习指导与习题集/童家明主编. —北京：人民卫生出版社，2007.8

ISBN 978-7-117-09049-0

Ⅰ. 医… Ⅱ. 童… Ⅲ. 医用物理学-成人教育：高等教育-升学参考资料 Ⅳ. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 113405 号

医用物理学学习指导与习题集

主　　编：童家明
出版发行：人民卫生出版社（中继线 010-67616688）
地　　址：北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼
邮　　编：100078
网　　址：http://www.pmph.com
E - mail：pmph @ pmph.com
购书热线：010-67605754　010-65264830
印　　刷：北京市耀华印刷有限公司
经　　销：新华书店
开　　本：787×1092　1/16　　**印张**：8
字　　数：185 千字
版　　次：2007 年 8 月第 1 版　2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
标准书号：ISBN 978-7-117-09049-0/R·9050
定　　价：13.00 元

前　言

为了适应我国医学成人学历教育政策、现状和实践的变化，改变我国高等学校医学成人学历教育的物理课程长期没有专用教材的状况，2006 年卫生部教材办公室在组织修订全国高等学校医学成人学历教育卫生部规划教材时，增列了《医用物理学》。

该教材在充分体现“三基”（基本理论、基本知识、基本技能）、“五性”（思想性、科学性、先进性、启发性、适用性）的基础上，力求做到贴近成人学历教学的实际。

为了帮助学生快速熟悉该教材的内容，复习并自我测试对医用物理学基础理论和基本知识的掌握程度，提高学生分析、综合和应用所学知识的能力，在编写《医用物理学》教材的同时，我们编写了配套教材《医用物理学学习指导与习题集》。本书按照教材的基本内容框架，强调物理学理论知识的基本点和整体性，充实强化与临床医学有密切联系的有关内容。本书适用于“专升本”临床医学教育，希望能对学生增强学习效率、提高学习质量，特别是自我评价对所学医用物理学理论知识的掌握与应用程度有所裨益。

本书分章编写，每章均由学习目的要求、内容提要、章后习题详解、自我评估题、自我评估题参考答案等五部分组成。“学习目的要求”按掌握、熟悉、了解三个层次，列出对本章知识点的教学要求；“内容提要”则概要总结本章知识的要点难点，对已学习过的概念、定理、定律与应用进行加工、梳理并提取出学科知识的脉络与精华；“章后习题详解”给出教材各章后习题的详细参考解答，供同学们与自己所做解答对比使用；“自我评估题”只给出答案，未给出解算过程，供学生在学习各章之后自我评估使用。为了方便总复习，了解考试要求，在书后给出了三套模拟试题及参考答案，题量按 120 分钟设置。

本书的编写得到青岛大学、哈尔滨医科大学有关领导及各位编者所在院校领导的关心支持，在此表示衷心感谢。

尽管在编写过程中，所有参编人员均投入了极大的热情和努力，但限于我们的学识水平和能力，书中的错误与疏漏在所难免，恳请使用本书的老师和学生批评指正。

编　者

2007 年 5 月

目　录

第一章

刚体的转动

一、学习目的要求

1. 掌握

(1) 角位置、角位移、角速度、角加速度。

(2) 转动惯量、转动定律。

(3) 角动量守恒定律。

2. 熟悉

(1) 质点、刚体。

(2) 刚体定轴转动、刚体平衡条件。

(3) 力矩、角动量、冲量矩。

(4) 动能定理、功能原理、机械能守恒定律。

3. 了解

(1) 矢量运算。

(2) 法向加速度、切向加速度。

(3) 进动产生的原因和进动方向。

(4) 刚体平衡的简单计算。

二、内 容 提 要

(一) 运动

1. 质点运动

(1) 质点:没有体积和形状,只具有一定质量的理想物体称为质点。

(2) 位置矢量:表示运动物体在空间位置的有向线段称为位置矢量。

在直角坐标系中 $\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k}$

(3) 位移:物体在一段时间内位置矢量的改变称为位移。

在直角坐标系中 $\Delta\boldsymbol{r}=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}$, $|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$

(4) 路程:在一段时间内,质点沿其运动轨道上所经过的曲线长度称为路程。

(5) 速度:速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量。在国际单位制中,速度的单位是米·秒$^{-1}$(m·s^{-1})。

1) 平均速度: $\bar{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$

2) 瞬时速度: $\boldsymbol{v}=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$

在直角坐标系中 $\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$

3) 平均速率: $\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

4) 瞬时速率: $v=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

在直角坐标系中 $\boldsymbol{v}=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$

(6) 加速度:加速度是反映质点运动速度的大小和方向随时间变化的物理量,在国际单位制中,加速度的单位是米·秒$^{-2}$(m·s^{-2})。

1) 平均加速度: $\bar{\boldsymbol{a}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$

2) 瞬时加速度: $\boldsymbol{a}=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$

在直角坐标系中 $\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}$

3) 法向加速度: $a_n=\dfrac{v^2}{R}$

4) 切线加速度: $a_t=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

$$a^2=a_n^2+a_t^2$$

(7) 圆周运动:质点沿固定圆轨道的运动称为圆周运动。

(8) 角位置:质点在平面内作圆周运动时,其位矢与 x 轴的夹角称为角位置,记为 θ。

(9) 角速度:角速度是描述质点作圆周运动快慢与方向的物理量,在数值上等于单位时间内质点转过角度的弧度数。在国际单位制中,角速度的单位是弧度·秒$^{-1}$(rad·s^{-1})。角速度是矢量,方向可用右手螺旋法则决定。

1) 平均角速度: $\bar{\boldsymbol{\omega}}=\dfrac{\Delta \theta}{\Delta t}$

2) 瞬时角速度: $\boldsymbol{\omega}=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\dfrac{\Delta \theta}{\Delta t}$

(10) 角加速度:角加速度是描述质点作圆周运动角速度变化的物理量,在国际单位制中,其单位为弧度·秒$^{-2}$(rad·s^{-2})。角加速度是矢量,方向以角速度方向为基准。

1) 平均角加速度: $\bar{\boldsymbol{\alpha}}=\dfrac{\Delta \boldsymbol{\omega}}{\Delta t}$

2) 瞬时角加速度： $\boldsymbol{\alpha}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{\omega}}{\Delta t}$

(11) 角量与线量的关系

1) 质点运动的路程 Δs 与角位移　$\Delta s=r\Delta\theta$

2) 质点的线速度 $\boldsymbol{v}$ 与角速度 $\boldsymbol{\omega}$　$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{r}$，　$v=r\omega$

3) 质点的切线加速度　$a_t=r\alpha$

4) 质点的法向加速度 $a_n=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$

2. 刚体的运动

(1) 刚体:在外力作用下,大小和形状都不发生变化的物体称为刚体。

(2) 刚体的运动:刚体的基本运动可分为平动和转动,任何复杂的刚体运动都可以看成是这两种最简单、最基本运动的合成。

(3) 刚体的平动:刚体上的任何一条直线在运动过程中都始终保持相同方位的运动称为平动。

(4) 刚体的转动:刚体在转动过程中,其上各点都绕同一条直线作圆周运动。

(5) 定轴转动:转动轴固定不动的转动称为定轴转动。

(6) 匀变速转动的运动方程:

$$\left.\begin{aligned}&\omega=\omega_0+\alpha t\\&\Delta\theta=\omega_0 t+\frac{1}{2}\alpha t^2\\&\omega^2=\omega_0^2+2\alpha\cdot\Delta\theta\end{aligned}\right\}$$

(二) 转动惯量　力矩　转动定律

(1) 功:一个物体在力的作用下,沿着力的方向产生了一段位移,则称这个力对物体做了功,用 A 表示。

$$A=\boldsymbol{F}\cdot\Delta\boldsymbol{r}=F\cdot\Delta r\cos\theta$$

式中 θ 为 $\boldsymbol{F}$ 与 $\Delta\boldsymbol{r}$ 的夹角,功是标量。在国际单位制中,功的单位为焦耳(J)。

(2) 动能:物体由于运动而具有的能量称为动能。动能是标量,习惯用 E_k 表示。一个质量为 m、速度为 v 的物体的平动动能为$\frac{1}{2}mv^2$。在国际单位制中,动能的单位为焦耳(J)。

(3) 动能定理:外力对物体所做功的量值等于物体动能的增量。

(4) 势能:势能是描述保守力(万有引力、重力和弹性力)做功只与物体的位置有关、与路径的选取无关性质的物理量。势能是标量,在国际单位制中,势能的单位为焦耳(J)。

取地面为零势能面,则一个质量为 m、距地面高度为 h 的物体的重力势能为 mgh。

(5) 功能原理:系统的外力与系统的非保守内力所做的总功等于系统总的机械能的改变。

(6) 机械能守恒定律:一个物体系统只有保守力做功,其他非保守力和所有外力都不做功或它们所做的总功为零,则这个物体系统的动能和势能之间可以相互转化,但

系统的机械能保持不变。

(7) 刚体的转动惯量:转动惯量是反映刚体转动惯性大小的物理量,以符号 I 表示。

$$I=\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$$

(8) 刚体的转动动能: $E_k=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \omega^2$

(9) 力矩:力矩是力和力臂的乘积,即转轴到力的作用点的矢径 $\boldsymbol{r}$ 与刚体所受外力 $\boldsymbol{F}$ 的叉积。$\boldsymbol{M}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F}$。

力矩是矢量,$\boldsymbol{M}$ 的方向服从矢量的叉积的右手螺旋法则。在国际单位制中,力矩的单位为牛顿·米(N·m)。

(10) 转动定律: $\boldsymbol{M}=I\boldsymbol{\alpha}$

(三) 角动量　角动量守恒定律

(1) 角动量:角动量是描述物体转动运动状态的物理量。

1) 质点的角动量:也称动量矩,用 $\boldsymbol{L}$ 表示。在国际单位制中,角动量的单位是千克·米^2·秒$^{-1}$($\mathrm{kg\cdot m^2\cdot s^{-1}}$)。质点的角动量: $\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times m\boldsymbol{v}$

2) 刚体的角动量: $\boldsymbol{L}=I\boldsymbol{\omega}$

(2) 冲量矩:$\boldsymbol{M}\Delta t$,记为 $\boldsymbol{H}$,用以描述力矩对时间的积累效应。在国际单位制中,冲量矩的单位是牛顿·米·秒(N·m·s)

(3) 角动量定理:$\boldsymbol{M}\Delta t=\Delta\boldsymbol{L}$,刚体在特定时间内所受到的合外力的冲量矩等于刚体在此时间内角动量的改变量。

(4) 角动量守恒定律:当刚体所受合外力矩等于零时,其角动量不随时间改变。

(5) 旋进:刚体绕轴转动时,若转轴与竖直方向不重合,刚体则会受到重力矩的作用,使刚体在绕自身转轴旋转的同时,还绕与自身转轴成一定夹角的竖直轴转动的现象。

(6) 刚体平衡条件:要使刚体静止不动而处于平衡状态的必要条件和充分条件是刚体平动的合外力等于零和使刚体转动的合外力矩等于零,即

$$\sum F_{外}=0,\quad \sum M_{外}=0$$

三、章后习题详解

1. 一人向东走了 10m,再向北走了 10m,请用单位矢量写出其位移的矢量式(x 轴指向东,y 轴指向北)。

解:在直角坐标系中,向东走 10m 后的位置矢量为 $\boldsymbol{r}_{东}=(10\mathrm{m})\boldsymbol{i}$;再向北走 10m 后的位置矢量为 $\boldsymbol{r}_{北}=(10\mathrm{m})\boldsymbol{i}+(10\mathrm{m})\boldsymbol{j}$。

位移　$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_{北}-\boldsymbol{r}_{东}=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}=(10\mathrm{m}-10\mathrm{m})\boldsymbol{i}+(10\mathrm{m})\boldsymbol{j}=(10\mathrm{m})\boldsymbol{j}$

2. 为了减少飞石和别的碎片造成危害,要限制旋转割草机叶片的最大速率。现有一种割草机的转速为每分钟 3 700 转,其叶片半径为 0.25m,问叶片末端的速率是多少?

解:已知 $\omega=\frac{2\pi\times 3\ 700}{3\ 600}\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$,$r=0.25\mathrm{m}$

根据线量与角量的关系　$v=r\omega$

叶片末端的速率　$v=r\omega=0.25\times\frac{2\pi\times3\ 700}{3\ 600}\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}=1.6\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

3. 如果钟表的时针端点的线速度是分针端点的 1/18，已知分针长 15.24cm，问时针的长度是多少？

解：已知 $\omega_{分针}=\frac{2\pi}{3\ 600}\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$，$r_{分针}=15.24\mathrm{cm}$，$\omega_{时针}=\frac{2\pi}{3\ 600\times12}\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$，$v_{时针}=\frac{1}{18}v_{分针}$

根据线量与角量的关系　$v=r\omega$

得时针的长度

$$r_{时针}=\frac{v_{时针}}{\omega_{时针}}=\frac{1}{18}\cdot\frac{1}{\omega_{时针}}\cdot v_{分针}=\frac{1}{18}\cdot\frac{1}{\omega_{时针}}r_{分针}\cdot\omega_{分针}$$
$$=\frac{1}{18}\cdot\frac{1}{2\pi/(3\ 600\times12)}\times15.24\times\frac{2\pi}{3\ 600}\mathrm{cm}=5.08\mathrm{cm}$$

4. 一个原来静止的飞轮在 6s 内角速度达到 $36\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$，求飞轮的角加速度及 6s 内转过的角度。

解：已知 $t=6\mathrm{s}$，$\omega_0=0$，$\omega=36\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

根据匀变速转动的运动方程　$\omega=\omega_0+\alpha t,\Delta\theta=\omega_0+\frac{1}{2}\alpha t^2$

解得飞轮的角加速度　$\alpha=\frac{\omega}{t}=\frac{36}{6}\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-2}=6\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-2}$

飞轮 6s 内转过的角度　$\Delta\theta=\omega_0+\frac{1}{2}\alpha t^2=\frac{1}{2}\times6\times6^2\mathrm{rad}=108\mathrm{rad}$

5. 花样滑冰运动员绕过自身的竖直轴转动，开始时双臂伸开，以 $3\pi\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ 的角速度旋转。如果其双臂交叉时的转动惯量为双臂伸开时的 60%，问双臂交叉时的角速度是多少？其转动动能改变了多少？为什么？

解：已知 $\omega_{伸}=3\pi\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$，$I_{交}=60\%I_{伸}=0.60I_{伸}$

假定冰近似于没有摩擦，则花样滑冰运动员的角动量守恒，有

$$I_{伸}\omega_{伸}=I_{交}\omega_{交}$$

所以，双臂交叉时的角速度为

$$\omega_{交}=\frac{I_{伸}\omega_{伸}}{I_{交}}=\frac{I_{伸}\omega_{伸}}{0.60I_{伸}}=\frac{\omega_{伸}}{0.60}=\frac{3\pi}{0.60}\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}=5\pi\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

其转动动能的改变量

$$\Delta E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}I_{交}\omega_{交}^2-\frac{1}{2}I_{伸}\omega_{伸}^2=\frac{1}{2}\times0.60I_{伸}\times\left(\frac{\omega_{伸}}{0.60}\right)^2-\frac{1}{2}I_{伸}\omega_{伸}^2=\frac{1}{3}I_{伸}\omega_{伸}^2$$

所以其转动动能的相对改变量为 2/3，动能增加了 67%。这是因为其回缩交叉双臂时做了功，因此增大了转动动能。

6. 为减轻单脚站立时，外展肌对大转子的拉力或外展肌的张力，常在有效关节的对侧使用手杖。设手杖离人体的中线 30cm，并支撑人体 1/6 的重量。忽略使用手杖时

人体重心的改变，求此时地面作用在脚上的支撑力 **N**、外展肌拉股骨大转子的力 $\boldsymbol{F}_1$ 和髋臼作用在股骨头上的力 **F**。

解：根据题意，忽略使用手杖时人体重心的改变。这样，作用在人体上的三个力如图 1-1(a) 所示，应用力的平衡条件 $\sum F_{外}=0$，写出方程：

$$N+\frac{G}{6}-G=0$$

所以，$N=\frac{5}{6}G$。

选取通过人体重心且垂直冠状面的直线为转轴，设 N 离开转轴的距离为 x，应用力矩的平衡条件 $\sum M_{外}=0$，写出方程

$$N'\times 30-N\cdot x=0$$

解得 $$x=\frac{N'\times 30}{N}=\frac{\frac{G}{6}\times 30}{\frac{5}{6}G}=6\text{cm}$$

根据计算结果，画出有效腿受力图，如图 1-1(b) 所示。由图中可见，F 在 y 方向分力的力臂仍为 7cm，N 的力臂为 $18-6-7=5$cm。由教材图 1-12 可知，腿的重心位于大转子与脚骨之间的 10/18 处，故此时腿的重心离大转子外沿的水平距离为

$$\frac{10}{18}\times 12=6.666\text{cm}=6.67\text{cm}$$

腿的重力力臂为 $7-6.67=0.33$cm。与不使用手杖时的情况比较，腿的重心移到股骨

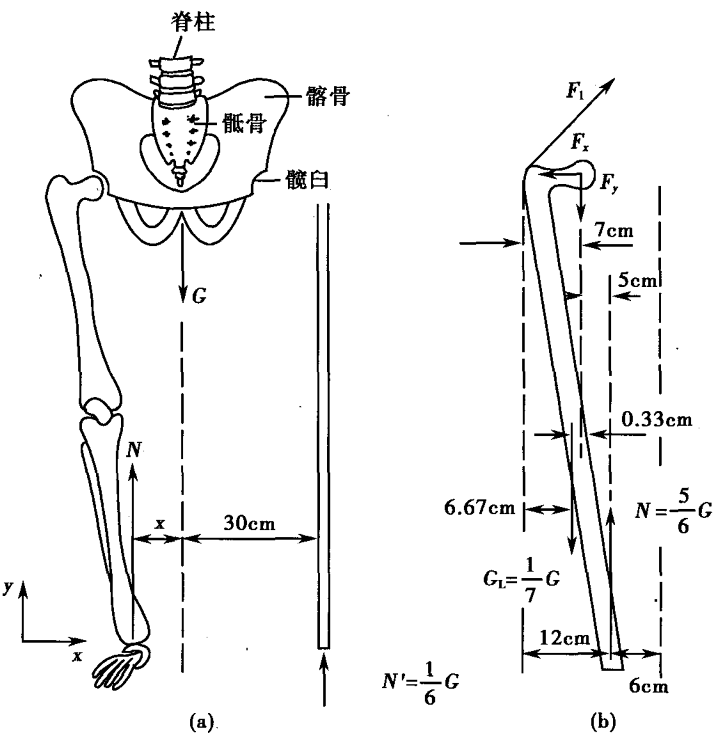


图 1-1 对侧使用手杖时作用在髋关节上的力

头中心的左方。应用这些数据，写出力矩平衡方程

$$-F_1\sin70^\circ\times7+\frac{G}{7}\times0.33+\frac{5}{6}G\times5=0$$

即 $\quad -F_1\times0.94\times7+0.047G+4.17G=0$

解得 $\quad F_1=0.6G$

由此可见，虽然手杖只支撑体重的1/6，但由于力臂发生了明显的变化，使得外展肌所受的张力由1.6G减小到0.6G。

利用力的平衡方程可求出髋臼作用在股骨头上的力

$$F_1\cos70^\circ-F_x=0$$

即 $\quad F_1\sin70^\circ-F_y+\frac{5}{6}G-\frac{G}{7}=0$

解得 $\quad F_x=0.2G,\quad F_y=1.25G,\quad F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=1.26G$

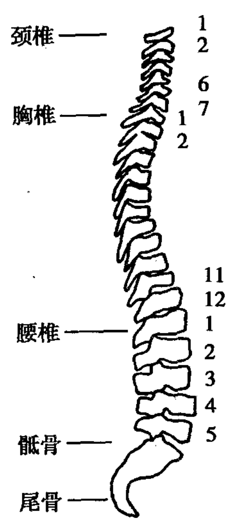
这就说明，用手杖后比不用手杖时，股骨头所受的力几乎要减少一个人的体重，可见使用手杖对于髋关节病患者而言是何等的重要，尤其是对股骨颈发生骨折的患者。

7. 根据图1-2的解剖数据，求以同样姿势提取一件0.2G(设此人重量为G)的重物，求此骶棘肌作用在脊柱上的力F_e和骶骨对脊柱的反作用力F_R。

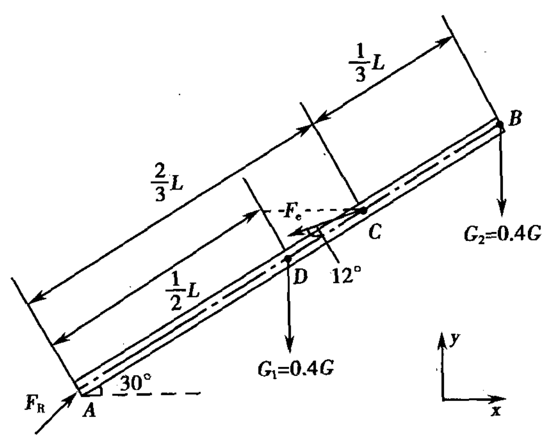
解：视脊柱为刚体，分析弯腰和伸腰时，第五腰椎上的受力情况。它的一端与骶骨相接。受力如图1-2所示。G_1表示躯干的重量，约为人体重量G的0.4倍，作用点位于躯干的中部。G_2表示头、手臂与所提重物的重量，作用点位于颈椎的上端。头和手臂约为人体重量G的0.2倍，所以G_2为0.4G。F_e表示骶棘肌作用在脊柱上的力，其作用点位于距脊柱上端1/3处，与脊柱的夹角为12°。F_R表示骶骨对脊柱的反作用力。设脊柱长为L，其与水平方向的夹角为30°，于是，F_e与水平方向的夹角为18°。

根据静力平衡条件：$\sum F_{x外}=0,\sum F_{y外}=0$，有

$$F_{Rx}-F_e\cos18^\circ=0 \qquad ①$$



(a) 基本结构



(b) 受力示意图

图1-2 作用在脊柱上的力

$$F_{Ry}-F_e\sin18°-0.4G-0.4G=0 \qquad ②$$

以 F_R 的作用点 A 为支点，列出转动平衡方程

$$\sum M_{外}=0$$

$$F_e\sin12°\times\frac{2}{3}L-0.4G\cos30°\times\frac{L}{2}-0.4G\cos30°\times L=0 \qquad ③$$

将平衡方程①、②、③联立，解得 $F_e=3.74G$，$F_{Rx}\approx3.56G$、$F_{Ry}=1.96G$、$F_R=4.07G$

F_R 与水平方向的夹角 $\varphi=\tan^{-1}\frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}=\tan^{-1}0.55=28.8°$。

与教材中不提重物的计算结果相比较，在弯腰30°的情况下，由于手提0.2G重物，骶棘肌作用在脊柱上的力 F_e 增加了1.24G，骶骨对脊柱的反作用力 F_R 增加了1.33G。

四、自我评估题

（一）选择题（A型题）

1. 当一个力 F 施于可绕固定轴转动的物体上时，该物体的表现是（　　）。

A. 一定转动；　　B. 一定不转动；

C. 不一定转动；　　D. 力与转轴平行时，一定转动。

2. 一个电动机以每分钟1 800转的角速度转动，在电动机的轴上装有三个转轮，它们的直径分别为5cm、10cm、15cm，这三个转轮边缘上的线速度之比为（　　）。

A. 1∶1∶1；　B. 1∶2∶3；　C. 1∶4∶9；　D. 9∶4∶1。

3. 定轴转动的物体，转动动能一定时，（　　）。

A. 转动惯量与角速度成正比关系；

B. 转动惯量与角速度成反比关系；

C. 转动惯量与角速度的平方成正比关系；

D. 转动惯量与角速度的平方成反比关系。

4. 一个花样滑冰运动员由张开双臂转动到收拢双臂转动时，他的（　　）。

A. 转动惯量增大，角速度减小；　　B. 转动惯量增大，角速度增大；

C. 转动惯量减小，角速度增大；　　D. 转动惯量减小，角速度减小。

（二）填空题

1. 刚体的基本运动可分为________和________。

2. 掷铁饼运动员手持铁饼转动1.25圈后松手，此时铁饼的速度值为25m·s^{-1}。假设转动时铁饼沿半径为1m的圆周运动，并均匀加速。则铁饼离手时的角速度为________，铁饼的角加速度为________。

3. 刚体静止不动处于平衡状态的充分必要条件是________和________。

（三）计算题

1. 一块表的秒针长为2.0cm，试求该秒针的转动角速度与其尖端相对于表的运动速率。

2. 汽车在7s内由静止匀加速运动至轮子的角速度为6.0rad·s^{-1}。求轮子的角加速度及该过程中轮子转过的圈数。

3. 一个四轮汽车的每一个轮子的质量是30kg、回转半径为30cm。当汽车开动时，

轮子的转速为 5.0rad · s^{-1}，此时存贮到四个轮子上的转动动能是多少？

4. 一个小男孩在冰面上旋转，当他的手臂伸开时，其转速为 0.25rad · s^{-1}；当他收回手臂时，转速为 0.80rad · s^{-1}。求前后两种情况下转动惯量的比值。

五、自我评估题参考答案

（一）选择题

1. C；　2. B；　3. D；　4. C

（二）填空题

1. 平动，转动；
2. 25rad · s^{-1}，39.8rad · s^{-2}；
3. $\sum F_{外}=0$，$\sum M_{外}=0$

（三）计算题

1. 0.017rad · s^{-1}，2.1×10^{-3}m · s^{-1}；
2. 0.86rad · s^{-2}，132rad；
3. 5 300J；
4. 3.2

（童家明）

第二章

物体的弹性

一、学习目的要求

1. 掌握

（1）应力、应变。

（2）弹性、塑性、粘弹性、弹性模量。

2. 熟悉

（1）骨的力学性质。

（2）肌肉的力学性质。

（3）血管的力学性质。

3. 了解

骨、肌肉、血管的结构及组成成分。

二、内 容 提 要

（一）应变与应力

（1）应力：作用在物体内单位截面积上的弹性力称为应力。

（2）张应力：垂直作用于物体的横截面上、使物体拉伸的应力称为张应力。即

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

（3）压应力：垂直作用于物体的横截面上、使物体压缩的应力称为压应力。其表达式与张应力相同。

（4）切应力：垂直作用于物体的横截面上、与该截面相切的应力称为切应力。即

$$\tau = \frac{F}{S}$$

（5）应变：物体在外力作用下，其长度、形状、体积等发生的相对变化称为应变。

（6）张应变：张应力作用下产生的应变称为张应变。即

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

(7) 压应变:压应力作用下产生的应变称为压应变。其表达式与张应变相同。

(8) 切应变:切应力作用下产生的应变称为切应变。即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{l_0} = \tan\varphi$$

(9) 体应变:物体的体积由于受到压力的作用而发生变化,此时由于体积的变化所产生应变称为体应变。即

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_0}$$

(10) 应变率:应变对时间的变化率称为应变率。

(二) 弹性 塑性 粘弹性 弹性模量

(1) 弹性:材料能够恢复变形的特性称为弹性。

(2) 塑性:塑性是指材料在外力作用下发生变形,当外力解除后,不能完全恢复原来形状的性质。

(3) 粘弹性:材料的应力响应不仅取决于当时当地的应变状态,还与形变随时间发展的历史进程有关,同一应变状态会因历史不同而并不唯一地对应于一种应力状态;反过来应变对应力的响应也具有与上述完全相同的特点,材料的这种性质称为粘弹性。

(4) 弹性模量:某一物体应力与应变的比值称为该物体的弹性模量。

(5) 杨氏模量:正比极限范围内,材料受到张应力或压应力作用时,张应力与张应变或者压应力与压应变之比称为材料的杨氏模量,用符号 E 表示。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta l/l_0}$$

(6) 切变模量:在一定的弹性范围内,当材料受到切应力作用时,切应力与切应变之比值称为材料的切变模量,用符号 G 表示

$$G = \frac{F/S}{\Delta x/l_0}$$

(7) 体变模量:在体应变的情况下,在一定弹性范围内,压强 p 与体应变 θ 成正比。压强与体应变的比值,称为体变模量,以符号 K 表示

$$K = \frac{-p}{\theta} = -\frac{pV_0}{\Delta V}$$

(三) 骨与软组织的力学性质

1\. 骨的力学性质　骨材料具有各向异性的力学性能,骨骼在不同方向的负荷作用下,表现出不同的强度。人骨所能承受的剪切力比拉伸力或压缩力要小。根据外力和力矩的方向,人体骨骼受力的形式可分为以下四种:①拉伸与压缩;②剪切;③扭转;④弯曲。

2\. 肌肉的力学性质　肌肉的收缩是动物的主要生命过程之一。肌肉在受到刺激时,会出现收缩,内部产生张力(即拉力)。肌纤维会产生两种张力:一种是缩短收缩的主动张力,另一种是伸长收缩的被动张力。

3\. 血管的力学性质　血管中弹性纤维、胶原纤维和平滑肌三种成分的比例及其在

血管壁中的结构决定了血管壁的力学性质。血管壁既表现有弹性,也表现有粘性,是一种粘弹性体。

三、章后习题详解

1. 根据表2-1提供的数据,计算:(1)横截面积为$5cm^2$的密质骨在拉力作用下骨折时受到的拉力?(2)在800N的拉力作用下,此骨的应变?

解:(1) 导致骨折的拉力为

$$F=\sigma S=12\times10^7\times5\times10^{-4}N=6\times10^4N$$

(2) 800N的拉力作用下,此骨的应变为

$$\varepsilon=\frac{\sigma}{E}=\frac{F/S}{E}=\frac{800/(5\times10^{-4})}{16\times10^9}=10^{-4}$$

2. 长0.2m、横截面积为$40cm^2$的圆柱形肱二头肌,伸长5cm时,需要30N的力,而当该肌肉处于紧张状态时,产生相同伸长量需要力450N。求该肌肉在以上两种情况下的杨氏模量。

解:肌肉伸长5cm时,杨氏模量为

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{F/S}{\Delta l/l_0}=\frac{30/(40\times10^{-4})}{5\times10^{-2}/0.2}N\cdot m^{-2}=3\times10^4N\cdot m^{-2}$$

该肌肉处于紧张状态,产生相同伸长量时的杨氏模量为

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{F/S}{\Delta l/l_0}=\frac{450/(40\times10^{-4})}{5\times10^{-2}/0.2}N\cdot m^{-2}=4.5\times10^5N\cdot m^{-2}$$

3. 高为4cm的正方体上下两个底面上各施加1 000N的方向相反的切向力,两平面相对位移为1mm,求其切变模量。

解:切变模量为

$$G=\frac{F/S}{\Delta x/l_0}=\frac{1\,000/(4\times10^{-2})^2}{1\times10^{-3}/(4\times10^{-2})}N\cdot m^{-2}=2.5\times10^7N\cdot m^{-2}$$

4. 某人重75kg,腿骨长1.2m、横截面积平均为$4cm^2$,若用此骨支持体重,求此人站立时其腿骨长度缩短多少?

解:查表2-1,骨压缩时杨氏模量为$9\times10^9N\cdot m^{-2}$,由$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{F/S}{\Delta l/l_0}$,可得

$$\Delta l=\frac{l_0F}{SE}=\frac{1.2\times75\times9.8}{4\times10^{-4}\times9\times10^9}m=2.45\times10^{-4}m$$

5. 股骨可等效为一空心圆管,已知其最细处的外内径之比为2∶1,在6.0×10^4N的压力下发生骨折,该骨的抗压强度为$1.67\times10^8N\cdot m^{-2}$,求此骨最细处的外直径。

解:设在压力下骨折时受力大小为F,股骨最细处的外直径为$2r$,则该处股骨的截面积为

$$S=\pi r^2-\pi\left(\frac{r}{4}\right)^2$$

由于抗压强度为$1.67\times10^8N\cdot m^{-2}$,有

$$S=\frac{F}{1.67\times10^8}$$