

全国高职高专卫生部规划教材配套教材
供 临 床 医 学 专 业 用

医学物理学 学习指导及习题集

主 编 潘志达

副主编 阮 萍 岳小萍 柴 英



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

全国高职高专卫生部规划教材配套教材

供临床医学专业用

医学物理学

学习指导及习题集

主 编 潘志达

副主编 阮 萍 岳小萍 柴 英

编 者 (以姓氏笔画为序)

王晓东 (齐齐哈尔医学院)

陈 锦 (成都中医药大学)

白翠珍 (山西医科大学)

尚艳华 (山东医学高等专科学校)

朱世忠 (山东医学高等专科学校)

岳小萍 (新乡医学院)

阮 萍 (广东药学院)

柴 英 (大连医科大学)

李振新 (新乡医学院)

黄代政 (桂林医学院)

宋清焕 (漯河医学高等专科学校)

潘志达 (大连医科大学)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医学物理学学习指导及习题集/潘志达主编. —北京:
人民卫生出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-117-11508-7

I. 医… II. 潘… III. 医用物理学—高等学校: 技术学
校—教学参考资料 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 120464 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.hrhexam.com	执业护士、执业医师、 卫生资格考试培训

医学物理学学习指导及习题集

主 编: 潘 志 达

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

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京市文林印务有限公司印刷

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 7.75

字 数: 189 千字

版 次: 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-11508-7/R · 11509

定 价: 14.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)



这本《医学物理学学习指导及习题集》是全国高职高专临床医学专业教材《医学物理学》第5版的配套教材。全书除涵盖了教材所涉及的人体力学、波动与声波、液体的流动、液体的表面现象、人体的生物电场与磁场、直流电、光的波动性、几何光学、激光、X射线、原子核与放射性、医学影像的物理学基础共十二章的教学内容外，在知识面上还有所扩展和外延。其特点主要体现在：

1. 提纲挈领地梳理每一章节所讲述的基本概念和基本理论。
2. 为了培养学生分析问题和解决问题的能力，各章选择了一些典型的理论题和计算题进行详细的分析；同时还设计了一定数量的习题，并附有解答。
3. 通过对多种题型的分析、判断和计算，可使学生自我检测对所学知识的理解和掌握程度。

医学物理学是物理学的理论与技术在医学领域研究与应用的一门学科。针对这一特点，考虑到教师在讲授以及学生在学习医学物理学课程中所遇到的一些实际问题，我们编写了这本《医学物理学学习指导及习题集》。希望它能起到两方面的作用：其一，有利于教师的教学，促进医学物理学教学的深化改革；其二，有利于学生的学习，使他们在有限的学习时间内掌握医学物理学的基本理论、基本概念和基本技能。

感谢大连医科大学、山西医科大学、山东医学高等专科学校对本书编写的支持！

我们对编写工作是认真负责的，每一个问题的提出都经过深思熟虑，反复斟酌和推敲。尽管如此，由于水平有限，难免有错误和不妥之处，希望使用本书的师生予以指正。

编者

2009年4月



第一章 人体力学	1
第二章 波动与声波	12
第三章 液体的流动	23
第四章 液体的表面现象	35
第五章 人体的生物电场和磁场	43
第六章 直流电	54
第七章 波动光学	63
第八章 几何光学	72
第九章 激光	84
第十章 X射线	90
第十一章 原子核与放射性	99
第十二章 医学影像的物理学基础	107



第一章 人体力学



内容要点及例题解析



内容要点

(一) 肌肉的力学性质

1. 肌肉的张力和其长度的关系 肌节长度与张力的关系；肌纤维收缩时长度变化与主动张力变化的关系；肌纤维被动承载时的长度变化与被动张力变化的关系。

2. 肌肉的三单元模型 肌肉的三单元模型由收缩元、串联弹性元、并联弹性元组成。对于多模型串联而成的肌肉，由于长度的增加，对其收缩速度有影响，但不影响肌肉的收缩力；对于多模型并联的肌肉，由于横截面积的增加，会导致肌肉收缩力的增加，但不会影响肌肉的收缩速度。

3. 肌肉张力和收缩速度的关系 希尔方程式， $(P+a)(v+b)=(P_0+a)b$ 。它指出肌肉的收缩速度 v 随负荷 P 的增大呈双曲线关系下降，说明肌肉张力和收缩速度成反比。

(二) 骨骼的力学性质

1. 长骨的力学性质 湿润密质骨应力和应变的关系。

2. 骨骼的受力方式 拉伸、压缩、弯曲、切变、扭转、复合载荷。

(三) 人体静力学

1. 物体平衡条件

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_k = 0$$

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{kx} = 0 \quad F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ky} = 0$$

$$M_1 + M_2 + \dots + M_k = 0$$

$$F_1 L_1 + F_2 L_2 + \dots + F_k L_k = 0$$

2. 杠杆作用

第一类杠杆：支点位于作用力与阻力之间，以很小的力克服较大的阻力。例如，头部杠杆的支点是第一颈椎，支点两侧各有一肌群，其作用力分别是 F_1 和 F_2 ，头颅的重量是 W ，属于第一类杠杆。

第二类杠杆：阻力位于作用力和支点之间，力臂恒大于阻力臂，故省力。例如，人用脚尖站立时的足部杠杆，脚尖是支点，脚跟的肌肉群收缩提供力 F ，体重 W 则落在两

者之间的距骨上,属于第二类杠杆。

第三类杠杆:作用力位于阻力与支点之间,力臂恒小于阻力臂,故不省力。例如,肘关节为支点的臂部杠杆,其后为三头肌、前为二头肌,作用力分别是 F_1 和 F_2 ,臂重为 W 。在只考虑支点、 F_2 和 W 的情况下,属于第三类杠杆。

人体内最常见的是第三类杠杆,第二类杠杆次之,最少见的是第一类杠杆。

3. 作用在髋关节和脊柱上的力 人体站立时,是髋外展肌的肌力维持髋关节处的平衡。当髋外展肌受损或麻痹时把脚放在人体重心之下,是不可能获得平衡的。

通过理论计算表明,一个体重为 50kg 的人,负重为 10kg,腰-骶椎间盘所承受的压力为体重的 4.07 倍 (约 1994N)。这一巨大的压缩力造成的解剖学后果是明显的,即椎间盘被压缩。如果年老或损伤使椎间盘变得脆弱,它就容易脱出,压迫神经,导致疼痛或肌肉痉挛,这就是腰间盘脱出症。

(四) 人体动力学

1. 人体的动力学特征 惯性特征,力的特征,能量特征。

2. 人体的运动

走步:走步是人体连续失去平衡和恢复平衡的过程。走步近似匀速运动,它具有人体动力学的惯性特征。

跑步:在竞赛中,不管是短跑或中长跑,由起跑跑到起跑后加速到途中跑到终点冲刺,整个过程是变速运动。跑可分为腾空阶段和支撑阶段。跑的速度取决于步长和步频,而速度的变化又取决于对这两个因素的控制情况。就跑步的整个过程而言,它包含了人体动力学力的特征和能量特征。

跳跃:跳跃是以腾空方式克服距离,如跳远、三级跳远要求达到最大跳程;而跳高、撑竿跳高则要求达到最大高度。人体质心在腾空中的轨迹为:

$$s = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}; h = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

上两式中, s 为跳程, h 是身体质心轨迹的高度, v 是开始腾空时刻质心的初速度, α 是质心初速度 v 与水平面间的夹角, g 是重力加速度。

转动:人体的各部分或整体都经常进行转动,角动量守恒定律是分析人体转动的力学基础。

在定轴转动中,如果刚体所受外力对转轴的合力矩为零,则刚体对该轴的角动量 L 不随时间变化。这一结论称为角动量守恒定律,可表示为

$$L = J\omega = \text{恒量}$$

上式中 J 为转动惯量, $J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2$; ω 为角速度。

(五) 临床力学器械

在理疗和骨科的治疗过程中,常用各种不同的力学器械和人体本身的重量作为阻力来恢复和锻炼机体的功能及治疗疾病。这些力学器械,大多属于滑轮牵拉器,临床上常用的牵引手段可分为皮肤牵引和骨牵引,一般都是为了固定、复位。

例题解析

【例题 1】 长骨呈中空管状，多位于四肢。从受力的角度分析长骨这种结构的优点。

分析：图 1-1 为一横梁在负荷作用下弯曲变形的示意图。其结果是，横梁的上层稍受压缩，横梁的下层稍被拉伸。即上层缩短，下层伸长，中层未变；在上层出现斥力，在下层出现引力，中层没有力的作用。可见负荷对中层并不起作用，因而是可有可无的。若将其去掉，采用中空型管材，既不会影响负载，又可节省材料。长骨呈中空管状的结构，从受力的角度看，其优点就在于此。



图 1-1 例题 1 图示

从生理学的角度看，成骨细胞用最少的材料使骨具有最大的坚韧性。

【例题 2】 图 1-2 给出了脚的解剖学示意图，并标出了作用于脚上的诸力及有关尺寸，跟腱中的张力为 F_T ，胫、腓骨作用于距骨上的力为 F_B ，地面向上的托力 N 等于人体的重量 W 。人脚本身的重量与这些力比较很小，因此可以忽略不计。试求当脚跟提起单足站立时，小腿三头肌通过跟腱作用于跟骨上的力。

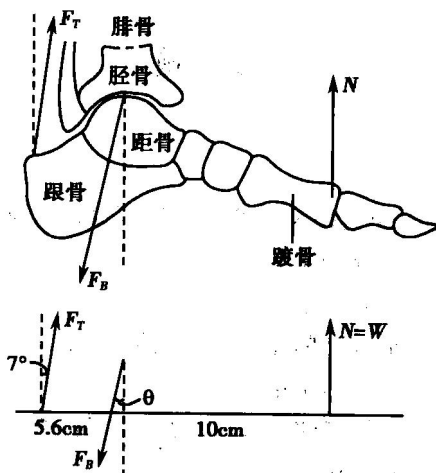


图 1-2 例题 2 图示

解：为了求提起脚跟时所需的肌张力，对脚掌应用静力平衡条件，列出下述方程组

$$F_T \cos 7^\circ + W - F_B \cos \theta = 0$$

$$F_T \sin 7^\circ - F_B \sin \theta = 0$$

$$10W - 5.6F_T \cos 7^\circ = 0$$

解此方程组得

$$F_T = \frac{10W}{5.6 \cos 7^\circ} = 1.8W$$

$$F_B \cos \theta = F_T \cos 7^\circ + W = 2.8W$$

$$F_B \sin \theta = F_T \sin 7^\circ = 0.22W$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{0.22}{2.8} = 0.079$$

$$\theta = 4.5^\circ, F \approx 2.8W$$

计算结果表明,单足站立时,跟腱中的张力几乎是体重的2倍,而通过胫、腓骨作用于距骨之力则几乎是体重的3倍,第一跖骨前端到距骨的距离较跟骨到距骨的距离大得愈多,则跟腱中的张力和对距骨的压力愈大。这就是跟腱易于撕裂和距骨易骨折的原因。

【例题3】 花样滑冰运动员绕通过自身的竖直轴转动,开始时双臂伸展其转动惯量为 J_1 , 角速度 $\omega_1 = 3\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$; 之后该运动员又把双臂交叉在胸前,此时的转动惯量 $J_2 = 0.6 J_1$, 求运动员双臂交叉在胸前转动时的角速度 ω_2 有多大?

解: 由于冰面近似于没有摩擦, 所以花样滑冰运动员的角动量守恒, 即

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$$

$$\omega_2 = \frac{J_1 \omega_1}{J_2} = \frac{J_1 \times 3\pi}{0.6 J_1} = 5\pi \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1})$$

习 题

一、选择题

- 当把肌肉看作是由多个单元模型串联时, 以下说法正确的是
 - 各个收缩元产生的收缩力不相同
 - 每个单元模型所受外力不相等
 - 肌肉的总伸长量等于每个单元模型伸长量之和
 - 肌肉长度增加, 其收缩力也增加
- 骨骼在受到外力作用时发生弯曲, 以下说法正确的是
 - 实心骨比空心骨的抗弯强度大
 - 骨骼内每一点都存在应力
 - 如果外应力过大, 则成人骨骼先从压缩处破裂
 - 如果外应力过大, 则未成年人骨骼先从拉伸处破裂
- 物体处于静力平衡的充分必要条件是
 - 所有外力的矢量和为零
 - 所有外力矩的代数和为零
 - 所有外力的矢量和为零, 所有外力矩的代数和为零
 - 所有外力的代数和为零, 所有外力矩的代数和为零
- 刚体的转动惯量与下列哪些因素无关
 - 刚体的质量
 - 刚体所受的力
 - 刚体转轴的位置
 - 刚体质量的分布情况

二、填空题

1. 肌肉的单元模型可视为_____、_____、_____的组合。
2. 骨骼的受力方式有_____、_____、_____、_____、_____、_____。
3. 人体动力学的三个基本特征是_____、_____、_____。
4. 运动员跳远与抛射体运动相似，若助跑速度 $v=10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，起跳角度 $\alpha=45^\circ$ ，则该运动员的跳程是_____。

三、问答题

1. 用希尔方程解释肌肉张力和收缩速度之间的关系。由多个肌肉三单元模型串联和并联而成的肌肉对其收缩速度和收缩力的影响有什么不同？
2. 对于湿润的密质骨应力与应变 $\frac{\Delta l}{l}$ 之间的关系如何？
3. 简述人体的动力学特征。
4. 角动量守恒定律的内容是什么？举例说明其在运动中的应用。

四、计算题

1. 一人前臂水平且与上臂垂直。前臂重 15N ，手持 40N 的重物，作用在前臂上的四个力如图 1-3 所示，计算作用在肘部的力 F 和作用在二头肌上的力 T 。

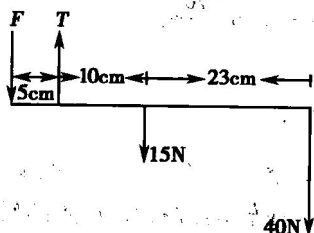


图 1-3 计算题 1 图示

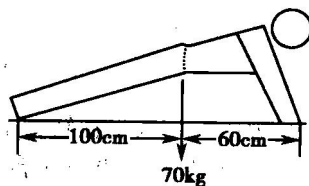


图 1-4 计算题 2 图示

2. 如图 1-4，质量 70kg 的人做俯卧撑，求作用在手和脚上的力 F 与 T 。
3. 借助三角肌的作用，人把手臂平伸出去，如图 1-5 (a) 所示；其受力状况如图 1-5 (b) 所示。已知 $\alpha=16^\circ$ ，臂的重力 $W_1=68\text{N}$ ，手内物体重力 $W_2=45\text{N}$ ，求三角肌的等效张力 T 及肩胛骨作用于肱骨的垂直分力和竖直分力。

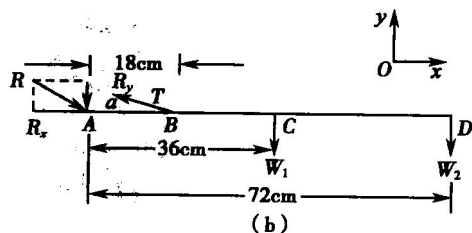
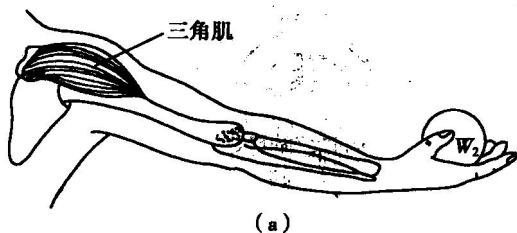


图 1-5 计算题 3 图示

4. 当人下蹲时, 其脚跟的几何形状如图 1-6 所示。试求 T 、 F 和 θ 。

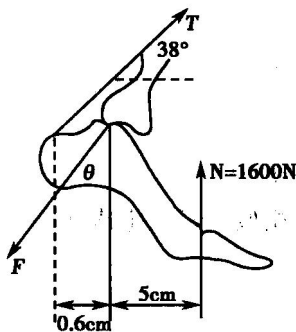


图 1-6 计算题 4 图示

5. 若患者的上臂和前臂成 90° 角, 前臂下压以反抗吊索的力, 如图 1-7 所示。设作用在腕关节, 向上的拉力 $P=100\text{N}$, 此力离肘关节中心 (支点) $L=25\text{cm}$, 前臂与手重 $Q=20\text{N}$, 其重心离支点 $L_1=15\text{cm}$, 肱三头肌与尺骨成 90° , 其作用力 F 距支点 $L_2=2.5\text{cm}$ 。求肱三头肌收缩力 F 和肘骨末端关节的反作用力 R 。

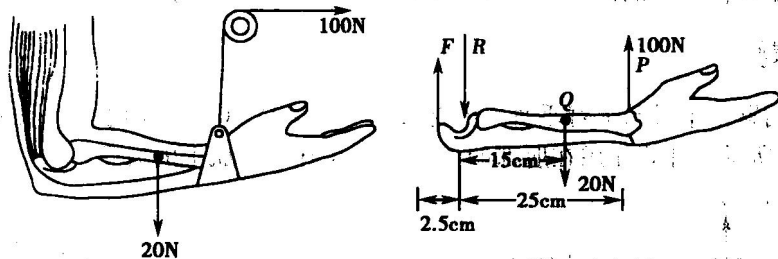


图 1-7 计算题 5 图示

6. 如图 1-8 所示, 一人坐在转台上, 两手平伸, 各握一个 $m=5\text{kg}$ 的哑铃, 哑铃距转轴 $r_1=60\text{cm}$ 。设人体的重力线与转台的轴线重合, 在转动过程中人体的转动惯量 $J_1=5\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 保持不变, 当转台以 $\omega_0=10\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 的角速度转动时, 人突然把手臂收回, 使哑铃拉近到距转轴 $r_2=20\text{cm}$ 处, 求此时系统的角速度 ω 。

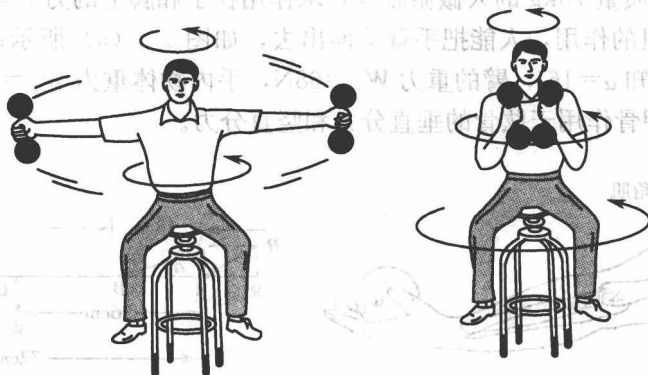


图 1-8 计算题 6 图示

7. 我们把股骨等效为一空心圆管, 若最细处的外径与内径之比为 $2:1$, 在 $6.0 \times 10^4 \text{ N}$ 的压力下发生骨折, 已知股骨的抗压强度为 $1.67 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, 求该股骨最细处的外径。

8. 图 1-9 (a) 为屈伸小腿锻炼股四头肌的装置, 图 (b) 为受力图。其中膝关节 O 为支点; 小腿长 $L_1 = OA = 60 \text{ cm}$, 受力 $F_1 = 100 \text{ N}$; 小腿重心在 B 点, $L_2 = OB = 30 \text{ cm}$, $F_2 = 40 \text{ N}$; F_3 是股四头肌的拉力, 牵拉角恒等于 30° ; C 点为股四头肌在小腿上的附着点, $L_3 = OC = 15 \text{ cm}$; F_4 是膝关节作用于小腿骨上的力, 其与水平线 (x 轴) 夹角为 φ 。求小腿与水平线夹角 θ 在 0° 、 30° 、 60° 、 90° 之间变化时, F_3 、 F_4 及 φ 角的变化。

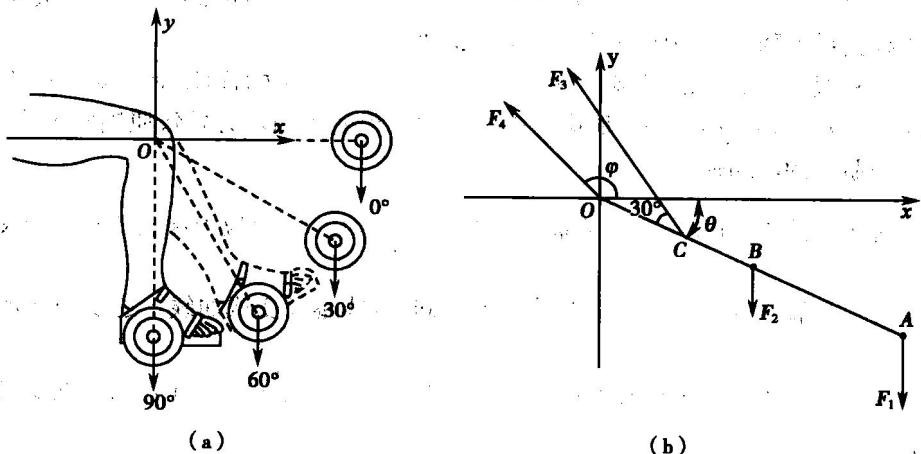


图 1-9 计算题 8 图示

参考答案

一、选择题

1. C

分析: 当把肌肉看成由多个单元模型串联时, 各单元产生的收缩力相同; 每个单元模型所受外力相等; 肌肉的总伸长量等于各单元模型伸长量之和; 肌肉长度增加, 影响收缩速度, 但不影响收缩力。

2. A

分析: 实心骨比空心骨的抗弯强度大; 骨骼中存在不受应力的中性对称轴; 成人骨骼的抗拉能力弱于抗压能力, 破裂始于拉伸处; 未成年人骨骼抗拉能力强于抗压能力, 破裂始于压缩处。

3. C

分析: 物体处于静力平衡的充分必要条件是: 所有外力的矢量和为零, 所有外力矩的代数和为零。

4. B

分析: 刚体所受的力与刚体的转动惯量无关。

二、填空题

1. 收缩元 串联弹性元 并联弹性元
2. 拉伸 压缩 弯曲 切变 扭转 复合载荷
3. 惯性特征 力的特征 能量特征
4. 10m

三、问答题

1. 希尔方程式, $(P+a)(v+b)=(P_0+a)b$ 。它指出肌肉的收缩速度 v 随负荷 P 的增大呈双曲线关系下降, 说明肌肉张力和收缩速度成反比。

对于多模型串联而成的肌肉, 由于长度的增加, 对其收缩速度有影响, 但不影响肌肉的收缩力; 对于多模型并联的肌肉, 由于横截面积的增加, 会导致肌肉收缩力的增加, 但不会影响肌肉的收缩速度。

2. 湿润密质骨应力和应变的关系是: 当应变 $\frac{\Delta l}{l} < 0.5\%$ 时应力和应变有直线关系, 即服从胡克定律, 属于弹性体; 当应变 $\frac{\Delta l}{l} > 0.5\%$ 时直线逐渐变成曲线, 这说明增加应力所产生的应变比弹性体大得多; 随着应力继续增加, 当应变 $\frac{\Delta l}{l} = 1.5\%$ 左右时曲线会突然停止, 这相应于骨断裂。

3. 惯性特征: 在动力学的研究范畴, 物体在没有受到外力之前, 将保持自己原来的运动速度, 这种性质我们称其为惯性。

力的特征: 力不是运动的原因, 而是改变运动状态的原因。力是一个物体对另一个物体机械作用的量度, 在数值上等于物体的质量 m 和该力 F 所引起的加速度 a 的乘积, 可表述为 $F=ma$ 。必须有两个物体才能相互作用, 即第一个物体对第二个物体的作用力和第二个物体对第一个物体的反作用力。这两个力大小相等, 方向相反, 作用在两个不同的物体上。

人体受到的各种力可分为外力和内力。外力是指人体以外的物体所施加的作用力, 它可以改变人体质心的运动状态 (轨迹和速度); 内力是指人体内各部分间的相互作用而产生的力, 它不能改变人体质心的运动状态。

能量特征: 人体运动时, 作用于人体的力使身体或身体的某些部位通过一定的位移, 这些力便做了功。改变人体的位置和速度, 其结果是改变了人体的能量。功表征了系统能量变化的过程, 能量则表征系统由于做功而改变了的状态。例如, 肌肉中的化学能转变为机械能 (肌肉的弹性势能), 由此而产生的肌张力做功, 转化为身体和外部物体的动能和势能。反之, 当外部物体施力于人体时, 可把动能传递给人体的相应部位, 使对抗肌伸长, 转化成这些对抗肌的势能, 并有一部分变成热能而消耗扩散。

4. 当定轴转动的刚体所受外力对转轴的合力矩为零时, 刚体对该轴的角动量不随时间变化, 即 $L=J\omega=\text{恒量}$ 。这一结论称为角动量守恒定律。

人体的各部分或整体都经常进行转动, 角动量守恒定律是分析人体转动的力学基础。

例如,舞蹈演员、花样滑冰运动员在旋转的时候,往往先把两臂张开,然后迅速把两臂靠拢身体,使自己的转动惯量迅速减小,因而旋转的速度加快。跳水运动员,在空中翻转时,先将两臂伸直,并以某一角速度离开跳板,在空中时尽量把臂和腿卷曲,以减小转动惯量,增大角速度,在空中迅速翻转,当快接近水面时,再伸直臂和腿,以增大转动惯量,减小角速度,以便竖直地进入水中。

四、计算题

1. 解:肘关节为支点,列平衡方程组如下

$$T - F - 15 - 40 = 0$$

$$5F = 15 \times 10 + 40 \times 33$$

解上述方程组得

$$F = 294 \text{ (N)}$$

$$T = 349 \text{ (N)}$$

2. 解:脚尖为支点,列平衡方程组如下

$$T + F = 70 \times 9.8$$

$$70 \times 9.8 \times 100 = F \times (100 + 60)$$

解上述方程组得

$$F = 429 \text{ (N)}$$

$$T = 257 \text{ (N)}$$

3. 解:肩关节为支点,列平衡方程组如下

$$R_x - T \cos 16^\circ = 0$$

$$T \sin 16^\circ - R_y - W_1 - W_2 = 0$$

$$T \sin 16^\circ \times 18 - W_1 \times 36 - W_2 \times 72 = 0$$

解上述方程组得

$$T = \frac{36W_1 + 72W_2}{18 \sin 16^\circ} = 1147 \text{ (N)}$$

$$R_x = T \cos 16^\circ = 1102 \text{ (N)}$$

$$R_y = T \sin 16^\circ - W_1 - W_2 = 203 \text{ (N)}$$

4. 解:列平衡方程组如下

$$F_x = T \cos 38^\circ$$

$$F_y = T \sin 38^\circ + 1600$$

$$T \times 0.6 \sin 38^\circ = N \times 5$$

解上述方程组得

$$T=2.2 \times 10^4 \text{ (N)}$$

$$F_x=1.7 \times 10^4 \text{ (N)}$$

$$F_y=1.5 \times 10^4 \text{ (N)}$$

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=2.3 \times 10^4 \text{ (N)}$$

$$\theta=\tan^{-1}\frac{F_x}{F_y}=48.5^\circ$$

5. 解：列平衡方程组如下

$$F+P-Q-R=0$$

$$P \times 25 - Q \times 15 - F \times 2.5 = 0$$

将 $P=100\text{N}$, $Q=20\text{N}$, 代入上述方程组求解得

$$F=880 \text{ (N)}, R=960 \text{ (N)}$$

6. 解：将人和哑铃看成一个系统，系统所受重力、地面的支持力都与转轴平行，即合力矩为零，所以该系统的角动量守恒。则下式成立

$$(J_1+2mr_1^2)\omega_0=(J_1+2mr_2^2)\omega$$

$$\omega=\frac{J_1+2mr_1^2}{J_1+2mr_2^2}\omega_0=15.9 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

7. 解：股骨最细处的外径为 $d=2r$ ，则该处的截面积为

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

由于发生骨折时的压力 $F=6.0 \times 10^4 \text{ N}$ ，抗压强度为 $1.67 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ，所以

$$S=\frac{F}{1.67 \times 10^8}=\frac{6.0 \times 10^4}{1.67 \times 10^8}$$

将两式联立，即

$$\pi r^2=\pi\left(\frac{r}{2}\right)^2=\frac{6.0 \times 10^4}{1.67 \times 10^8}$$

解得

$$r=1.24 \text{ (cm)}, d=2r=2.48 \text{ (cm)}$$

8. 解：列平衡方程组如下

$$F_{4x}+F_3 \cos(30^\circ+\theta)=0$$

$$F_{4y}+F_3 \sin(30^\circ+\theta)-F_1-F_2=0$$

$$F_3 L_3 \sin 30^\circ-(F_1 L_1+F_2 L_2) \cos \theta=0$$

将题目给定的 $F_1=100\text{N}$ 、 $F_2=40\text{N}$ 、 $L_1=60\text{cm}$ 、 $L_2=30\text{cm}$ 、 $L_3=15\text{cm}$ 代入上三式，解得



$$F_3 = 960 \cos \theta \text{ (N)}$$

$$F_4 = \pm \sqrt{F_{4x}^2 + F_{4y}^2} = \pm \sqrt{19600 + F_3^2 - 280F_3 \sin(30^\circ + \theta)} \text{ (N)}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{F_{4y}}{F_{4x}}$$

当 θ 为 0° 、 30° 、 60° 、 90° 时, F_3 、 F_4 及 φ 角的值分别为

$F_3 = 960\text{N}$, $F_4 = -898\text{N}$, $\varphi = 337^\circ$ (接近水平方向);

$F_3 = 826\text{N}$, $F_4 = -698\text{N}$, $\varphi = 305^\circ$ (方向指向右下);

$F_3 = 480\text{N}$, $F_4 = -340\text{N}$, $\varphi = 270^\circ$ (方向竖直向下);

$F_3 = 0$, $F_4 = 140\text{N}$, $\varphi = 90^\circ$ (方向竖直向上)。

可见, 当小腿由水平到弯曲 90° , 股四头肌的拉力 F_3 、膝关节作用于小腿骨上的力 F_4 以及该力与水平方向间夹角 φ 都是逐渐减小的; 当逆向变化时 F_3 、 F_4 和 φ 又是逐渐增大的, 如此反复, 达到锻炼股四头肌的目的。

(潘志达)

第二章 波动与声波

内容要点及例题解析

内容要点

(一) 波的产生与传播

1. 机械波的概念以及产生机械波需要满足的条件 振动在弹性媒质中的传播称为机械波。要产生机械波需要满足两个条件,一是要有最初开始振动的物体即波源;其次要有能够传播振动的弹性媒质。

2. 横波和纵波 质点的振动方向与波的传播方向互相垂直的波我们称之为横波;如果质点的振动方向与波的传播方向相互平行,则称为纵波。横波只产生于固体中,而在液体和气体中则不能传播横波,只能传播纵波。

3. 简谐波 如果波源作简谐振动,则媒质中的各质点也将作简谐振动,且振动频率与波源相同,简谐振动的传播形成简谐波。简谐波是一种最简单最基本的波动形式,一切复杂的波都可以看成是简谐波组合而形成的。

4. 声波、超声波、次声波 振动频率约在 $20 \sim 20\,000\text{Hz}$ 之间的机械波,能够引起人的听觉,称为声波;频率高于 $20\,000\text{Hz}$ 的声波称为超声波;频率低于 20Hz 的声波称为次声波。超声波和次声波都不能引起听觉,但与声波并没有本质上的区别,只是频率不同。

5. 波线、波面、波前 在媒质中人为地画一些表示波的传播方向的射线,称其为波线。在媒质中波传播到的点都将开始振动,那些同时开始振动的点,具有相同的相位,把这些振动相位相同的点连成面,我们称之为波面。离波源最远的也是最前面的那个波面我们称之为波前。

6. 波的频率、周期、波长和波速 在媒质中,质点单位时间内振动的次数称为波的频率,用 ν 表示,单位是赫兹 (Hz)。频率的倒数,即质点完成一次完整振动所用的时间称为周期,用 T 表示,单位是秒 (s)。在同一条波线上,波一个周期内传播的距离称为波长,用 λ 表示,单位是米 (m)。由前面分析可知,质点振动一个周期,波前进一个波长,波在媒质中传播的速度,即波速 u 为

$$u = \nu \lambda = \frac{\lambda}{T}$$

上式中, u 的单位为米每秒 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。注意,同一种波在不同的媒质中波速和波长