

体育学院教学参考书
运动生物力学

人民体育出版社

体育学院教学参考书

运动生物力学

苏联 德·德·頓斯科依著

北京体育学院編譯室 譯 校
上海体育学院翻譯室

王云德 黃宗誠 审

人民体育出版社

一九六四年·北京

原 版 說 明

Д.Д.Донской

Биомеханика Физических

Упражнений(2-е издание)

“Физкультура и спорт”

Москва 1960

统一书号: 7015.1165

体育学院教学参考书

运 动 生 物 力 学

苏联 德·德·顿斯科依著

*

人民体育出版社出版·北京天坛路

(北京市书刊出版业营业许可证出字第049号)

北京崇文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国新华书店经售

*

850×1168毫米1/32 156千字 印张7 $\frac{16}{32}$

1962年9月第1版

1964年6月第4次印刷

印数: 5,001—6,500册

定价 [10] 1.10元

目 录

作者的話.....	(1)
第一章 生物力学概論.....	(2)
生物力学的任务与内容.....	(2)
生物力学的发展.....	(6)
第二章 人体运动器官.....	(14)
骨和骨連結及其运动.....	(14)
肌肉系統及其机能.....	(32)
身体質量的分布.....	(53)
第三章 人体运动的特征和結構.....	(62)
运动学特征.....	(62)
动力学特征.....	(71)
运动的結構.....	(89)
第四章 生物力学研究方法.....	(101)
記錄动作的方法.....	(102)
整理記錄材料.....	(115)
生物动力学分析.....	(129)
第五章 各項运动的靜力学.....	(132)
人体平衡的条件.....	(132)
上支撐时的平衡.....	(145)
下支撐时的平衡.....	(152)
第六章 各項运动的动力学.....	(162)
人体运动概述.....	(162)

位移运动.....(169)

转动.....(197)

复杂的空间运动.....(205)

附录: 1.力学的量、单位与因次(211)

2.CCS制、MTS制及MKS制的度量衡单位(212)

3.肌肉绕各关节基本轴的运动(213)

4.肌肉参与呼吸运动(230)

5.躯干肌和四肢肌的机能(234)

作者的話

这本运动生物力学教材是为体育院校学生，以及体育教員、教練員編写的。

运动生物力学这门課程的目的，是要使讀者了解人体运动的一般規律，并且学会分析运动技术。

运动技术是不断改进的，我們在这方面的研究过程中蒐集了相当丰富的材料。但是，要在一本教科書里全面闡述那怕只是几个主要运动项目的技术问题，也是不切实际的。至于从生物力学的角度来論証某一专項运动的技术，那只是各該专項的理論問題和教法問題。因此，在这本教材里不着重分析个别的运动活动，而着重于探討各种运动練習所共有的动作的一般規律性。

在編写这本教材时，我們参考了以前出版的有关書籍，参考了体育学院教員、教練員和苏联优秀运动員在运动技术方面所作的大批研究材料。作者曾在乌克兰体育学院（1934—1941年間）、中央体育科学研究所、莫斯科斯大林中央体育学院（1946—1950年間及1956—1957年間）、莫斯科大学（1949年）和鄂木斯克体育学院等高等学校任教。这本教材就是作者根据本人在这些院校对学生、研究生、科研人員和实际工作人員講授动作分析課程时的經驗而編写的。

第二版里刪去了本書第一版中已有的关于力学、解剖学和生理学等科目的某些重复材料，补充了关于生物力学方面的一些比較專門性的問題。在生物力学的研究方法这一章里，增加了在运动訓練实践中所普遍采用的电影摄影法。修訂中参考了1958和1959年莫斯科斯大林中央体育学院举办的生物力学教师进修班在討論这本教材时所提出的意見。

第一章 生物力学概論

任何一門科学都有它的研究对象、理論和方法。在它的发展过程中，必然会与它相近的知識領域发生联系，也必然会提出和解决改进实践的任务。了解科学发展的历史，可以帮助我們更清楚地認識科学的現狀及其今后发展的趋势。本章任务就是要概括地介紹这門学科的任务和內容，闡明这門学科发展史中各个基本阶段。

生物力学的任务与內容

生物力学是論述人体和动物体运动的一門科学。它研究活体的主动运动，研究身体整体和身体各部的位置与姿势，而这些都是受支撐、运动器官的机能制約的。

不同的科学从不同角度来研究人的运动。例如，解剖学研究肌肉参予运动的过程，生理学研究有机体各个系統（神經系統、肌肉系統和心脏血管系統等等）在运动中所发生的各种过程。至于生物力学，則研究运动时有机体在空間和時間内位移的特点和引起运动的各种原因。

任何一門科学的研究对象，都不外是該門科学中最为重要的各种特殊的、專門的現象。生物力学的基本任务是什么呢？它的研究对象又是由什么来决定的呢？

生物力学研究“既已获得的运动和肌紧张的机械能，怎样才能具有一定的功能效用”（烏赫托姆斯基 А.А.Ухтомский 院士語），換句話說，就是要解决如何評價运动效果的問題。生物力

学最基本的任务，就是研究活体内原动力引起运动的各种规律性和条件。了解运动的规律性，就能在各种条件下预见到运动的效果，找出出错误的根源，正确地评定运动的效果，找出改进运动的途径，最后能作出最符合于既定运动任务的动作来。

具体的运动活动，在空间上和时间上具有各种不同的形式和性质；其间的差别以作用力的性质为转移。因此，为了实现上述基本任务，为了对运动的效果作出评价，生物力学就必须研究运动的各种形式和各种性质的特点，即所谓运动的特征，并研究能够影响这些特点的各种因素。

每一个运动活动的构成都是复杂的，都是由它的个别部分（单个动作）和特征部分联系成为一个统一的整体。这种联系，在生物力学里就叫做动作的结构。不了解动作结构，便不可能对动作作出正确的评价。

由此可见，生物力学的研究对象便是动作结构。研究动作结构，必须同运动器官的构造和机能联系起来，必须考虑到完成动作时的外界条件。

生物力学分为普通生物力学和专门生物力学两种。普通生物力学研究运动的一般性问题；既研究人的运动，也研究动物的运动。专门生物力学研究某一方面运动活动的动作特点，因此又可以把它分为运动生物力学、劳动生物力学和整形生物力学等等。

生物力学也和其它科学一样，是一门具有系统知识的科学。在生物力学的理论中和方法上，都有它自己的概念和定律。普通生物力学研究运动器官的构造与机能在生物力学方面的规律性，以及运动的一般概念和规律性。运动生物力学则研究各项运动中的动作概念和规律性，具体说来，就是揭示整个身体或身体各部维持平衡的特点（运动静力学）和外部动作的特点（运动动力学）。诸如人体的平衡、身体各部重心的运动以及其它等等定律，都属于生物力学所研究的理论范畴。同时，生物力学还采用了一些专门概念，如运动链、自由度、运动机制、动作特征等，这些概念都反映了研究对象的特点。

研究生物力学的方法，同研究它的理論一样，也是决定于它的对象的。評定一个动作，既必須研究它的局部特点，又必須研究它的一般結構。生物力学的研究方法，亦即处理有待研究的現象的方式，主要是記錄动作的定量特点和定性特征。在研究整个动作及其各种要素（单个动作）时，要从它們的相互联系和相互制約性出发，并且應該把运动活动的結構理解为統一的复杂整体。只有把分析法与綜合法配合起来，也就是說先把动作的各种特征和要素（即单个动作）析离出来，然后再确定它們之間的相互联系，这样才能弄清动作的复杂結構。

为此，便須研究动作的形式和性質，研究力对动作的影响、力的来源及其相互作用。研究动作的具体方法中包括各种記錄动作特征的方法、整理材料的方法 and 对比材料的方法。研究生物力学的方法是專門用来研究动作的結構和解决生物力学的基本任务的。

生物力学是一种界于几种学科之間的知識領域。它以力学、解剖学和生理学的材料为依据来研究运动練習。但是它本身的研究对象，即运动練習的动作結構，决不是这三門学科当中任何一門的專門对象。象生物化学、生物物理学和生物力学这样一些相关的学科，虽然也包括在生物科学的范围內（因為它們研究活体内所发生的化学、物理学和力学的規律性），但是这些学科已經发展成为生理学当中独立的專門部分。應該着重指出，必須把动作結構看作是中枢神經過程的結果和外部表現，因为神經過程調节和支配着运动器官的力学性能（維諾格拉道夫^①）。

解剖学中的动力解剖学部分也涉及有关动作的材料，其中包括各項运动練習中的动作；为了更深入了解身体的形态和构造，这些材料是不可缺少的。

生理学也同样利用一些有关动作的材料，只不过主要是从运动器官机能的一般規律性这一角度出发而已。从功能效用的角度

① М.И.Виноградов: 《劳动生理学》，1958年，俄文版。

来研究具体的运动活动，不是普通生理学的直接任务。

无论是解剖学或者是生理学，尽管它们对了解运动练习的各个方面提供了不可缺少的论据，但都不直接研究运动练习的各种具体特点。

运动生物力学是一门独立的学科，它研究各项运动的技术，丰富体育理论，并直接为体育实践服务。

运动生物力学的任务包括以下几个方面：

- 1) 评定运动练习，检查运动练习对解决既定体育任务的效果；
- 2) 研究运动技术，从动作中找出能保证取得优异成绩的主导因素；
- 3) 评定完成运动练习的质量，找出错误及其原因和后果，并找出消除错误的方法；
- 4) 总结先进经验，提高运动技术，为运动技术找出理论根据；
- 5) 研究运动技术方面各种优秀典范的特点，包括一般的典范和身体发育方面具有个别特点的典范；
- 6) 研究身体发育的机能指标，以改进训练方法，提高运动员的身体机能。

生物力学还能充实解剖学的内容，更深入地找出运动器官的形态同机能之间的联系。此外，它也能丰富生理学的内容。既然人的运动可以反映中枢神经系统各种神经过程的动态，也就是说，动作便是神经过程的具体指标，那末更深入地对动作进行生物力学的研究，就会有助于更好地理解与高级神经活动有关的一系列生理现象，例如在开始进入工作状态时，在疲劳时，以及在掌握运动技能从而形成动力定型时动作技术的变化等。

生物力学这门课程，包括动作的主要原理，以及经过总结和系统化了的研究一般客观规律的經驗。现在体育院校的学生，即未来的体育教师和教练员，掌握了生物力学课程，就能获得有关人体运动的基本知识，从而有助于提高他们的实践活动能力。

学习运动生物力学课程还有重要的教育意义。关于空间，时间和运动的概念，就是关于物质存在的基本形式的概念，关于物质的基本属性的概念，关于身体各部运动的相互联系和相互制约的概念，以及其它各种概念。掌握了这些概念，便可以促进辩证唯物主义世界观的建立。

生物力学的发展

生物力学在萌芽阶段还未和解剖学分开，17世纪以前的解剖学，在哈维研究血液循环的著作问世以前，也曾探索过有机体的机能。最初，各门科学的资料都是直接从观察中得来的；后来，实验和试验才成为研究各种现象，特别是研究动作的基本方法。然而在自然的条件下，特别是在运动过程中进行观察的方法，至今仍然具有很大价值。克拉夫梯·加伦关于运动特性的发现，是运动领域中最早的几大发现之一，也是用实验方法来实现的。

加伦是培尔加姆城斗士学校驰名于罗马的医生（公元131—201年）。他证明，由大脑发出运动神经冲动，沿着神经传至肌肉，在运动冲动的作用下，肌肉便发生收缩，从而引起各关节运动。

加伦的解剖学是依据动物，如猴、狗、羊以至象等的材料建立起来的，但因处于中世纪的黑暗时期，没有得到显著的进展。教会反动势力对任何涉及肉体的兴趣都加以压制（甚至裸体在江河里洗澡，在当时也被认为是不能赦之罪）。在这种反动势力的桎梏下，根本就谈不上研究人体的构造和人体的运动。

伟大的意大利艺术家、学者、物理学家、数学家、建筑学家、工程师、解剖学家列奥纳尔德·达·芬奇（公元1452—1519年），对人体运动发生了浓厚的兴趣。他用人的尸体研究解剖学，并首次提出了人体服从于力学定律的观念。这两件事在当时历史条件下确是很大的功绩。但是，为了逃避教会的迫害，芬奇不得不把自己的著作收藏起来。因此这些著作一直过了几百年，

才与世人见面，但这时其他学者对这个問題也已有了同样的发现。

意大利的医生和数学家鲍列里，于1679年写成了《論动物运动》一書，这是当时絕无仅有的第一部生物力学著作。这部書里发表了运用杠杆定律来測定人体重心位置的实验材料。在这部著作中他做了一种尝试，即把人和动物的位移运动，根据同周围环境相互作用的方式（如蹬高离地面、蹬离物体、向支点引体等）来进行分类。

在工业资本主义发展时期，由于自然科学发达，人们对研究活体运动的兴趣也相应提高了。1836年，德国生理学家維·維伯尔和埃·維伯尔兄弟发表了对人基本位移形式（走）的系统研究结果。他们采用了多种基本研究方法（观察躯体的起伏、測量步长、測定双脚支撑变化情况等等），創立了一套走的“理論”，同时还进行了专门观察，企图証明这一“理論”的正确性。过了几十年，有些研究者指出，維伯尔兄弟的“理論”中有許多是不正确的，例如說两腿交替移动是象鐘摆一样消极进行的这一論点便不正确。在維伯尔兄弟的实验中，可贵的是他们在研究問題时力图运用各种客观的研究方法，使之彼此相互补充，通过适当的測量，提供动作在数量方面的特征。

19世紀中叶，許多法国学者（馬勒、德美尼等人），尤其是著名的揚維尔軍事体育学校的医生們的研究，給研究动作的方法提供了許多新内容。为了提高殖民主义軍队的急行軍技术，他們特别注意走的研究。

照相的发明，对研究动作起了很大作用。因此，人們大力利用照相来研究动作。最初只是摄制单张的瞬时动作照片，后来，美国摄影师迈布里克（1877年），才开始摄制連續动作照片，他把24部照相机排成一列，自动地順序拍摄騎馬飞奔的騎士。

以后又进行了另一种尝试：用一部照相机拍摄連續动作。

馬勒的这种尝试，就是无声电影的前身。此外，当时还发明了拍摄动作照片的許許多多方法。例如馬勒利用“摄影枪”拍摄

鸽子、蜜蜂以至子弹的飞行（1882年）。他和他的学生德美尼一起，还发明了定片（固定胶片）运动轨迹定时照相法，即在镜头前装置一块旋转的遮光板（一种多孔的圆盘），能把许多的连续姿势摄在固定不动的底片上。这样一来，每个动作过程中各个阶段的姿势便能很准确地经过相等时间被拍摄下来，从而也就能够把时间的因素估计进来。

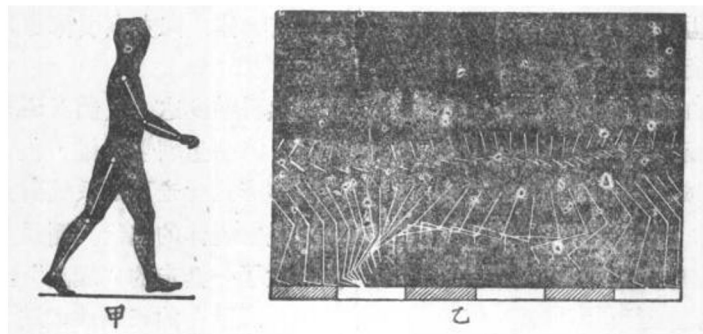


图1 定片（固定胶片）运动轨迹定时照相法

甲）受验者身着马勒氏服；

乙）跑的定时照片（据马勒的资料）。

以后，马勒又改进了这一方法。他让人穿着黑丝绒的衣服，衣服上缝着发亮的带子，以表示身体各部的轴或点，并以黑丝绒为背景，来拍摄动作。（图1）后来，马勒学派又用小电灯泡代替发亮的带子，把这些灯泡装在各关节轴上，根据两个灯泡的位置便能准确地判断身体每一部分的位置。每隔相等时间拍摄一次光点的运动（固定胶片运动光点连续照相法），结果便能获得轨迹的光点虚线（运动光点连续照片）。（图2）这样在研究动作时，就能够测出运动点的空间座标来，同时还能提高拍摄的频率。但是，用上述各种方法所获得的材料，当时尚缺乏深入的分析。

德国学者维·布拉温和欧·菲舍尔（20世纪）又向前迈进了一步。他们研究了身体各部的相对质量和重心的位置（译者按：Массы一字在一般情况下多指重量而言）；他们求出速度与加速

度，測定身体各部的質重，試圖進而計算引起加速度的力。雖然他們獲得了大批的實際材料，但仍未能作出廣泛的概括，找出新的一般運動規律。

在帝國主義時代，由於資本主義剝削加劇，生物力學的研究方法也大大普及了。列寧在他的“榨取血汗的“科學”制度”（1913年）和“泰羅制是用機器奴役人的制度”（1914年）兩篇文章里，非常注意地談到這一

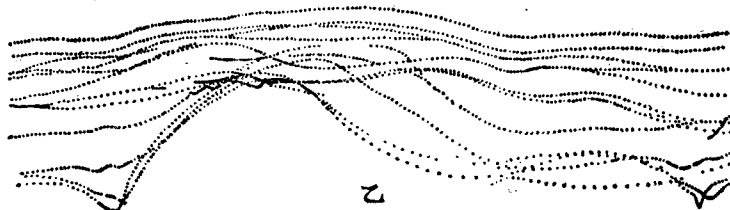
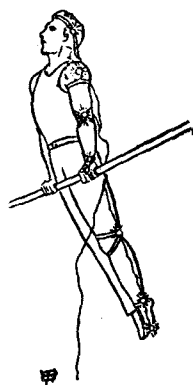


圖2 運動光點連續照相法

甲) 在拍攝單杠練習時受驗者的裝束；

乙) 跨欄跑的動點連續照片底版（據柯庫諾夫Кокунев）。

點。列寧仔細地研究了“一系列的最豐富的科學成就，即按科學來分析人在勞動中的機械動作……等等”（“蘇維埃政權的當前任務”，1918年），並且指出了如何利用動作的科學研究來提高社會主義勞動生產率的途徑。這在資本主義條件下，是聞所未聞的。

後來，蘇聯的學者們（凱克切也夫Кекчеев、吉洪諾夫Тихонов等人）也採用了運動光點連續照相法。伯恩斯坦（Н.А.Бернштейн）改進了這一方法，他創造了活動膠片攝影（活動膠片運動光點連續照相法）和反射鏡式運動光點連續照相法，改進了儀器設備，並與他的同事一起共同簡化了計算方法。這樣，人們就能獲得日常生活、勞動和運動當中許多動作的廣泛研究材料，從而也就能找出人體運動當中的許多重要因素和規律。

与此同时，电影摄影也得到了广泛发展，人们开始利用电影来研究劳动和运动的各种动作。在战后时期，为了研究运动练习，阿巴拉柯夫（В.М.Аблаков）制作出了一整套的记录仪器。

随着新的研究方法的出现，每一门科学的发展前途就变得更加广阔了。“人们常说，科学的发展须有动力，这要依靠方法上的成就。方法每向前迈进一步，我们也就能随之提高一步，这样就能给我们打开更为广阔的眼界，让我们看到前所未有的事物”

（巴甫洛夫 И.П.Павлов ①）。但仅仅出现新方法，未必能标志出科学发展的新阶段。例如在维伯尔兄弟的著作问世以后，尽管应用了新方法蒐集了大量实际材料，但动作理论方面却几乎未见任何新的进展。其原因在于动作理论仍然缺乏科学的方法学基础。这个基础就是谢琴诺夫（И.М.Сеченов）和巴甫洛夫关于高级神经活动的生理学说。

谢琴诺夫（1829—1905）的新观念对科学地阐述动作具有头等重要意义。他提出了一条原理，即“大脑活动的多种多样外部表现，最终只能归结于一个现象——肌肉的运动”（《大脑的反射》，1863年）。谢琴诺夫揭示了一切随意运动和不随意运动的反射特性，为研究动作提供了科学的生理学依据。他的许多著作都探讨了肌肉感觉的问题，因为肌肉感觉能够保证以反射方法支配动作。谢琴诺夫是俄国第一位劳动生理学家，他对于掌握动作的问题有浓厚的兴趣。1889年，他曾在莫斯科大学讲授人的功能运动生理学课程。他的最后一本著作——《人的功能运动概论》（1901年），直接阐述了动作的生物力学分析问题。

乌赫托姆斯基院士（1875—1942年）发展了这个从生理学论证动作的方向，他在《神经系统生理学概论》和《运动器官生理学》这两本著作中详尽地研究了肌肉工作的问题；在《运动器官生理学》这本书里，专有两章题为“肌肉力学”和“生物力学”，专门阐述了这个问题。

① 巴甫洛夫全集，第二版，第二卷，第22页，1951年，俄文版。

維諾格拉道夫(Н.Е.Виноградов)是維金斯基(Н.Е.Введенский)和烏赫托姆斯基的學生，也是他們學派的繼承者。維諾格拉道夫在《勞動過程生理學》(1958年)一書中曾應用功能運動生物力學的大批材料，從生理學觀點出發論證了勞動活動。

緊密結合解剖學的研​​究來創立運動生物力學這一任務是由列斯加夫特(П.Ф.Лесгафт, 1837—1909年)實現的。他是第一個深入研​​究體育問題的解剖生理學基礎的人。列斯加夫特在探討理論解剖學基礎的時候，揭示了各種器官，尤其是運動器官在構造方面的一般規律性，企圖找出器官的形態同機能之間的聯系。

列斯加夫特和謝琴諾夫一樣，把有機體當作一個完整的系統來對待，並且特別重視外界環境對於有機體的重大影響。他在《理論解剖學基礎》(1892年)一書中，始終貫穿着這樣一個思想：研究完整性的活體，必須把外界環境對它的影響密切地聯繫起來，把機體的機能同形態聯繫起來，把各種器官相互聯繫起來。尤其明顯的是，他在自己的學說中總是把骨骼系統同肌肉系統結合在一起，因為這兩個系統具有共同的機能，具有不可分割的聯系。

列斯加夫特於1877年開始講授他所編著的《身體運動理論》教程，這本教程包括有關人體的各種比例、姿勢和動作等材料。這本論證體育教法的教程，以後還在列寧格勒體育學院講授過。1931年，又根據科奇科娃(Е.А.Котикова)的建議，把這本書改名為《運動生物力學》教程。

列斯加夫特的學生克拉蘇斯卡婭(А.А.Красуская, 1854—1941年)和科奇科娃(1889—1945年)繼承了列斯加夫特的工作，並整理出版了他的《肌肉系統解剖學》講稿(1938年)。

在20世紀上半葉，機能方向已經成為解剖學發展的基本方向。這種方向在外國學者(布拉烏斯, 1921年；莫立叶, 1924年，等人)的許多著作中也得到了反映。

在這方面，依萬尼茨基(М.Ф.Иваницкий)教授創立了解剖學的一個新章節——“動力解剖學”。這一新章節包括了前輩解剖

学家(奥·菲舍尔、尔·费克、格·施特拉謝尔等人)对人体运动器官的研究成果,其中也包含了依万尼茨基本人研究运动器官整体构造与运动练习时的机能所得的丰富资料。

依万尼茨基在《动力解剖学笔记》(1934年)、《人体运动》(1938年)和《人体解剖学》(1956年)等著作中所阐述的材料,进一步发展了解剖学的机能方向。这些著作在颇大程度上同运动生物力学接近,然而这两门学科的任务是不相同的。这些材料是通过解剖学研究方法蒐集的,但没有运用,也不可能运用定量测定和定量分析动作的方法。因此,不可能提出测定功能效用的任务来,而这一任务恰恰是生物力学的最基本的任务。这些材料,由于引用了在各项运动练习中人体动作和姿势的解剖学特征的大量资料,从而大大丰富了研究动作的经验。

由科奇科娃主编的《运动生物力学》教材对培养体育干部起了巨大作用。这本教材是科奇科娃同列斯加夫特体育学院生物力学教师以及列宁格勒体育科学研究所生物力学学部同志(科捷里尼科娃Е·Г·Котельникова、科里亚科夫斯基И·М·Коряковский、謝苗諾夫 И·М·Семенов和索罗金В·Ф·Сорокин)集体编写的。这部教材不仅提高了人们对生物力学的兴趣,而且还提高了人们对它的理论意义和实践意义的认识。从这时起,所有运动科目的教科书都经常引用运动技术的生物力学分析材料。近几年来,苏联许多科学工作者和研究生,其中有许多是杰出的教练员和运动员,在运动技术方面蒐集了大批研究资料。

在国外,许多国家的专门学校都开设动作研究课程,只是名目各異罢了,如美国通常称为人体运动学,法国称为动作分析,德国叫生物力学等等。在这当中,有的比较接近于生物力学,有的接近于动力解剖学,有的则简直就跟运动力学无异。但不管怎样,都道出了科学论证运动动作的必要性。

在研究动作这个方面,对于动作的特性曾有过种种机械论的观点。例如,把力学定律同动作的生物力学方面割裂开来孤立地加以运用,亦即把生物学方面质的特点简单地归结为力学方面量