

体育科技



人民体育出版社



本社启事

我社将出版中华全国体育科学学会的学报——《体育科学》。为避免选题和取材上的重复，我社编辑的《体育科技》到本期为止，不再出版发行。各地作者寄来的稿件，将由我社转交中华全国体育科学学会处理。我们对许多科学、体育工作者以及广大读者给予《体育科技》1—8期的支持，仅此表示衷心的感谢！

人民体育出版社

1981年6月1日

体 育 科 技

(8)

人民体育出版社编辑出版

体育报印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 1/16 100千字 4印张

1981年10月第1版 1981年10月第1次印刷

印数：1—9,200册

封面设计：王之久

责任编辑：周大强、薛良森、陈文浩

统一书号：7015·1867 定价：0.45元

— 目 录 —

运动技术与训练

- 单杠单臂向后大回环技术原理及其特征的研究…………… 欧文勤 刘荣曾 (2)
- 羽毛球击球手法…………… 林传潮 (16)
- 跳远的踏跳原理…………… (苏)B·丘帕、H·亚库宁等 (22)
- 改进我国速滑技术的几点意见…………… 王金玉 (26)
- 关于足球战略战术几个问题的探讨…………… 赵立华 魏协森 (29)

运动力学分析

- 篮球脚步动作的力学分析…………… 韩之栋 (34)
- 动力与阻力
- 短跑途中跑前支撑阶段生物力学分析…………… 金荣驹 (38)
- 惯性力及其在分析体育动作时的应用…………… 辽宁省体育科研所 袁庆成 (41)
- 高重心式起跑力学分析…………… 华南工学院 彭 华 苏增雄 (45)
广州体育学院 洪春森

体 育 科 研

- 跑的训练强度算图和百米平均步长、步频、速度算图…………… 天津体育学院 刘天庚 (49)
- 测量技术图片人体重心的方法——比合法…………… 山东师范学院 邱杰三 (52)

学 校 体 育

- 循环练习法在体育教学中的运用…………… 李习友 张耀辉 李安之 (55)
- 小学体育应如何照顾男女学生的差别…………… 野口昌广 (61)

单杠单臂向后大回环

技术原理及其特征的研究

国家体委体育科学研究所 欧文勤 刘荣曾

单杠单臂向后大回环是1979年国际体坛上出现的新型独特动作。在第廿届世界体操锦标赛上,苏联运动员特卡切夫和日本运动员监物成功地完成了单臂向后大回环转体180°的新型联合动作,我国运动员童非也出色地完成了单臂向后大回环动作。

通过我国集训队训练实践的经验表明,单臂向后大回环不仅可以发展转体换握动作,而且可以发展为高难度空翻抓杠动作和复杂的下法。随着单臂大回环的出现,将给单杠技术的发展开辟新的领域。由此可见,及时研究单臂向后大回环动作的技术原理及其技术特征,对推动我国单杠技术的发展有重要的实际意义。

国家集训队的教练员和运动员在单臂大回环的教学训练实践中已经积累了相当丰富的实践经验,在总结经验的过程中,提出了以下几个主要问题:

1. 什么时候撒开一只手较为合适?
2. 单臂下摆技术能不能采用鞭打波浪技术?
3. 运动员在完成单臂向后大回环时要负荷多大力?
4. 要发展转体空翻抓杠及下法等高难度动作,对单臂向后大回环技术有哪些要求?

对上述提出的问题,必然要涉及到研究单臂大回环技术原理的理论问题,同时也不可避免地要对单杠的受力进行实际的测定,以便从

动力学的指标来认识技术的内在特征。

我们过去研究单杠技术,着重从运动学原理的研究。例如齐世闻、刘荣曾在研究李月久单杠团身后空翻三周下时,提出了外力矩做的功等于转动动能的改变量(如图1),力学公式:

$$Pl(1 - \cos Q) = \frac{1}{2} J \omega^2 - \frac{1}{2} J_0 \omega_0^2,$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \frac{2Pl(1 - \cos Q)}{J_0}}$$

以动力学指标来研究单杠单臂大回环的技术原理在我国还是第一次。七十年代苏联出版的体操专著中没有单臂大回环技术原理的论述。那扎洛夫在1973年论述的双臂大回环原理中,谈到了在支撑部位时重力的法向分力和旋转运动向心力互相相减,而在悬垂部位时相

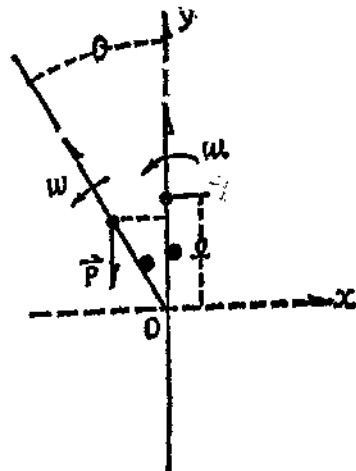


图1 重力做功示意图

加。1979年出版的苏联体操教科书中虽然有双臂向前大回环的动力学研究，但没有用具体的力学公式来表示人体受力的特征。所以对单杠单臂大回环动作的技术研究，不仅有实际价值，而且有理论价值，对发展我国体操技术的基础理论也有着重要的意义。

本文采用应变测力原理，测出正交二维动力曲线图。在测力同时，配合电影打点摄影（每秒50点）与测力同步。运用该方法共收集了国家集训队完成单臂向后大回环连续二次的三名运动员（邹利敏、童非、傅鲁明）和北京队一次单臂向后大回环动作的三名运动员（杨岳山、赵庚波、周宝庆）的动作。上述六名运动员所完成的动作是当时全国最好的。为了更清楚地分析动力曲线的特征，把正交二维力（ N_y 、 N_x ），根据 $N = \sqrt{N_y^2 + N_x^2}$ 作出合力曲线图，并深入地分析技术特征，运用十六毫米影片解析装置，计算出重心和踝关节的线速度变化曲线和轨迹，根据重心半径的变化，计算出重心的角速度。

研究结果

（1）撒开一只手的时机与角速度的大小有关

训练经验和我们的研究表明，单臂向后大回环撒开一只手时，重心必须靠向支撑臂，以便保证在单臂大回环过程中，重心能沿握点垂直面做近似的圆运动（如图2）。移动重心时为了提供充分的时间，使单臂握获得稳固的支撑，一般在撒开一只手时，角速度普遍较慢（见表一）。由于角速度较慢，向心力（或称惯性离心力）也较小。此时重力的法向分力大于向心力（即： $mg\cos\Phi > m\omega^2 l$ ），单杠向下弯曲。在这种情况下（忽略空气阻力和摩擦力），人体受到三个力——重力（ P ）、水平支撑反作用力（ N_x ）和垂直支撑反作用力（ N_y ），（如图3）。

按质心运动定理：

$$m\omega^2 l = mg\cos\Phi - (N_y\cos\Phi + N_x\sin\Phi)$$

$$\text{或： } N = mg\cos\Phi - m\omega^2 l \dots\dots\dots ①$$

$$ml\beta = mg\sin\Phi + N_x\cos\Phi - N_y\sin\Phi \dots\dots\dots ②$$

把撒开一只手时测出的力（ N_y 、 N_x ）代

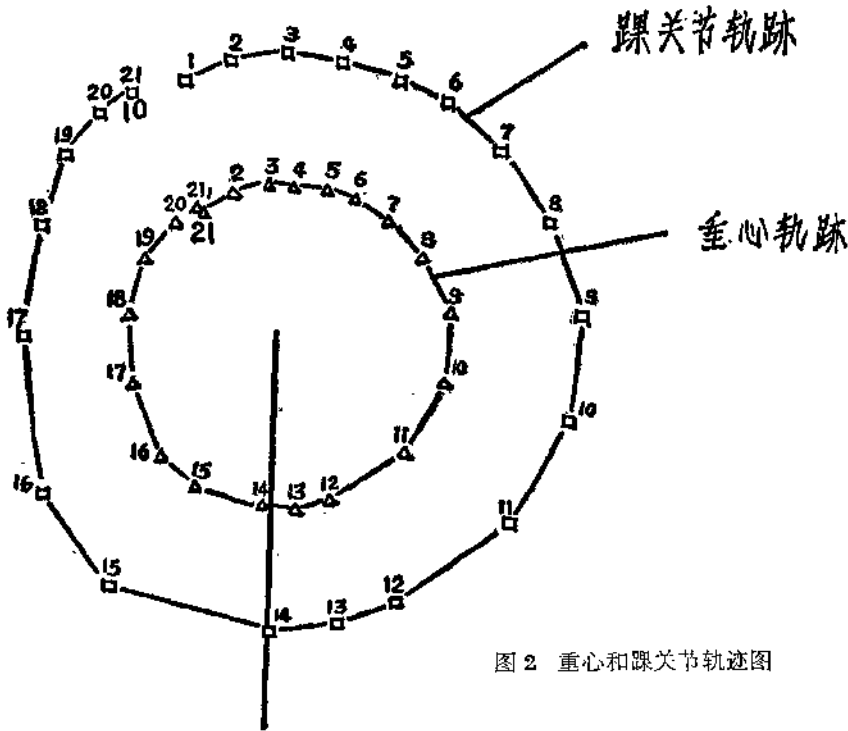


图2 重心和踝关节轨迹图

入公式①、②，使得表一的材料。从表一可看出，角速度的大小，主要取决于反作用力的大小，即支撑反作用力越大（单杠向下弯曲越大），角速度越小。

从公式②和表一还可看出切向力的大小，在体重差别不大的条件下主要取决于撤开一只手时的部位（重心与杠上垂直线的夹角）。如表一动作顺序中1、2、5、6四名运动员，体

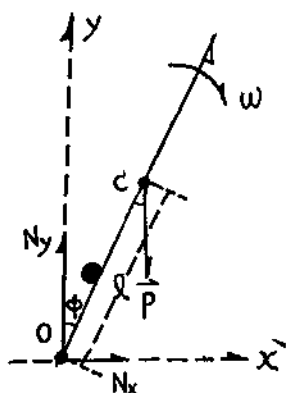


图3 支撑下摆受力图

重分别为58、59.5、61、58公斤，从表一比较可看出，撤开一只手越晚（ ϕ 越大），切向力越大。

从表一还可以看出，每个运动员撤开一只手的时机各不相同，多数运动员一般在重心通过杠上垂直线 20° 以后进行。在角速度比较慢的条件下撤开一只手的位置，一般在杠上垂直线约 20° — 30° 左右较合适（见表一和动力图8、9之①）。

表一中动作顺序3撒手最早，而且角速度也最快，说明该运动员在撤开一只手前的双臂大回环角速度比较快。由此可见，撤开一只手的时机（早或晚）是与前一个双臂大回环角速度的快慢有直接的联系。

由于撤开一只手是在向下压杠条件下进行

表一

撤开一只手时运动学动力学指标比较

顺序	姓名	与杠上垂直线夹角 (度)	肩角 (度)	髋角 (度)	单杠反作用力 (公斤)		切向力 (公斤)	切向加速度 (米/秒 ²)	向心力 (公斤)	角速度 (弧度)	向心加速度 (米/秒 ²)
					X	合力					
1	邹利敏	20°	170°	180°	5	46.3	8.83	1.49	9.6	1.24	1.62
					46						
2	童非	27°	170°	180°	7	28	20.98	3.45	25.8	2.06	4.25
					27						
3	傅鲁明	2°	169°	179°	0	3.9	1.41	0.31	40.6	3.09	8.94
					3.9						
4	杨岳山	29°	175°	162°	1.5	14.7	13.10	3.30	20.6	2.40	5.18
					14.6						
5	赵庚波	36°	163°	180°	7	15.8	33.17	5.3	33.66	2.14	5.41
					14.2						
6	周宝庆	30°	163°	178°	8.5	27.4	23.36	3.95	23.46	1.8	3.96
					26						

的，此时身体各环节有压向单杠的趋向。在这种情况下要想保持一定的肩角和伸直身体，运动员的肩部和三角肌前部以及背部肌肉都应保持一定的紧张，做适当的顶肩推杠动作。

(2) “无重量”时相的位置和运用

通过研究表明，在单臂支撑下摆和支撑上摆到一定部位时，便出现重力的法向分力恰好提供向心力的瞬间，也就是重力的法向分力等于惯性离心力。即： $mg\cos\Phi = m\omega^2 l$ 。这时运动员既没有感受到有向下压杠，也没有感受到有向外拉杠，单杠本身不受力，反作用力等于零，即 $N = 0$ （见表二和图4、8、9之②）。

表二 单臂大回环“无重量”时相的位置

顺序	姓名	单臂下摆	单臂上摆
		与杠上垂线夹角	与杠上垂线夹角
1	邹利敏	47°	44°
2	童非	57°	24°
3	傅鲁明	55°	35°
4	杨岳山	63°	34°
5	赵庚波	45°	46°
6	周宝庆	58°	40°

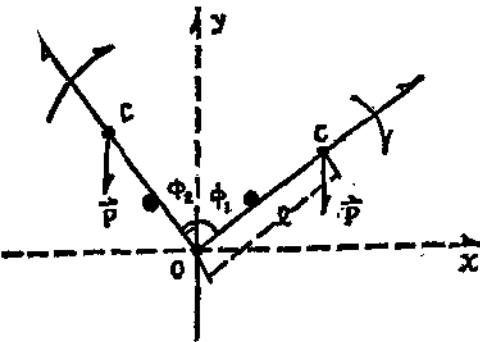


图4 “无重量”时相示意图
 $mg\cos\Phi = m\omega^2 l$
 $\Phi_1 = 54^\circ \quad \Phi_2 = 37^\circ$

我们在研究中发现，单臂支撑下摆的“无重量”时相在杠上垂直线后约47°—63°之间，平均为54°左右。单臂支撑上摆的“无重量”时相在杠上垂直线前约24°—46°之间，平均为37°左右。

“无重量”时相在单臂向后大回环中是可以利用的重要因素，在“无重量”瞬间，手是“自由的”。在单臂支撑下摆的这个瞬间，运动员应及时加强做扣腕握杠的动作，为随后的悬垂下摆加大握杠力量创造有利条件。在支撑上摆的瞬间，还可以发展各种换握及转体类的新型联合动作。

(3) 支撑下摆后半部的力学原理及技术特点

支撑下摆经过瞬间的“无重量”时相后，由于旋转角速度的增加，重力的法向分力不足以提供向心力，还必须用手拉单杠来补充。此时便出现重力的法向分力小于向心力（即 $mg\cos\Phi < m\omega^2 l$ ），单杠向外弯曲（如图5）。

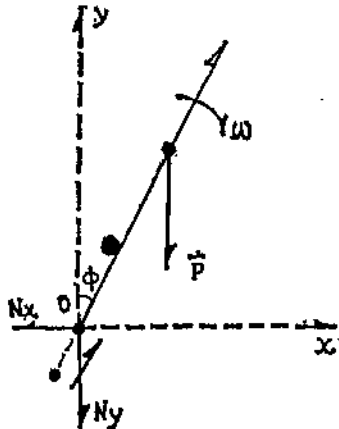


图5 支撑下摆受力图

从图5人体受力示意图看出，此时支撑反作用力的方向与撒开一只手时正好相反，其支撑反作用力的大小为：

$$N = m\omega^2 l - mg\cos\Phi$$

这时运动员感受到的法向力（N）是向外的拉杠力。在这种条件下，身体各环节有向外运动的趋向，因此运动员要想保持一定的肩角和伸直身体下摆，必须使身体前面的肌肉保持一定的紧张度，做适当的拉压杠动作。

(4) 悬垂下摆的力学原理及技术特点

当进入悬垂下摆后，由于旋转角速度的不断增加以及重力的法向分力的加大，单杠的反作用力也随之加大。特别重要的是重力的法向

分力方向改变, 指向外背离单杠轴, 因此它不仅不能提供向心力, 反而加大了手握杠的负荷(如图6)。

从图六可以得出:

$$m\omega^2 l = N_y \cos \Phi + N_x \sin \Phi - mg \cos \Phi$$

$$\text{或: } N = m\omega^2 l + mg \cos \Phi \dots\dots\dots ①$$

$$m l \beta = mg \sin \Phi + N_x \cos \Phi - N_y \sin \Phi \dots ②$$

根据图六和公式①可知, 进入悬垂下摆后总反作用力(N)等于旋转运动向心力($m\omega^2 l$)加重力的法向分力($mg \cos \Phi$), 这与支撑部位情况绝然不同(在支撑部位时为二力相减), 因而手握杠的负荷突然加大, 这可以从动力图的合

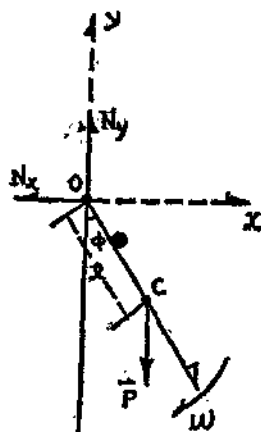


图6 悬垂下摆受力示意图

力曲线图看出来。在这种条件下, 运动员握杠的手应更加牢固地做扣腕握杠动作, 而不应做翻腕动作。

苏联的那扎洛夫和1979年体操教科书中在论述单杠大回环技术原理时, 提出悬垂下摆至杠下垂直面时受力最大。但在我们的研究中发现, 悬垂下摆的最大受力多数不在杠下垂直面, 而是在杠下垂直面前(表三单臂下摆)。

从动力图的合力曲线变化可看出, 下摆的最大力波峰出现在杠下垂直面前, 而后下降(如动力图7、8、9之④、⑤)。

经研究表明, 上述现象是与下摆技术密切联系的。如邹利敏在下摆至最大力后做明显的鞭打振浪和沉肩动作, 这种动作产生躯干和下肢相对于手臂的反向旋转, 同时在沉肩过程中背弓变小, 加大了旋转半径, 从而导致角速度减慢, 向心力减小(在这情况下, 半径的增量很小, 但角速度按平方减少), 总反作用力也减小。角速度在接近杠下垂直面过程中减小, 是

表三

单臂大回环最大反作用力比较

顺 序	姓 名	单 臂 下 摆			单 臂 上 摆				
		最大反作用力(公斤)	与自身体重比(倍)	与杠下垂直线夹角(度)	最大反作用力(公斤)	与自身体重比(倍)	与杠下垂直线夹角(度)	肩角	髋角
1	邹利敏	209	3.6	35°	211	3.64	45°	175°	150°
2	童 非	212	3.56	8°	无	无	无	无	无
3	傅鲁明	164	3.68	0°	179	4	35°	166°	156°
4	杨岳山	150	3.85	7°	153	3.92	38°	166°	145°
5	赵庚波	215	3.52	15°	无	无	无	无	无
6	周宝庆	202	3.48	35°	213	3.67	36°	175°	163°

与重心的切向速度下降有直接的关系(如图10、11)。又如童非和周宝庆二名运动员, 在下摆接近杠下垂直面过程中, 虽然没有做明显的鞭打振浪和沉肩动作, 但做了压肩背腿

出背弓的动作, 这同样产生下肢和躯干相对于臂的反向旋转, 同样导致重心切向速度和角速度的下降(如图12——15), 因而总反作用力也下降。

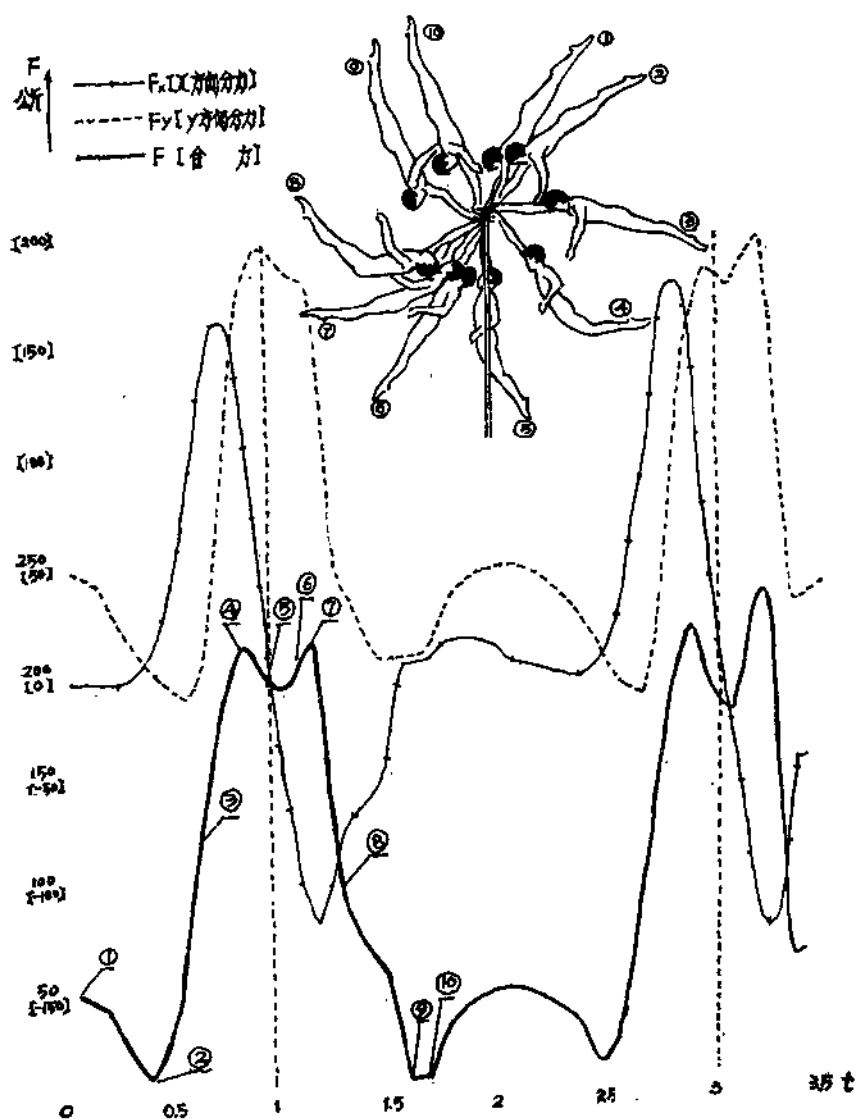


图 7 邹利敏单臂大回环动力图

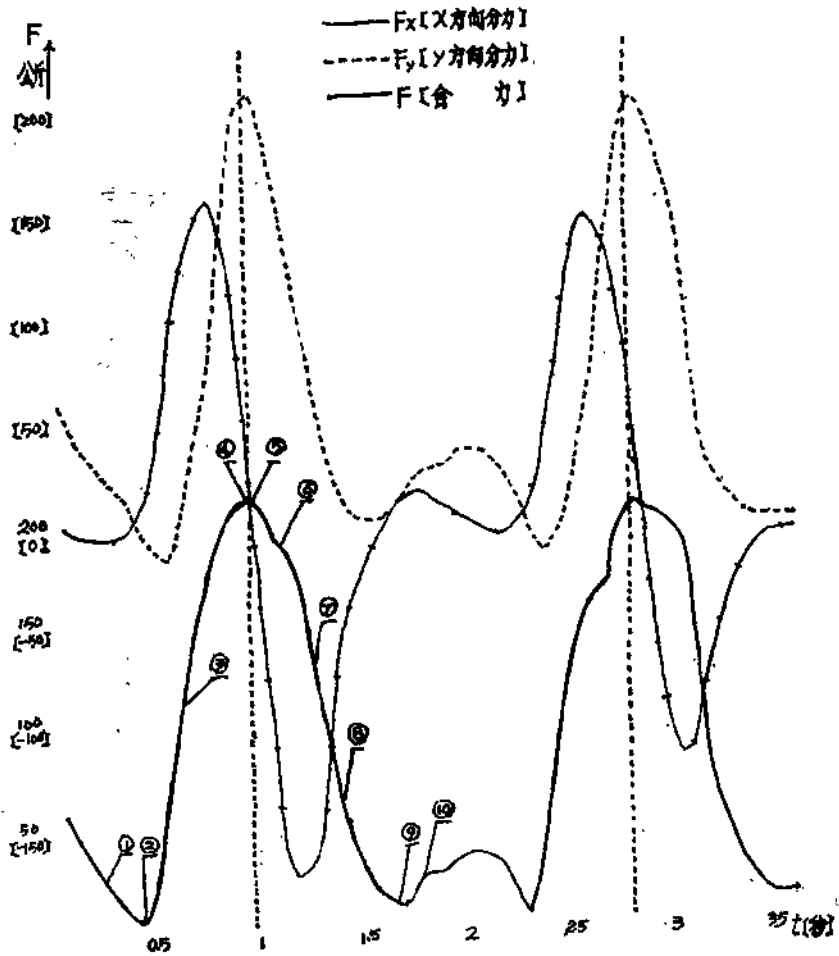
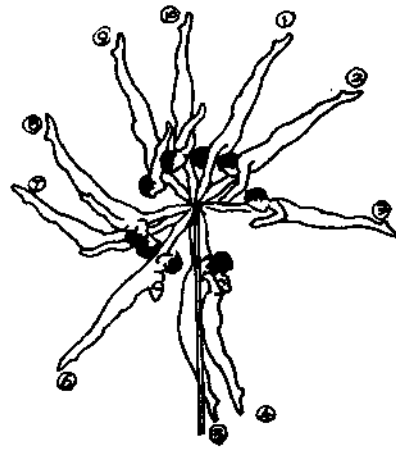


图8 童非单臂大回环动力图

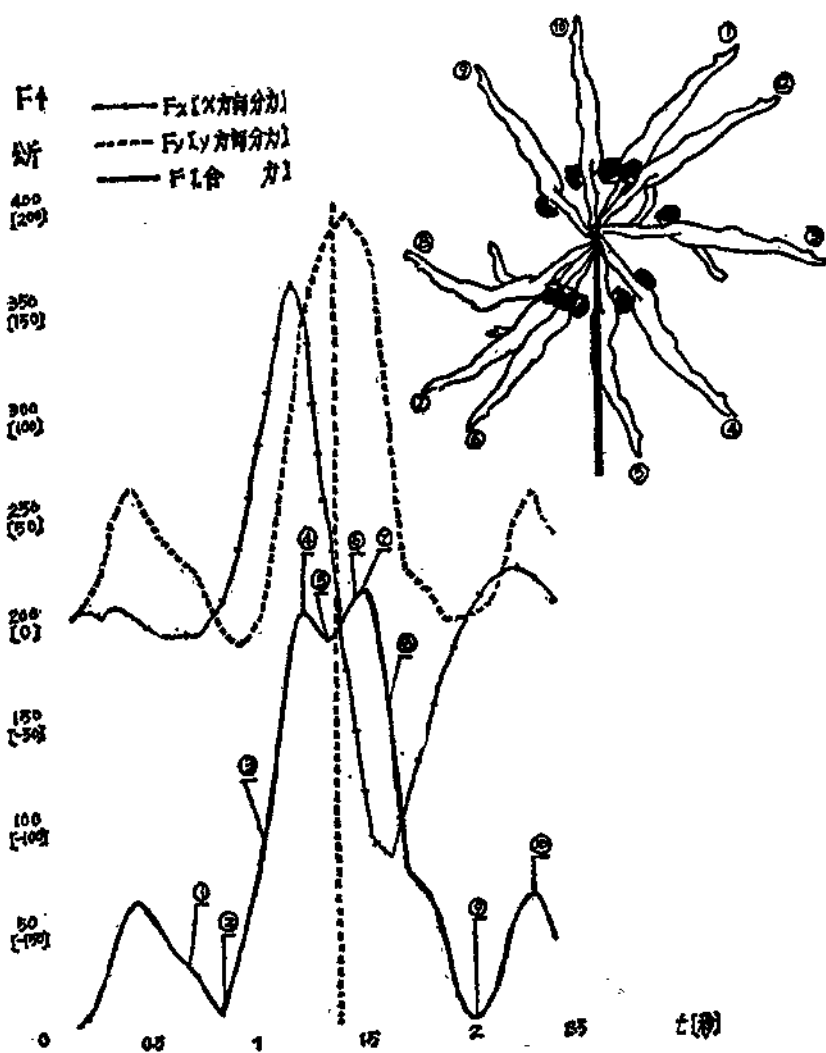


图9 周宝庆单臂大回环动力图

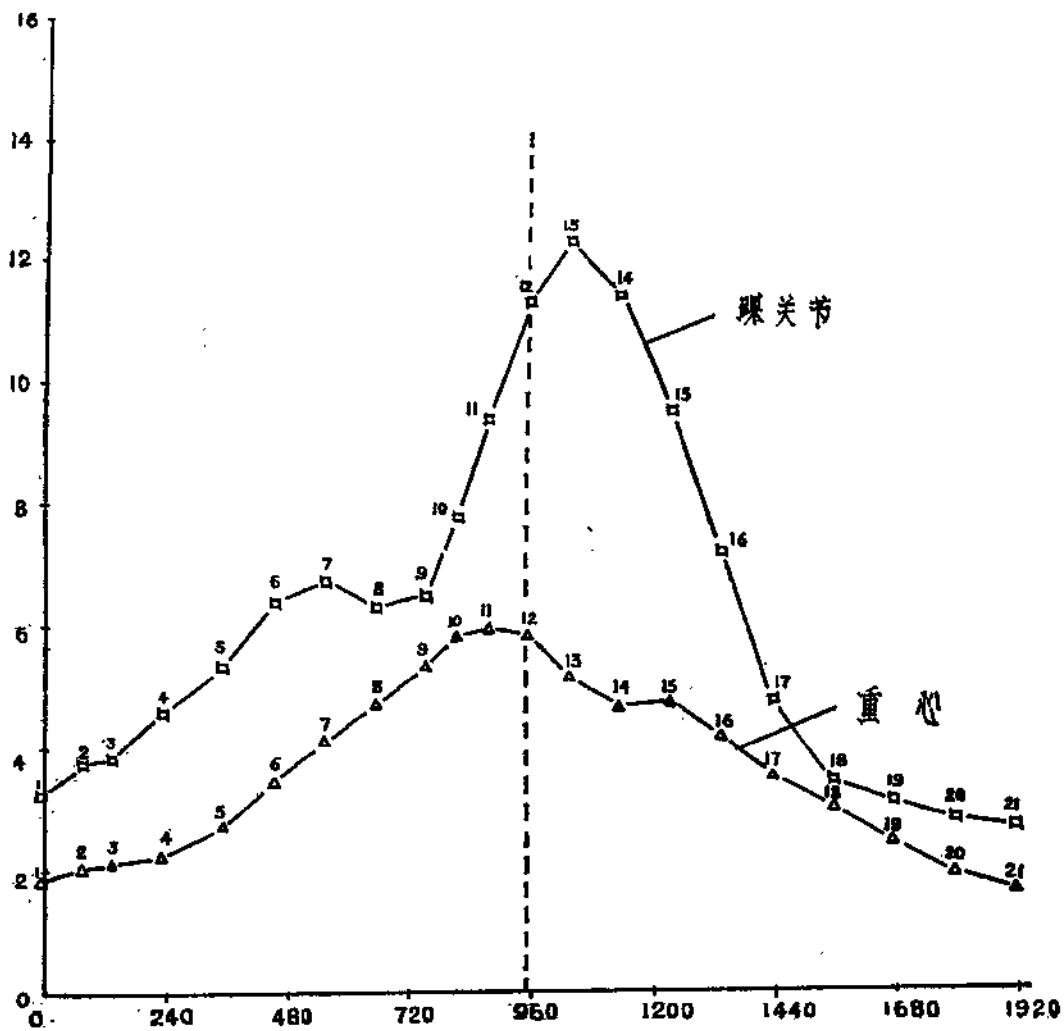


图10 邹利敏的重心和踝关节速度

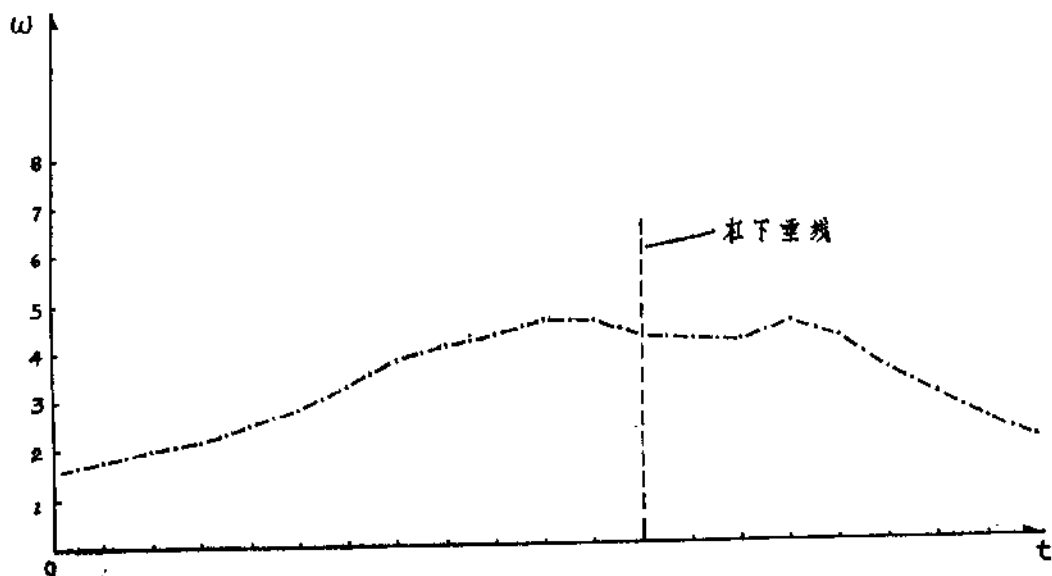


图11 邹利敏的重心绕单杠轴的角速度

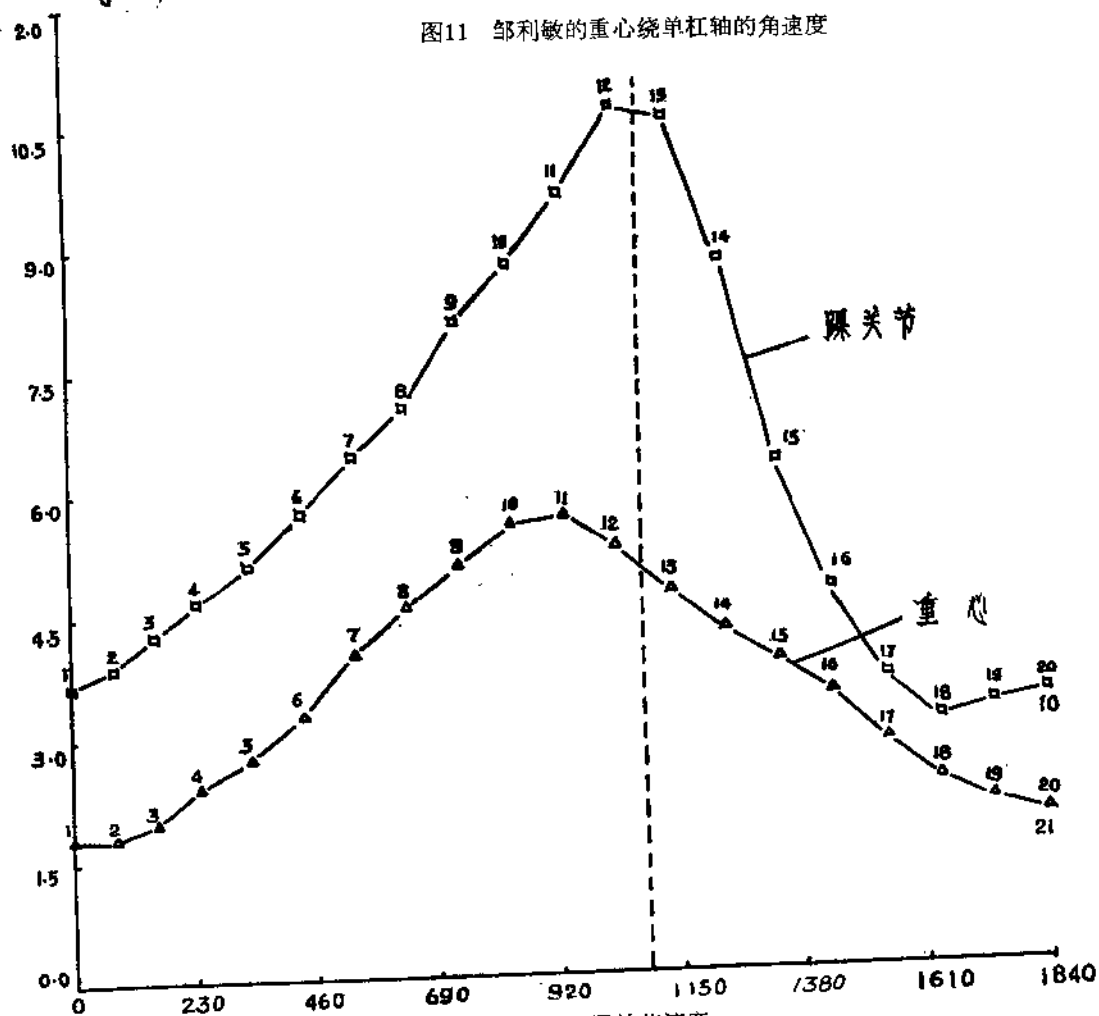


图12 童非的重心和膝关节速度

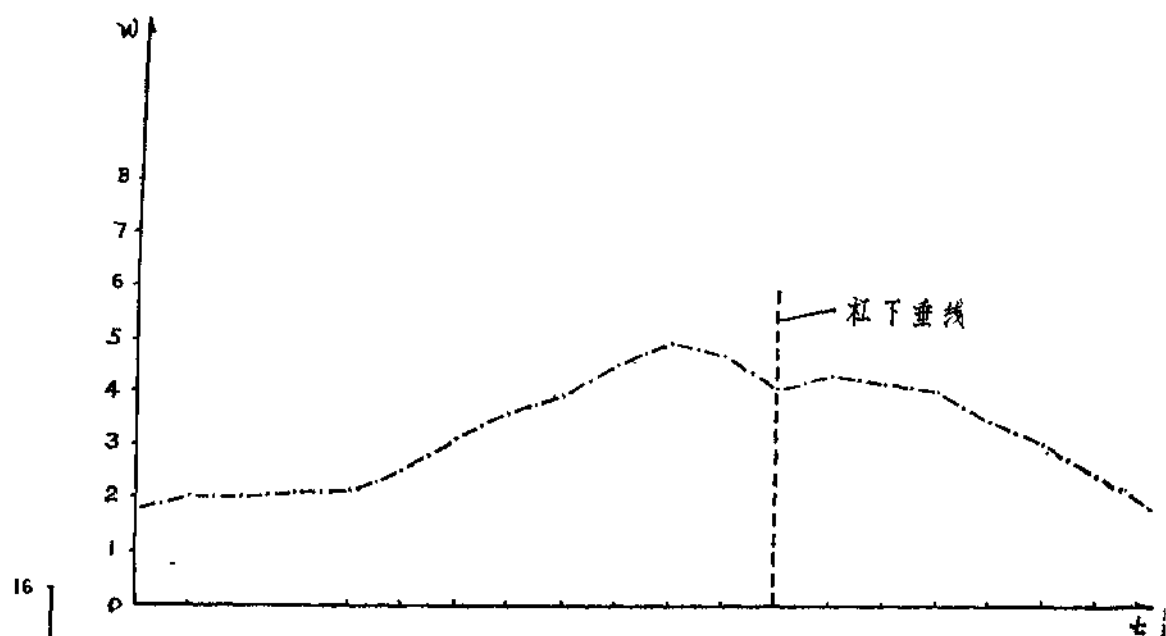


图13 童非的重心绕单杠轴角速度

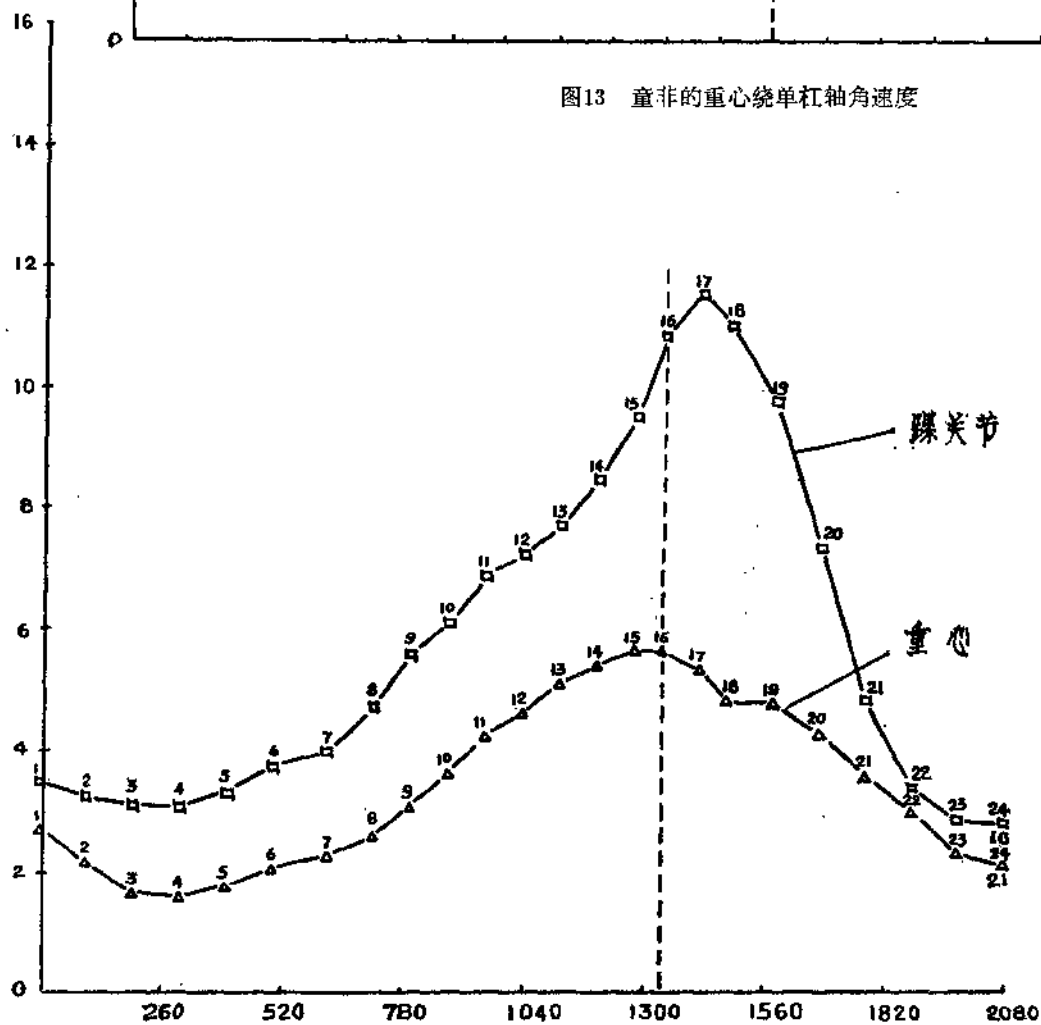


图14 周宝庆的重心和踝关节速度

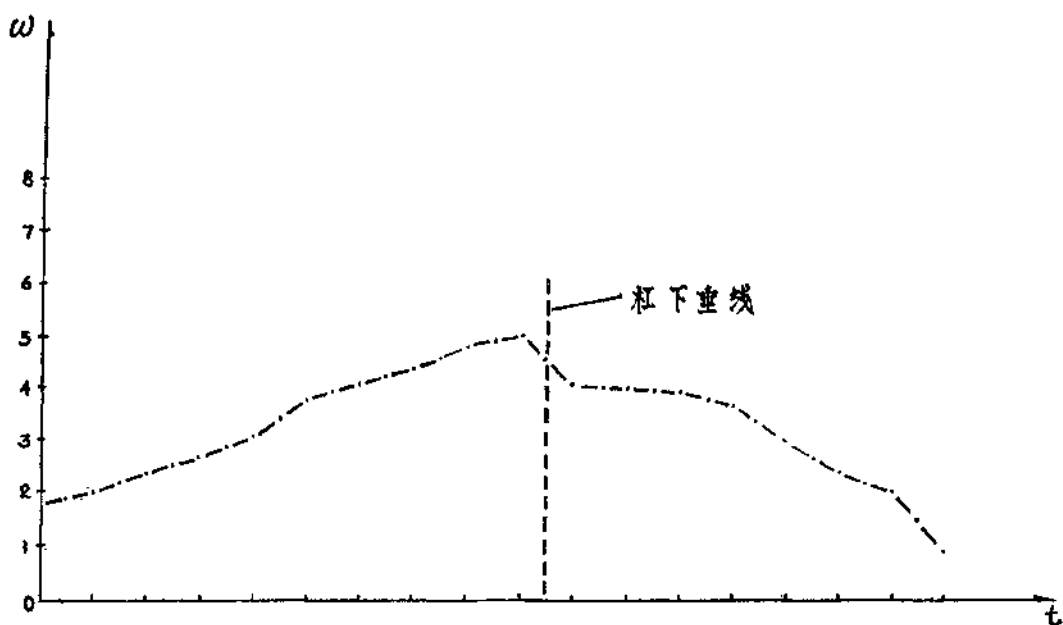


图15 周宝庆的重心绕单杠轴角速度

从刚体力学观点看，在下摆接近杠下垂直过程中，角速度下降会减少转动动能，对随后上摆利用动能转化为位能是不利的。但从体操技术的肌肉工作特点来看是合理的，因为在下摆过程中除了要储备机械能外，更重要的是要储备供兜腿上摆时腹部肌肉收缩的弹性能。上述的鞭打振浪沉肩动作或压肩背腿出背弓的动作，就是为了达到储备这种弹性能。我们认为，在单臂大回环下摆过程中，由于做上述动作而损失一点机械能是合理的，是为了获得更多的肌肉弹性能，这可以为兜腿上摆提供更多的主动力。这样做实质上得到的比损失的要来得多。

(5) 兜腿上摆的力学原理及技术特点

当重心通过杠下垂直线后进入兜腿上摆阶段，其发力的早晚因人而异，训练经验表明，稍晚一些发力兜腿较为有利。

众所周知，重心由杠下垂直面上摆至杠上倒立，光靠下摆所获得的转动动能是不够的，更主要的是要靠强有力的兜腿上摆。因为在上摆过程中重力做负功，为负加速运动，所以在

兜腿上摆过程中做到快速有效的屈肩、屈髋，对减小阻力矩、加快上摆速度有重要的作用。

在上摆过程中人体受力（如图16）。

$$m\omega^2 l = N_y \cos \Phi + N_x \sin \Phi - mg \cos \Phi$$

$$\text{或：} N = m\omega^2 l + mg \cos \Phi \dots\dots\dots ①$$

$$ml\beta = N \sin \Phi - N_x \cos \Phi - mg \sin \Phi \dots\dots\dots ②$$

公式①表明，

如果在上摆过程中总反作用力（N）加大，则角速度就能加快。公式②表明，当垂直反作用力的切向分力超过重力和水平反作用力的切向分力时，就能产生正加速运动。我们把兜腿上摆不同时相所测出的力（N_y、N_x）代入公式①、②，便可能得出表四的材料。

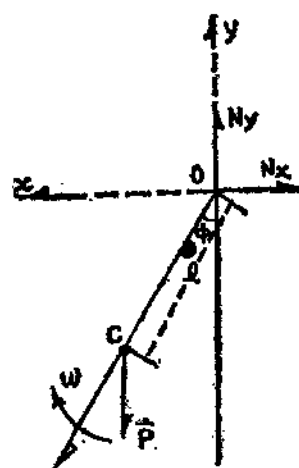


图16 悬垂上摆受力示意图
把图16中测出的力（N_y、N_x）代入公式①、②，便可能得出表四的材料。

表四中动作顺序1、3、4、6在兜腿上

表四

兜腿上摆不同时相运动学、动力学指标比较

顺 序	姓 名	兜 腿 到 伸 直 身 体					兜 腿 到 最 大 反 作 用 力					继 续 上 摆				
		总反作用力	与杠下垂线夹角	切 向 力	向心力(或离心力)	角速度(弧度)	总反作用力	与杠下垂线夹角	切 向 力	向心力(或离心力)	角速度(弧度)	总反作用力	与杠下垂线夹角	切 向 力	向心力(或离心力)	角速度(弧度)
1	邹利敏	$\frac{78.5}{181}$	29°	—9	145.6	4.5	$\frac{120.5}{173.2}$	45°	—3.73	166.7	5	$\frac{83}{46.8}$	75°	—32.27	77.29	3.37
2	童 非	$\frac{109.5}{154.6}$	39°	—25.23	142.8	4.4	/	/	无	无	无	$\frac{115}{60.98}$	78°	—22.41	112.78	3.9
3	傅鲁明	$\frac{52.5}{163}$	22°	—4.29	129.5	5.3	$\frac{84}{157.5}$	35°	—3.96	140.8	5.43	$\frac{62}{27.32}$	75°	—32.6	55.6	3.5
4	杨岳山	$\frac{23}{135.9}$	11°	—4.09	99.5	5	$\frac{75}{134}$	38°	—0.61	119.7	5.5	$\frac{76}{54.64}$	72°	—8.6	77.2	4.4
5	赵庚波	$\frac{118.5}{141.2}$	44°	—29.5	140	4.3	/	/	无	无	无	$\frac{138.5}{91.22}$	70°	—15.55	129.1	4.16
6	周宝庆	$\frac{81}{193.2}$	28°	—8.03	157.4	4.8	$\frac{96.5}{190}$	36°	—0.48	163.51	5	$\frac{119.5}{103.2}$	68°	—2.85	127.73	4.3

摆过程中总反作用力先逐步增加到最高峰值(如图7、9之⑦),而后随着上摆而减小。动作2、5在上摆过程中没有出现最大力波峰,总反作用力一直逐步下降(如图8之⑥—⑧)。这说明前者的兜腿上摆力比后者大。为了进一步说明兜腿上摆力量的大小,还可以用兜腿上摆过程踝关节的最快线速度来比较,如动作1、6踝关节的最快速度分别为12.34米/秒、11.61米/秒(如图10、14),而动作2为10.57米/秒(如图12)。

从表四不同时相切向力和重心角速度栏中可以看出,在兜腿到身体伸直时,虽然切向力都为负值(说明是减速运动),但动作顺序1、3、4、6的数值要比动作顺序2、5小得多,重心的角速度也是前者大于后者。同时还可看到1、3、4、6在兜腿上摆出现最大力波峰时,切向力虽然仍为负值,但比起身体伸直时的数值要小得多,而重心的角速度有所提高,2、5由于总反作用力没有提高,一直下降,重心角速度也下降(如图11、13、15)。由此可见,在兜腿上摆过程中支撑反作用力的大小不仅影响到切向力的数值,而且还影响到上摆的角速度。诚然,重心角速度的快慢也与上摆中半径的缩短程度有关。

从表四兜腿到最大反作用力栏中可以看到,虽然随着反作用力增大到最高峰值,切向力仍为负值(负值较小),这说明兜腿上摆力量仍比较小,还不足以抵消重力的作用,这是与单臂握的条件分不开的。由此可以认为,要想使单臂向后大回环在上摆过程中获得更快的上

摆速度,必须加强单臂握悬垂收腹举腿的速度力量训练,这不仅对顺利完成单臂大回环有重要作用,而且对用单臂大回环来发展高难度、高质量的空翻抓杠和复杂的下法也是必不可少的先决条件。

在表四继续上摆栏中可看出,上摆至接近杠水平面时,由于反作用力的减小,加之阻力矩的不断加大,切向力的负值也加大,所以线速度和角速度也都明显下降。

从前述表三最大反作用力比较可看出,一般下摆的最大力平均为自身体重的3.6倍,上摆最大力平均为自身体重的3.7倍。这说明在完成单臂向后大回环时负荷是很大的,为此必须加强单臂握悬垂摆动的基本训练,并尽可能从小抓起。这样就能为发展单臂类大回环的难新动作打下坚实的基础。

结 论

(1) 本文所提出的单臂向后大回环不同部位人体受力的力学原理及其肌肉工作特点,具有普遍的指导意义,所提出的原理对填补我国体操技术理论有重要的价值。

(2) 单臂向后大回环的“无重量”时相是不对称的,它以转动角速度为转移,在教学训练中应重视并利用这个时相。

(3) 下摆最大力在杠下垂直面前,与采用鞭打振浪、沉肩或背腿压肩技术相联系。上摆出现最大力,与兜腿上摆的主动动力相联系。要发展高质量空翻转体抓杠及复杂下法,必须采用鞭打振浪技术,同时应加强单臂握悬垂收腹举腿的速度力量训练。