aus: Die Leibeserziehung. 18. Jahrg. (1969) Heft 6,181-186

Die mechanische Wirkung von Bewegungsakten bei Turnübungen im Hang am Reck

KLAUS WIEMANN

Es stehen mehrere Wege zur Verfügung, die mechanische Wirkungsweise körpereigener Kraftstöße im Hang zu erklären. Einige wenige davon sollen im folgenden beschritten werden, indem versucht wird, Stufe um Stufe verschiedene mechanische Situationen, wie sie beim Turnen vorliegen können, aufzudecken. Es wird mit Absicht nicht von kinemetrischen Diagrammen ausgegangen, sondern nur durch theoretische Überlegungen festgestellt, was aufgrund physikalischer Gesetze sein kann und was nicht sein kann.

Beispiel 1

Nach dem Newtonschen Reaktionsprinzip können Kräfte nur dann einen Körper beschleunigen, wenn sie zwischen diesem und mindestens einem anderen, außerhalb dieses Körpers gelegenen Körper wirken. Die Kraft, mit der der Körper 1 in der einen Richtung beschleunigt wird, ist gleich der Reaktionskraft, die den Körper 2 in entgegengesetzter Richtung bescheunigt. Es gilt:

$$K = (-)\ K^* \qquad (1)$$

Hängt ein Turner mit Ristgriff im ruhigen Hang am Reck (Abb. 1), und beugt er die Arme, so erzeugen seine Muskeln eine Kraft (*K*), die einen großen Teil der Masse

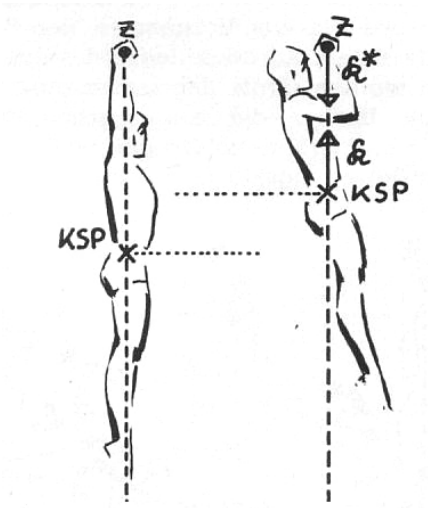


Abb. 1 a *1 b*

des Turners, also auch seinen Massenmittelpunkt (im folgenden KSP), nach oben bewegt. Das ist aber nur deshalb möglich, weil die Reaktionskraft (*K**) zur Kraft *K* ein

außerhalb des Turnerkörpers gelegenes Körpersystern - nämlich das Reck, verbunden mit der Erde - in entgegengesetzter Richtung beschleunigt. Da nach dem Newtonschen Aktionsprinzip die Kraft gleich dem Produkt aus der Masse (*m*) und der Beschleunigung (*b*),

$$K = m \cdot b, \qquad (2)$$

ist, errechnet sich die Beschleunigung des Körpersystems Reck + Erde aus (1):

$$m_1 \cdot b_1 = (-)\ m_2 \cdot b_2$$

oder:

$$b_1 = m_2 \cdot b_2 / m_1 \qquad (3)$$

Da die Masse der Erde (m_1,) im Verhältnis zur Masse des Turners (m_2) unverhältnismäßig groß ist, wird die Beschleunigung der Erde (b_1) "vernachlässigbar klein` (Hochmuth, S. 40).

Man nennt alle Kräfte, die einen Körper beschleunigen, in bezug auf diesen äußere mechanische Kräfte. Da im vorliegenden Fall (und in den folgenden Beispielen) der Turner der Bezugskörper sein muß, sind die Kräfte *K* und *K**, die den Turner beim Klimmzug gegen die Stange bewegen, als äußere mechanische Kräfte zu bezeichnen. Dieselben Kräfte sind aber in bezug auf das Gesamtkörpersystein Turner + Reck + Erde innere mechanische Kräfte, da dieses Gesamtkörpersystem unbeschleunigt bleibt. *K* und *K** heben sich im Massenmittelpunkt des Gesamtkörpersystems auf.

Regel I:

Alle Muskelkräfte können nur dann den Körper eines Turners in seiner Gesamtheit (bzw. seinen KSP) beschleunigen, wenn sie aufgrund ihrer Wirkungsweise in bezug auf den Turnerkörper äußere mechanische Kräfte sind.

Beispiel 2

Ein Turner hängt im absolut ruhigen Hang mit lockerem Ristgriff am Reck und bewegt seine Beine in mäßiger Geschwindigkeit fortschreitend aus einer leichten Hohlkreuzhaltung nach vorn oben (Abb. 2). Um festzustellen, wie der Bewegungsakt auf den Gesamtkörper wirkt, lassen wir die Kräfte *K* und *K** im KSP angreifen (Abb. 2 c) und vernachlässigen die Tatsache, daß die Beine bei dieser Bewegung um das Hüftgelenk rotieren. (Weiter unten wird diese Tatsache noch gebührend berücksichtigt.) Auf den ersten Blick scheint die Kraft eine innere mechanische Kraft zu sein, da ihre Reaktionskraft nicht auf ein außerhalb des Turnerkörpers gelegenes zweites Körpersystem zu treffen scheint. Zur genaueren Untersuchung soll in Abb. 2 d die Aktionskraft *K* in zwei Teilkräfte zerlegt werden, von denen die eine (K_1) in Richtung auf die Reckstange (Z) zielt, die andere (K_2) auf K_1 senkrecht steht. Entsprechend wird mit

der Reaktionskraft (*K**) verfahren.

Nun läßt sich erkennen, daß K_1 und K_1* in bezug zum Turnerkörper äußere mechanische Kräfte sind, also zwischen diesem und einem zweiten - außerhalb des

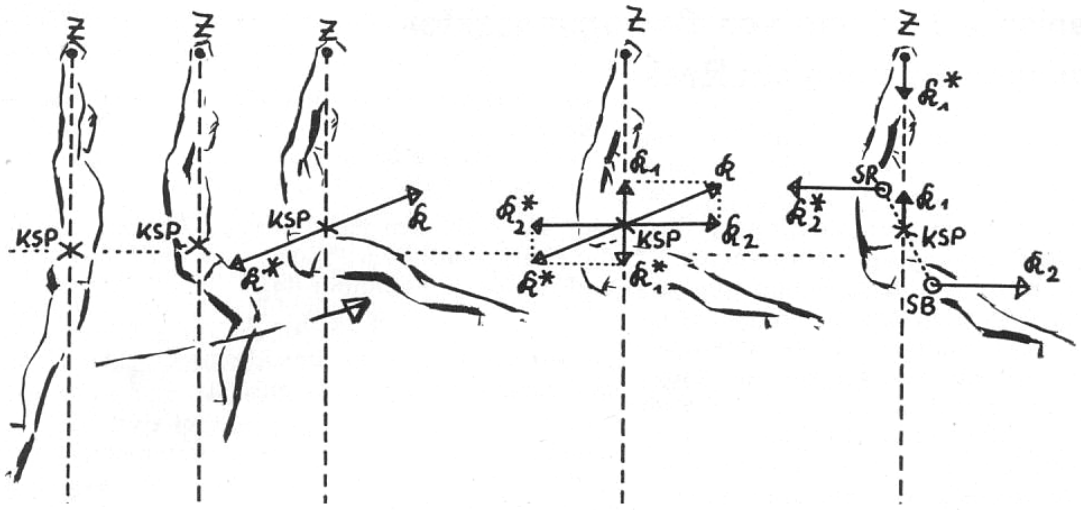


Abb. 2 a 2 b 2 c 2 d 2 e

Turnerkörpers gelegenen Körpersystem (Reck + Erde) wirken. Durch die Kräfte K_1 und K_1* wird demnach der KSP des Turners auf die Reckstange zu bewegt. Sie können wie in Abb. 2 e dargestellt werden. Da der Turner in Z nahezu reibungslos und drehbar aufgehängt ist und Z das Zentrum einer möglichen Drehbewegung sein muß, kann die durch K_1 und K_1* festgelegte Bewegungsrichtung als zentral bezeichnet werden.

Die Teilkräfte K_2 und K_2* sind in bezug auf den Gesamtkörper des Turners innere mechanische Kräfte; denn sie wirken nicht auf ein zweites Körpersystem. Sie können demnach nicht den KSP des Turners beschleunigen, sondern nur innerhalb des Turnerkörpers einzelne Körperteile gegeneinander, verlagern, nämlich die Beine (SB) nach vorn, den restlichen Teil des Körpers (SR) um den gleichen Betrag nach hinten (Abb. 2 e). Da der Unterkörper mit dem Oberkörper und dieser mit der Reckstange drehbar verbunden sind, können K_2 und K_2* nur als Drehmomente wirken (s. Beispiel 5).

Regel II:

Alle Muskelkräfte, die aufgrund ihrer Wirkungsweise innere mechanische Kräfte sind, können den Körper eines Turners in seiner Gesamtheit nicht beschleunigen.

Außerdem gilt

Regel III:

Alle Bewegungsakte, die ein Turner bei einer nahezu reibungslosen Aufhängung ausführt,beschleunigen den Körper in zentraler Richtung,nämlich auf den Aufhängepunkt zu oder von ihm fort. Ein auf den KSP wirkendes Drehmoment in derjenigen Richtung, in welche die Bewegungsakte zielen, tritt wegen der fehlenden Abstoßmöglichkeit nicht auf. (Beachte jedoch Regel VIII)

Ergänzend zu Regel III (und zu den folgenden Regeln) sei darauf hingewiesen, daß hier der Körper vereinfacht mit einer zweigliedrigen kinematischen Kette (Donskoi) verglichen werden soll, wobei das fixierte Ende der Rumpf mit den Armen, das freie Ende die Beine darstellen. Ein Abwinkeln im Hüftgelenk kann sensumotorisch einerseits als ein Vornehmen der Beine andererseits als ein Zurückschieben des Rumpfe verstanden werden. Trotz der sensumotorischen Unterschiede bleiben die mechanischen Bedingungen gleich. Aus diesem Grunde wird im folgenden ein Bewegungsakt im Hüftgelenk immer als eine Bewegung des freien Gliedes der kinematischen Kette gewertet. In diesem Sinne ist auch die angegebene Richtung der Bewegungsakte zu verstehen.

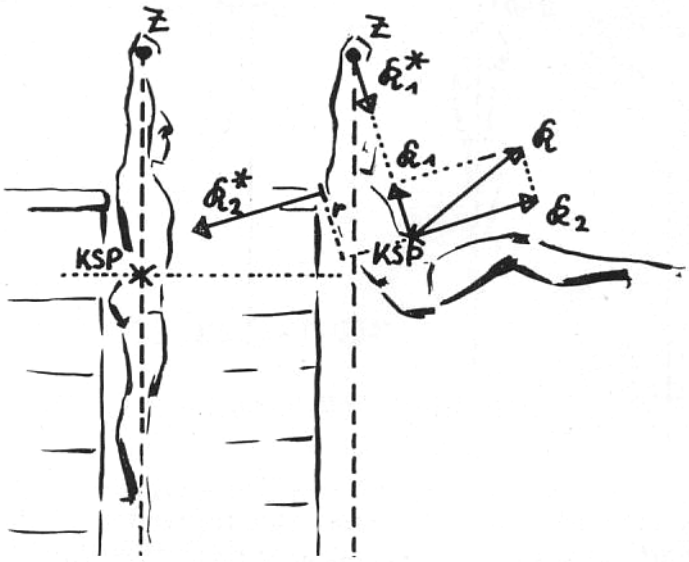


Abb. 3 a 3 b

Beispiel 3

Ändern wir das letzte Beispiel, indem wir unmittelbar hinter den am Reck hängenden Turner einen Kasten stellen (Abb. 3), so wird bei der beschriebenen Beinbewegung der Rumpf des Turners gegen den Kasten stoßen. In diesem Falle wirken die Kraft *K* und ihre Reaktion als äußere mechanische Kräfte auf zwei Körpersysteme, und zwar auf den Körper des Turners und auf das Körpersystem Kasten+Reck+Erde. Der KSP wird nicht nur durch die Wirkung der Kraft K_1 auf Z zu, sondern durch Wirkung des Drehmomentes $K_2 \cdot r$ auch nach vorn aus der Senkrechten herausbewegt.

Die Aufhängung wurde in den letzten Beispielen als nahezu reibungslos gefordert. Das trifft für einen lockeren Griff an der Reckstange auch annähernd zu. Tatsächlich kann aber ein Turner bei festerem Griff an der Stange durch Beuge- und Streckbewegungen im Handgelenk Drehmomente erzeugen. Diese Beschleunigungsmöglichkeit ist jedoch so ungünstig und in der Turnpraxis von einer solch geringen Bedeutung, daß man sie getrost außer acht lassen kann.

Beispiel 4

Im allgemeinen führt der Turner die Bewegungsakte am Reck während eines Pendelschwunges aus: Der Körper des Turners rotiert dabei um die Reckstange als Beschleunigungszentrum der Drehbewegung. Beginnt der Turner beispielsweise den Pendelschwung aus der Stellung A in Abb. 4a, so besitzt der Körper für die Schwerkraft ein Drehmoment ($G \cdot r$), das den Turner abwärts schwingen läßt. In der Stellung B in Abb. 4a hat der Turner die größte Geschwindigkeit erreicht. Beginnend in dieser Stellung, wirkt das Drehmoment der Schwerkraft verzögernd, so daß der Turner bei nahezu starrem Körper während des gesamten Pendelschwunges - bis zur Stellung C aufschwingen kann.

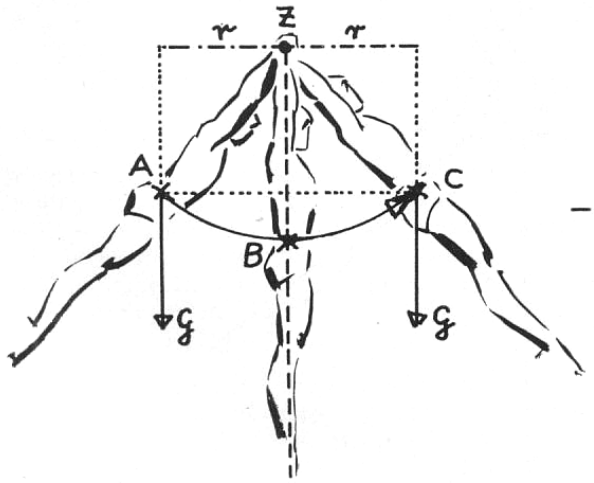


Abb. 4 a

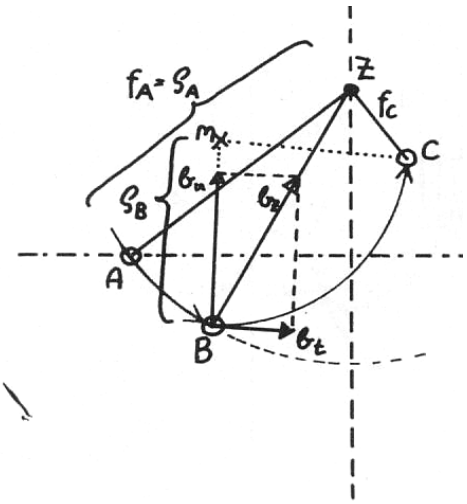


Abb. 4 b

Führt nun ein Turner während eines Pendelschwunges den in Beispiel 2 beschriebenen Bewegungsakt aus, so bedeutet das nach Regel III eine Bewegung des KSP in Richtung Z. Es wird also eine zentral gerichtete Beschleunigung (b,) vom KSP aus in Richtung Z geliefert, die sich in die Komponenten b_t (Tangentialbeschleunigung) und b_n (Normalbeschleunigung) zerlegen läßt (Abb. 4). Die Tangentialbeschleunigung b_t bedeutet eine Vergrößerung der Bahngeschwindigkeit, d. h. der Turner (bzw. sein KSP) dreht sich schneller um Z; die durch den Bewegungsakt zusätzlich gelieferte Normalbeschleunigung b_n bewirkt eine stärkere Krümmung der Bahn des KSP, so daß der Krümmungsmittelpunkt (M) nicht mehr mit Z zusammenfällt. Aus Abb. 4b ist außerdem ersichtlich, daß die Vergrößerung der zentral gerichteten Beschleunigung kein zusätzliches Drehmoment auf den KSP ausgeübt und deshalb der durch das Drehmoment der Schwerkraft gewonnene Drehimpuls des KSP nicht vergrößert wird. Es gilt also auch hier Regel III, die sich erweitern läßt zu

Regel IV:

Alle Bewegungsakte, die ein Turner während eines Schwunges im Hang ausführt, können die Geschwindigkeit, mit der sich der Turner um den Griffpunkt bewegt, vergrößern oder verkleinern, je nachdem die Kraftstöße eine Verkleinerung oder Vergrößerung des Abstandes des KSP von dem Griffpunkt bedeuten.

Vereinfacht kann die Schwungsteigerung auch dadurch erklärt werden, daß die Winkelgeschwindigkeit, mit der sich der KSP um Z dreht, umgekehrt proportional dem Quadrat des Fahrstrahles (f = Abstand KSP-Z) ist.

Tatsächlich haben die wichtigsten Bewegungsakte beim Schwungturnen die Aufgabe, die Drehgeschwindigkeit während des Pendelschwunges so zu steigern, daß ein bestimmtes Ubungsziel erreicht wird. Es ist nun zu klären, in welchem Augenblick des Pendelschwunges die oben beschriebene Verkürzung des Abstandes des KSP von Z am zweckmäßigsten ausgeführt wird. Es wurde bereits festgestellt, daß in der Abschwungphase bis zur Senkrechten unter Z dem Körper durch das Drehmoment der Schwerkraft ein Drehimpuls vermittelt wird. Da das Drehmoment der Schwerkraft ($G \cdot r$) mit dem Abstand des KSP von Z wächst (Abb. 4a), gilt

Regel V:

Damit die Schwerkraft dem Körper des Turners in der Abschwungphase bis zur Senkrechten unter dem Aufhängepunkt einen möglichst großen Drehimpuls beschaffen kann, muß der Turner das Drehmoment der Schwerkraft möglichst groß gestalten, indem er seine Körpermasse möglichst weit bzw. so weit, wie es die Struktur der Ubung zuläßt, von dem Aufhängepunkt entfernt.

Es wäre also unzweckmäßig, schon während der Abschwungphase den schwungfördernden Bewegungsakt auszuführen; denn das damit verbundene Heranbringen der Masse an den Aufhängepunkt würde verhindern, daß der Drehimpuls das größtmögliche Maß erreicht. In der Aufschwungphase, die senkrecht unter dem Aufhängepunkt beginnt, verkleinert das Drehmoment der Schwerkraft den Drehimpuls des Körpers. Daraus folgt

Regel VI:

Damit es der Schwerkraft nicht gelingt, den Drehimpuls des Körpers in der Aufschwungphase vor Erreichen des Ubungszieles aufzuheben, muß der Turner in der Aufschwungpliase das Drehmoment der Schwerkraft möglichst klein oder zumindest so klein gestalten, wie es zum Erreichen des Ubungszieles notwendig ist, indem er die Körpermasse an den Aufhängepunkt heranbringt.

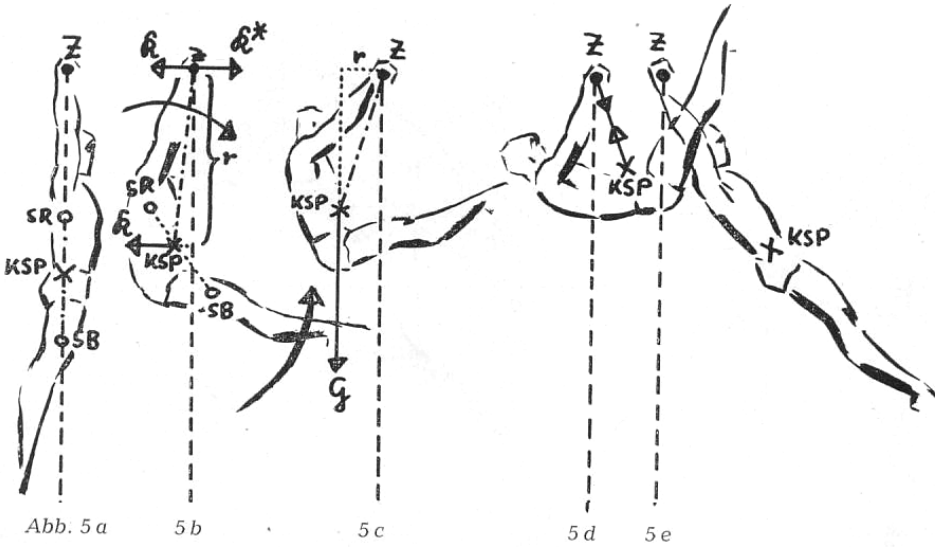
Durch Regel V und VI wird der Augenblick des schwungfördernden Bewegungsaktes festgelegt:

Regel VII:

Ein Turner kann bei einer Schwungübung die Geschwindigkeit, mit der er um den Aufhängepunkt schwingt, am zweckmäßigsten dadurch vergrößern, daß er beim Durchschwingen der Senkrechten unter dem Aufhängepunkt seinen Körper (oder Teile seines Körpers und dadurch auch den KSP) möglichst intensiv dem Aufhängepunkt nähert.

Beispiel 5

In Beispiel 2 wurde bewußt gefordert, daß der Bewegungsakt nur in mäßiger Geschwindigkeit ausgeführt wird. Schlägt man aber aus dem ruhigen Hang die Beine explosiv vorwärts aufwärts und verkleinert man unter Umständen gleichzeitig oder anschließend den Arm-Rumpfwinkel (Abb. 5), so schwingt dadurch der Körper nach vorn. Das widerspricht scheinbar der vorn aufgestellten Regel III.



Bei der Besprechung des Bewegungsaktes in Beispiel 2, den man sich als eine Uberlagerung einer translatorischen Komponente und einer Rotation vorstellen kann, wurde nur die Translation der Beine (bzw. des Teilschwerpunktes SB) berücksichtigt. Gleichzeitig führen die Beine aber eine Drehbewegung aus; wobei man sich die Drehachse der rotatorischen Bewegungskomponente in SB vorstellen muß. Da der Drehimpuls des Turnerkörpers in seiner Gesamtheit nicht durch ein von außen wirkendes Drehmoment verändert wird, bekommt der Rumpf nach dem Impulserhaltungssatz einen Drehimpuls, der dem Drehimpuls der Beine entgegengerichtet ist (Abb. 5 b). Die Drehbewegung des Rumpfes und der Arme bewirkt einen Druck der Reckstange (Z) gegen die Hände in Richtung *K* (Abb. 5 b). Das wird leicht verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß der besprochene Bewegungsakt bei freischwebendem Körper die in Abb. 6a gezeigte Stellungsveränderung des Körpers bewirken würde, wobei der KSP unbeschleunigt, die Teilschwerpunkte SR_2 und SB_2 aber auf der Geraden bzwischen SR_1 und SB_1 bleiben müssen. Wirkt aber eine Kraft an irgendeinem Punkt auf einen Körper, so wird dieser so beschleunigt, als wenn die Kraft im KSP angreifen würde. Auf diese Weise bewirkt *K* eine Beschleunigung des KSP nach hinten (Abb. 5 b). In der zweigliedrigen kinematischen Kette des Turnerkörpers hat demnach die Drehbewegung des freien Gliedes in der einen Richtung nicht nur eine Drehbewegung des fixierten Gliedes, sondern auch eine geringe Drehbewegung des Gesamtsystems in der anderen Richtung zur Folge.

Regel VIII:

Führt ein Turner im Hang am Reck einen Beinschlag nach vorn oder hinten aus, so wird dem KSP (zusätzlich zu der in Regel III beschriebenen Beschleunigung in Richtung

Aufhängepunkt) eine geringfügige Drehbewegung um den Aufhängepunkt nach hinten oder vorn - also in entgegengesetzter Richtung - vermittelt.

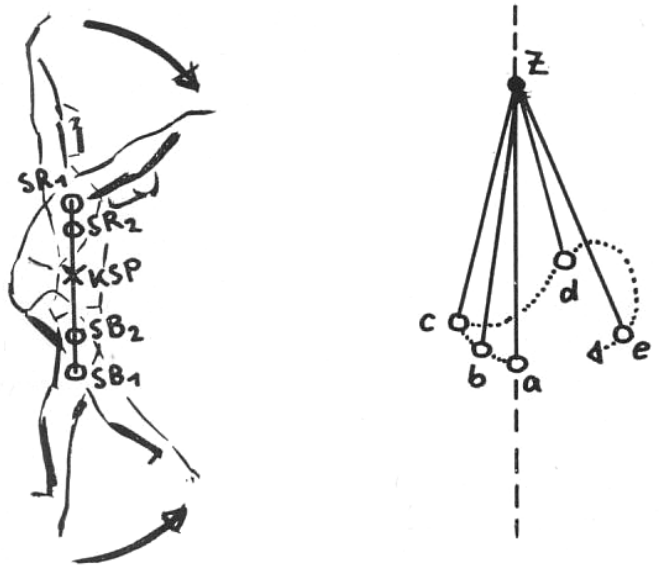


Abb. 6 a 6 b

In der Praxis läßt sich dieser Effekt kaum richtig erkennen. Statt dessen stellt man nach dem Beinschlag aus dem ruhigen Hang nach vorn auch einen Schwung nach vorn fest. Die Erzeugung dieser Pendelbewegung läßt sich wie folgt erklären: Nachdem der KSP durch den Beinschlag vorwärts nach hinten aus der Senkrechten unter Z hinausgedreht ist (Abb. 5b), besitzt er für die Schwerkraft ein Drehrnoment, durch dessen Wirkung der KSP abwärtsschwingt. Nun wird durch die Fortführung der Beinbewegung und durch eine Verkleinerung des Schulterwinkels der KSP der Reckstange stark genähert und dadurdi nach dem durch Beispiel 4 und Regel VII erklärten Prinzip der Pendelschwung verstärkt. Der KSP beschreibt dann die in Abb. 6 b dargestellte Bahn, wie sie für das Schwungholen am Reck aus dem ruhigen Hang charakteristisch ist. Für den schwungfördernden Bewegungsakt bedeutet Regel VIII die Gültigkeit von

Regel IX:

Bei Schwungübungen im Hang stellt ein Beinschlag in Schwungrichtung eine ungünstigere Schwungverstärkung dar als ein Beinschlag gegen Schwungrichtung - vorausgesetzt, daß bei beiden Bewegungsakten die Massenannäherung an den Aufhängepunkt gleich ist; denn im ersten Fall wird der vorhandene Drehimpuls des KSP durch den durch den Beinschlag erzeugten Drehimpuls (Regel VIII) etwas vermindert, im zweiten Fall aber vergrößert.

Der in Beispiel 5 erklärte mechanische Effekt wirkt selbstverständlich auch in Beispiel 2. Durch die langsame Ausführung des Bewegungsaktes schwingt jedoch der KSP nach der geringsten Auslenkung aus der Senkrechten durch die Wirkung des Schwerkraftmomentes wieder in die Senkrechte zurück, so daß ein deutlicher Pendelschwung nicht auftritt und demnach die Verringerung des Abstandes KSP-Z nicht als Schwungsteigerung wirken kann.

Beispiel 6

In der Theorie der Leibeserziehung wird recht häufig mit dem Begriff der Bewegungsübertragung gearbeitet, wobei man unter Bewegungsübertragung die "Übertragung von Bewegungsimpulsen" (Fetz, S. 177) verstehen muß. Aus diesem Grund sollen Beispiel 2 und 5 auch durch den Impulssatz erklärt werden, obwohl dadurch keine neuen Erkenntnisse geliefert werden, sondern die vorn gemachten Aussagen nur eine andere Fassung erhalten.

In Beispiel 2 (Abb. 2) wurde festgestellt, daß die Kraftkomponenten K_2 und K_2* des Bewegungsaktes in bezug auf den Gesamtkörper des Turners innere mechanische Kräfte sind. Aus diesem Grunde können sie dem Gesamtkörper des Turners (oder dessen KSP) keinen, in Richtung der Beinbewegung gerichteten, Impuls vermitteln. Jedoch erhalten durch sie die Beine (bzw. der Teilschwerpunkt SB) eine vorwärts gerichtete Bewegung und der Rumpf (bzw. der Teilschwerpunkt SR) eine gleichgroße rückwärts gerichtete Bewegung. Da beide Bewegungsgrößen Drehimpulse sind, gilt Regel VIII. Wird die Beinbewegung durch Muskelkraft gebremst, "überträgt" sich zwar der Impuls der Beine auf den Gesamtkörper, dieser erfährt aber keine Impulsänderung, weil gleichzeitig auch die Gegenbewegung des Rumpfes gebremst wird, sich also auch der dem Impuls der Beine entgegengerichtete Impuls des Rumpfes auf den Gesamtkörper überträgt.

Die Teilkräfte K_1 und K_1* (Abb. 2) sind äußere mechanische Kräfte. Durch sie erhalten die Beine einen zentral gerichteten Impuls, der Rumpf aber keinen entgegengerichteten Impuls, weil der Griff an der Reckstange das verhindert. Der Impuls der Beine addiert (überträgt) sich zum vorhandenen Impuls des Rumpfes, wodurch der Gesamtkörper einen ebenfalls zentral gerichteten Impuls erhält: Der KSP bewegt sich auf die Reckstange zu.

Regel X:

Von allen im Körper eines Turners bei nahezu reibungsloser Aufhängung erzeugten Bewegungen(impulsen des freien Gliedes der kinematischert Kette) bedeuten nur die zentral gerichteten Komponenten eine Bewegungsänderung des Gesamtkörpers (Impulsänderung des KSP). Senkrecht zur zentralen Richtung zielende Teilbewegungen können die Bewegung des KSP nicht verändern. Im freien Teil des Körpers erzeugte Drehimpulse bedeuten eine Drehimpulsvergrößerung des KSP in entgegengesetzter Richtung (siehe Regel VIII).

Allgemein kann festgestellt werden:

Regel XI:

Bewirkt die in dem einen Körperteil erzeugte Bewegung eine gleichgroße entgegengerichtete Bewegung in einem anderen Körperteil, bleibt der KSP unbeschleunigt. Oder: Tritt mit dem in dem einen Körperteil erzeugten Bewegungszuwachs eine gleichgroße Bewegungsverminderung in dem anderen Körperteil auf, bleibt die vorherrschende Bewegung des KSP unverändert.

Regel XII:

Der Körper eines Turners (bzw. dessen KSP) läßt sich durch solche Bewegungen eines Körperteiles am günstigsten beschleunigen, durch dessen Erzeugung keine Gegenbewegung in einem anderen Körperteil auftritt. Oder: Die Bewegung eines Turnerkörpers (bzw. dessen KSP) läßt sich am günstigsten durch solch einen Bewegungszuwachs in den einen Körperteil vergrößern, mit dessen Erzeugung keine Bewegungsverminderung in dem anderen Körperteil gekoppelt ist.

In der Turnpraxis wird gelegentlich doch eine solche Bewegungsübertragung vom Unterkörper auf den Oberkörper zur Ausführung von Turnelementen ausgenutzt, durch die der KSP keine unmittelbare Änderung seiner Bewegungsgröße erfährt. Als Erklärung fnidet man bei Fetz / Opavský, bei einer Schwungübung im Hang könne "...der so entlastete Oberkörper ... in den Stütz gehoben.." werden (u. a. S. 96). Das ist aber eine in unzulässiger Weise vereinfachte Beschreibung, die bei einem physikalisch wenig geschulten Leser völlig falsche Vorstellungen über die Wirkung der Bewegungsakte hervorrufen muß. Denn es ist ja nicht nur der entlastete Oberkörper, sondern auch der belastete *Unterkörper in* den Stütz zu heben. Entlastung und Belastung heben sich im KSP auf, dessen Bewegungsgröße durch die Impulsübertragung unverändert bleibt. Der eigentliche Zweck der Bewegungsübertragung liegt darin, daß in einem günstigen Augenblick die Schultern und die Arme - also das dem Aufhängepunkt zugewandte Ende des fixierten Gliedes "Oberkörper" in der kinematischen Kette - in eine solche Stellung zum Aufhängepunkt gebracht wird, aus, der durch günstigere Hebelverhältnisse die Schulter- und Armmuskulatur den Körper leichter zum Übungsziel auftreiben zu können. Der Impulsgewinn im Oberkörper kann in diesem Fall (nahezu reibungsloser Hang) nur durch einen entsprechenden Impulsverlust im Unterkörper erreicht werden, und es gilt Regel XI.

Welche Bedeutung die Regeln I-XII für die Technik und Methodik des Gerätturnens haben, soll in zwei folgenden Bewegungsanalysen (Kippe vorl. vorw, am Reck und Unterschwung am Barren) untersucht werden.

Literatur

Donski, D., Bioinechanik der Körperübungen, Berlin 1961.

Fetz, F., Zur Bewegungsübertragung, in „Die Leibeserziehung" 6/1968.

Fetz/Opavský, Biomechanik des Turnens, Frankfurt (Main) 1968.

Hochmuth, G., Biomechanik sportlicher Bewegungen, Frankfurt (Main) 1967.