

Aus der Forschungsabteilung der neurologischen Universitätsklinik und -poliklinik  
Zürich (Direktion: Prof. Dr. F. LÜTHY)

## Über die Untersuchung spastischer Patienten

Von  
**R. F. KUHN**

Mit 6 Textabbildungen  
(Eingegangen am 7. April 1964)

### 1. Einleitung

Seit langer Zeit stehen wir vor dem Problem, eine muskuläre Tonus-erhöhung mit qualitativen und quantitativen Methoden objektiv zu erfassen. Dieses Problem erhebt sich in besonderer Weise dann, wenn Medikamente auf eine mögliche antispastische Wirkung hin geprüft werden sollen. Vor der Diskussion der bisher angewendeten Verfahren berichten wir über unsere Methoden und die damit erhaltenen Resultate.

### 2. Methoden

Die Untersuchung von Patienten im Hinblick auf eine Spastizität besteht in:

1. Zielgerichteter Anamnese und neurologischer Routineuntersuchung, 2. Gangtest, 3. Pendeltest, 4. Ergometrie, 5. Klopftest, 6. Elektromyographie.

Beim *Gangtest*<sup>7</sup> erfolgt auf einer Teststrecke von 20 m eine qualitative und quantitative Beurteilung des Ganges. Wir messen die Schrittzahl und die benötigte Zeit in Sekunden.

Der *Pendeltest*<sup>2,15,16</sup> wurde in der Ausführung und Beurteilung etwas modifiziert. Die Versuchsperson sitzt am Fußende des Untersuchungstisches. Mittels eines am Fußgestell befestigten Holzkeiles wird zuerst die rechte, dann die linke Ferse des Exploranden in eine bestimmte Stellung angehoben. Nach Entfernung des Holzkeiles beginnt der untersuchte Unterschenkel frei zu pendeln. Eine Kamera wird mit Hilfe eines Motors gleichzeitig in einer um 90° gegenüber der Pendelebene gedrehten Ebene bewegt und kann so die Schwingung des Unterschenkels auf dem Film festhalten. Abb. 1 zeigt schematisch eine solche Schwingung.

Es handelt sich im Normalfall um eine gedämpfte harmonische Schwingung. Wir messen aus der Kurve die Werte  $x$ ,  $x_1$ ,  $x_3$ ,  $x_5$ ,  $\tau$  und  $W$ .  $\tau$  ist gleich der Schwingungszeit,  $W$  gleich Anzahl der Hin- und Herschwingungen.

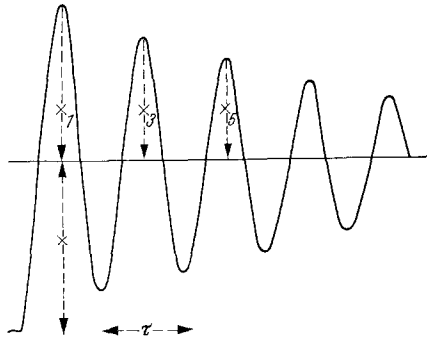


Abb. 1. Schema des Pendeltestes (Erklärung im Text)

Eine gedämpfte, harmonische Schwingung ist mathematisch eine Exponentialfunktion. Die dabei auftretende Kraft ist proportional der Beschleunigung und dem Produkt aus Geschwindigkeit und Reibungskoeffizient. Es gilt somit die Gleichung

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{q}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{a}{m} x = 0$$

dabei bedeuten

$m$	= Masse
$x$	= Weg
$t$	= Zeit
$a$	= Richtkraft
$q$	= Reibungskoeffizient

Zur Abkürzung werden eingeführt:

$$\frac{a}{m} = w_0^2; \quad \frac{q}{m} = 2\beta$$

Die Auflösung der obigen Gleichung lautet dann:

$$x = x_0 e^{-\beta t} \left( \cos wt + \frac{\beta}{w} \sin wt \right), \text{ wobei } w = \sqrt{w_0^2 - \beta^2}$$

Die Lösung dieser Exponentialfunktion hängt davon ab, ob der Ausdruck  $w^2$  größer oder kleiner als 0 wird. Ist er kleiner als 0, so entsteht eine aperiodische Kriechbewegung (a. K.), wie sie in Abb. 2 dargestellt ist. Ist dagegen  $w^2$  größer als 0 so entsteht eine gedämpfte, harmonische Schwingung (Abb. 3).

Die Vereinfachung der Exponentialfunktion, nämlich  $x_n = x_0 e^{-n\beta\tau} = x_0 e^{-n\Lambda}$  führt uns weiter.  $\beta$  wird die Abklingkonstante,  $\Lambda = \beta\tau$  das logarithmische Dekrement genannt.

Es ist nämlich  $\Lambda = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}$ . Das heißt, das logarithmische Dekrement ist gleich dem natürlichen Logarithmus des Quotienten aus zwei aufeinanderfolgenden Schwingungsamplituden auf der gleichen Seite.  $\Lambda$  ist konstant und gibt ein direktes Maß für den Grad der Dämpfung, denn

$$\Lambda = \beta\tau = \frac{q}{2m} \tau = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}; \text{ somit } q = 2m \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} \cdot \tau^{-1}$$

Alle diese Gleichungen gelten für die Schwingungen eines Massepunktes. Sie gelten sinngemäß aber auch für die Schwingungen eines physischen Pendels, also z. B. eines Unterschenkels. Es sind dann einzusetzen: an Stelle der Kraft  $k$  das

Drehmoment  $N$ , an Stelle der Richtkraft  $a$  das Richtmoment  $D$ , an Stelle<sup>7</sup> des Weges  $x$  der Auslenkwinkel  $\varphi$ , an Stelle der Beschleunigung die Winkelbeschleunigung und an Stelle der Geschwindigkeit die Winkelgeschwindigkeit\*.

Auf Grund dieser physikalischen Überlegungen ist für uns außer den erwähnten Werten, die wir aus der Photographie des Pendeltestes entnehmen können, das logarithmische Dekrement von Bedeutung. Wir haben daher in der Auswertung immer den Quotienten  $x_3/x_5$ , beziehungsweise dessen natürlichen Logarithmus berechnet. Die Schwingungszeit messen wir zwischen der zweiten und dritten Schwingung. Die Wellenzahl  $W$  kann nicht immer verwertet werden, da nicht immer alle Wellen auf dem Film registriert werden. Wenn wir die ganze Schwingung photographieren wollen, muß die Drehgeschwindigkeit der Kamera reduziert werden, was mit sich bringt, daß die einzelnen Schwingungen

näher zusammengeschoben werden und qualitativ nicht mehr gleich leicht beurteilt werden können.

Die *Ergometrie* wird am Zeigefinger ausgeführt. (Eine Einrichtung zur Ausführung der Ergometrie auch am Fuß wird zur Zeit konstruiert.) Es wird die Arbeit aufgezeichnet, die vom Zeigefinger aufgewendet werden muß, um in regelmäßiger Wiederholung während einer bestimmten Zeit ein bestimmtes Gewicht zu heben. Der Explorand hält mit der Hand einen pistolenartigen Handgriff. Durch Flexion des Zeigefingers wird ein Hebel angezogen, der durch Kabelübermittlung ein Gewicht von 1–4 kg um maximal 4 cm hebt. Die Aufgabe besteht darin, innerhalb von 60 sec das Gewicht 30mal zu heben und zu senken, wobei das Gewicht so hoch wie möglich gehoben werden soll. Der Test wird abwechselnd rechts und

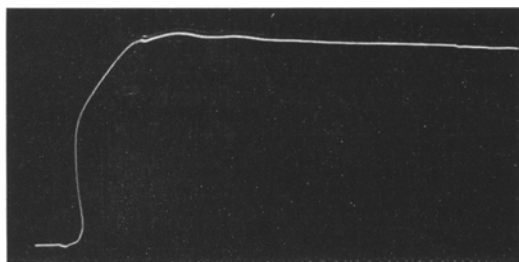


Abb. 2. Aperiodische Kriechbewegung bei starker Spastizität

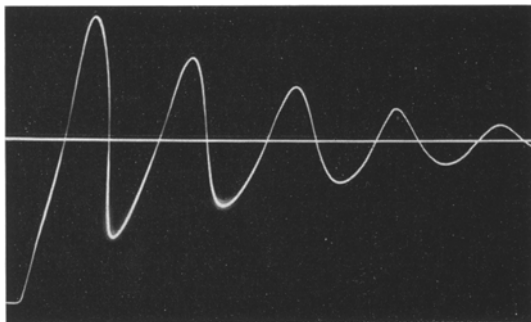


Abb. 3  
Gedämpfte, harmonische Schwingung beim Normalprobanden

\* Wir möchten an dieser Stelle Herrn dipl. phys. ETH S. GYGAX für seine Beratung in physikalischen Problemen herzlichen Dank aussprechen.

links ausgeführt und das Gewicht nach einem bestimmten Plan um je-  
weilen 500 g erhöht, bis eine Leistungsherabsetzung nachgewiesen wer-  
den kann.

Beim *Klopfest*<sup>3</sup> wird versucht, zu prüfen, ob die Muskeln im Stande  
sind, in rascher Folge gegensinnige Bewegungen auszuführen. Der Ex-  
plorand muß mit dem Zeigefinger, der Großzehe oder dem Fuß in mög-  
lichst rascher Folge eine leichte Flexion und Extension ausführen. Jede  
Bewegung wird mittels einer Kontaktaste registriert und einem Zähl-  
werk zugeleitet. Das Zählwerk addiert die Kontakte laufend und sum-  
miert sie alle 27,5 sec. Nach einer Pause von 2,5 sec beginnt die nächste  
Zählung. Die einzelnen Summen werden vom Zählwerk auf einen Papier-  
streifen geschrieben. Der Versuch wird in der Regel während einigen  
Minuten fortgesetzt, um eine allfällige Leistungsveränderung zu erfassen\*.

Die *Elektromyographie* kann uns helfen, die abnorme Innervations-  
verteilung, insbesondere in bezug auf Agonisten und Antagonisten, bei  
aktiver Bewegung zu beurteilen. Außerdem wird am Arm oder Bein ein  
Entlastungsreflex<sup>1,8,9,14</sup> ausgelöst. Der Arm wird dabei in Rechtswinkel-  
stellung flektiert gehalten und der Unterarm mit einem Gewicht von  
2–4 kg belastet. Die EMG-Ableitung erfolgt aus dem M. biceps und  
M. triceps. Am Bein wird analog aus dem Oberschenkel abgeleitet. Bei  
plötzlicher Entlastung tritt ein Entlastungsreflex mit einer Entladungs-  
pause (silent period) von bestimmter Dauer auf.

### 3. Resultate bei Normalprobanden

Wir haben unsere Testserie mit 14 Studenten und 6 Studentinnen  
im Alter von 21–31 Jahren (Durchschnittsalter 22,6 Jahre) durch-  
geführt. Die Erhebung der Anamnese und des neurologischen Routine-  
status ergab keine Besonderheiten. Der *Gang* war qualitativ unauffällig.  
Die quantitative Auswertung ergab einen Normalbereich von  $26,5 \pm 6,8$   
Schritten und von  $13,9 \pm 2,9$  sec. (Wahrscheinlichkeit  $P = 0,05$ ; gilt  
auch für alle weiteren statistischen Angaben dieser Arbeit).

Die Resultate der *Ergometrie* sind in Abb. 4 zusammengefaßt. Auf  
der *y*-Achse ist die Höhe, in welche das Gewicht gehoben wird, in Milli-  
metern aufgetragen, auf der *x*-Achse die Zeit in Sekunden. Die einzelnen  
Trapeze in den ersten vier Linien in Tab. 2 zeigen, wie hoch jedes einzelne  
Gewicht am Anfang gehoben wurde und nach welcher Zeit das Gewicht  
auf der angegebenen Höhe gehalten werden konnte. Die vier Linien  
geben die Mittelwerte unserer Normalprobanden an, getrennt nach Ge-  
schlecht und Körperseite. Die in der fünften Linie dargestellten vier  
Kurven wurden erhalten, indem alle oberen, rechten Eckpunkte der

---

\* An dieser Stelle möchten wir Herrn Dr. med. B. NOELPP, Biologische Ab-  
teilung, Ciba AG, Basel, für seine Mithilfe bei der Ausarbeitung der Ergometrie  
und des Klopfestes unseren besten Dank aussprechen.

Trapeze miteinander verbunden wurden, ohne daß bei jedem neuen Gewicht von der jeweiligen Grundzeit ausgegangen wurde. Wenn somit ein Proband die verschiedenen Gewichte während langer Zeit in die maximale Höhe heben kann, wird eine längere, nicht stark abfallende Kurve entstehen. Ein anderer Proband, der die Gewichte nicht lange und nicht sehr hoch halten kann, produziert dagegen eine kurze, stark abfallende Kurve. Bei den in Abb. 4 dargestellten Kurven sind die Mittelwerte unserer Normalprobanden zusammengefaßt. Dabei bedeutet die durchgezogene Linie das Resultat der Männer (rechte Hand), die gestrichelte Kurve das Resultat der Männer (linke Hand), die strichpunktiierte und die punktierte Kurve das Resultat der Frauen (rechte bzw. linke Hand). Es zeigte sich, daß keine Seitenunterschiede bestehen, daß aber bei den Frauen früher und deutlicher eine Ermüdung eintritt, als bei den Männern.

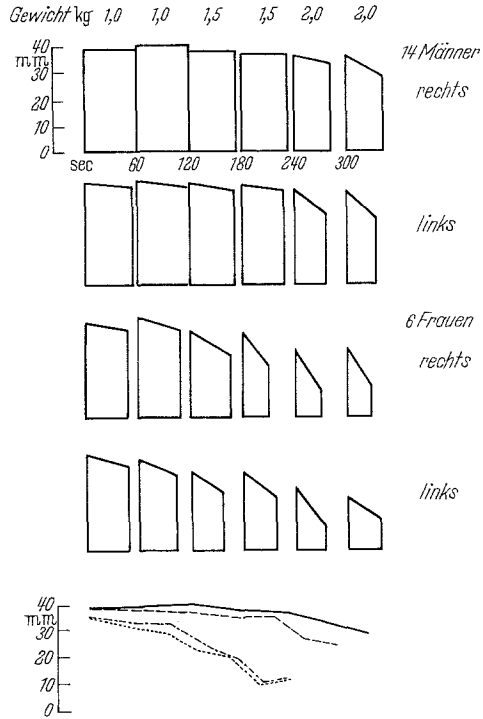


Abb. 4. Resultate der Ergometrie (siehe Text)

Tabelle 1. Normalwerte des Pendeltestes

	<i>n</i>	Mittelwert mm	Standardabweichung des Mittelwertes mm	Normalbereich mm
<i>x</i>	159	9,1	0,08	6,9 — 11,3
<i>x</i> <sub>1</sub>	112	7,2	0,11	4,8 — 9,6
<i>x</i> <sub>3</sub>	157	5,6	0,08	3,5 — 7,7
<i>x</i> <sub>5</sub>	160	3,8	0,08	1,7 — 5,9
<i>x</i> <sub>3</sub> / <i>x</i> <sub>5</sub>	157	1,50	0,0014	1,14 — 1,86
<i>τ</i>	171	6,3*	0,019	5,3 — 7,3
<i>W</i>	171	5**		

\* Diese Zahl entspricht den gemessenen Millimetern auf dem Film.

\*\* Da nicht immer alle Schwingungen auf dem Film registriert werden, kann für *W* kein Mittelwert berechnet werden. Die Zahl 5 bedeutet daher, daß *W* normalerweise 5 und mehr ist.

Der *Klopftest* konnte bei unseren Normalprobanden aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden. Wir werden auf die mit diesem Test erhaltenen Resultate noch zu sprechen kommen.

Die *Elektromyographie* ergab durchwegs eine prompte antagonistische Hemmung bei Ableitung aus dem M. biceps und triceps rechts. Der Entlastungsreflex an der gleichen Stelle zeigte eine silent period von 100 bis 200 msec.

Alle Teste ergeben eine gute Reproduzierbarkeit.

#### 4. Resultate bei spastischen Patienten

Wir untersuchten 11 Männer im Alter von 17–72 Jahren (Durchschnittsalter 50 Jahre) und 9 Frauen im Alter von 25–62 Jahren (Durchschnittsalter 45 Jahre). Die Patienten wiesen alle eine mehr oder weniger ausgeprägte Para-, Hemi- oder Tetraspastik auf, deren Ätiologie uneinheitlich war. Es handelte sich immer um chronische Fälle mit stationärem Verlauf über längere Zeit.

Die *neurologische Routineuntersuchung* zeigte immer eine mehr oder weniger ausgeprägte Muskeltonuserhöhung bei passiver Bewegung der betroffenen Extremitäten, wobei im Extremfall die Spastizität nicht zu überwinden war. Die Sehnenreflexe waren immer gesteigert, teilweise mit Patellar- oder Fußklonus. Die Pyramidenzeichen waren in der Regel positiv.

Der *Gangtest* konnte nur mit 15 Patienten ausgeführt werden. In qualitativer Hinsicht wurde immer ein pathologischer Gang beobachtet. Die Schrittzahl schwankte zwischen 25 und 70 Schritten für 20 m. Der Mittelwert betrug 41 Schritte. Sechs Werte fielen in den Normalbereich. In diesen Fällen war aber mit einer Ausnahme die benötigte Zeit länger als normal. Die Zeit betrug zwischen 15–62 sec (Mittelwert 30). Nur einmal (15 sec) ergab sich ein Wert innerhalb des Normalbereiches.

Die Resultate des *Pendeltestes* sind in Tab. 2 mit den Normalwerten in Beziehung gesetzt. Es konnten 17 Fälle ausgewertet werden. Die angegebenen Zahlen entsprechen den Mittelwerten aus 3–5 Versuchen pro Bein. 15 mal kam es zu einer aperiodischen Kriechbewegung, 7 mal konnte der Pendeltest nicht durchgeführt werden und einmal (bei einem Hemipatiker) ergab sich auf einer Seite kein pathologischer Wert.

Wie in Tab. 2 gezeigt wird, ergaben sich bei Fällen von leichter Spastizität teilweise qualitativ Werte im Normalbereich. In diesen Fällen mußte aber die Kurve qualitativ immer als pathologisch bezeichnet werden, indem vor allem die ersten Schwingungen schräg verliefen oder andere Abnormitäten aufwiesen. Auch bei schwerer Spastizität ist es möglich, daß die Werte  $x$  und  $x_1$  noch im Normalbereich liegen, wogegen die weiteren Werte deutlich pathologisch ausfallen. Werden  $x_3$  und  $x_5$  sehr klein, so kann der Quotient  $x_3/x_5$  in den Normalbereich fallen. Die

Tabelle 2. Resultate des Pendeltestes bei Spastiker und bei Normalprobanden

	$x$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\frac{x_3}{x_5}$	$W$		Spastik
	10	8	4,8	3,8	1,3	5	6	leicht
	8,3	6,8	3,3	1,3	2,4	4	6	schwer
	8	2	1,5	1,5	1,5	3	5	schwer
	7	2,4	2,0	1,0	2,0	3	—	schwer*
	9	4	2,0	1,0	2,0	3	4	schwer
	9,3	5,5	2,0	1,0	2,0	3	5	schwer*
	9	5	3,0	1,5	2,0	4	6	leicht
	9	2,5	1,0	0,3	3,3	3	5	schwer
	7	5	3,9	2,9	1,3	6	5	schwer
	7	5	3,0	2,0	1,5	5	—	schwer
	11	7	5,0	3,0	1,7	4+	7	leicht
	10	6,5	3,5	1,7	3,0	3+	7	leicht
	9	3,5	2,0	1,0	2,0	3	5	leicht
	10	9	6,0	3,0	2,0	5	5	leicht
	8,8	6,7	4,5	3,0	1,5	5+	6	leicht
	9,7	3,0	2,0	0,5	4,0	3	5	schwer*
	11,6	4,9	2,0	1,0	2,0	4	5	schwer
Mittelwert	8,4	5,0	2,9	1,7	2,05	3,8+	5,5	
Mittelwert Normalprobanden	9,1	7,2	5,6	3,8	1,50	5+	6,3	
Normalbereich	6,9— 11,3	4,8— 9,6	3,5— 7,7	1,7— 5,9	1,14 1,86	5+	5,3— 7,3	

\* In diesen Fällen ergaben einzelne Messungen ein  $W$  von 2, so daß  $x_5 = 0$  und damit  $x_3/x_5 = \infty$ .

Messungen sind dann allerdings nicht immer sehr genau, da die auf dem Film zu messenden Distanzen sehr klein werden. Es fällt außerdem auf, daß alle Werte von  $x$  im Normalbereich liegen. Dies kann aber nicht verwundern, wenn man sich über die Versuchsanordnung im klaren ist.  $x$  ist ja nichts anderes, als die Strecke, um welche der Unterschenkel zu Beginn des Versuches ausgelenkt wird. Warum wir  $x$  trotzdem gemessen haben, werden wir später diskutieren. Die Auswertung des Pendeltestes zeigt, daß in Fällen schwerer Spastizität eine aperiodische Kriechbewegung resultiert, in leichteren Fällen dagegen eine von der Norm mehr oder weniger abweichende gedämpfte, harmonische Schwingung zustande kommt. Zur Auswertung gehört nicht nur das logarithmische Dekrement (in  $x_3/x_5$ ), sondern auch die Beachtung der Werte  $x$ ,  $x_1$ ,  $x_3$ ,  $x_5$  und  $W$ .

In Abb. 5 haben wir die Resultate der *Ergometrie* aufgezeichnet. Es konnten mit dieser Methode nur die Tetraspastiker beurteilt werden, da wir die Ergometrie vorerst nur am Zeigefinger ausführen können. Abb. 5 zeigt die bei der Auswertung der Ergometrie erhaltenen Kurven bei

drei Patienten.  $R_1$  und  $L_1$  bedeuten die Kurven für den rechten und linken Zeigefinger bei der ersten Untersuchung.  $R_2$  und  $L_2$  wurden anlässlich einer Kontrolluntersuchung für den rechten und linken Zeigefinger erhalten.

Die erste Strecke der Kurven bezieht sich auf das Gewicht 1 kg, die zweite auf 1,5 kg, die dritte auf 2 kg. In allen drei Fällen ergab sich ein

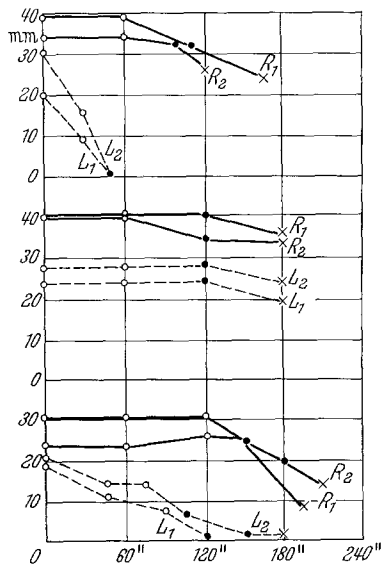


Abb. 5. Resultate der Ergometrie, siehe Text

deutlicher Seitenunterschied zuungunsten der linken Seite. Die klinische Untersuchung ergab bei diesen drei Patienten, daß die linke Körperseite sowohl von der Spastizität als auch von der Parese stärker betroffen war als die rechte Körperseite. Zwischen den beiden Untersuchungen hatten die Patienten ein wirksames Antispasticum erhalten. Dieses Präparat zeigte auch in anderen Untersuchungen\* eine deutliche antispastische Wirkung. Nach der Behandlung, also zur Zeit der Kontrolluntersuchung, war die Spastizität weitgehend zurückgebildet, die Parese aber nicht beeinflusst. Die bei der Ergometrie erhaltenen Kurven zeigen dagegen keinen signifikanten Unterschied vor und nach Behandlung.

Daraus schließen wir, daß beim Ergometrietest in erster Linie eine Parese und nicht eine Spastizität erfaßt werden kann.

Die Ergebnisse beim *Klopfest* sind in Tab. 3 aufgeführt. In der ersten Kolonne sind die Extremwerte, in der zweiten Kolonne die geschätzten Mittelwerte dargestellt. Die beiden weiteren Kolonnen geben an, ob eine Spastizität, eine Parese oder eine spastische Parese vorgelegen hat, oder ob klinisch keine Ausfälle bestanden haben (z. B. an den oberen Extremitäten bei Paraspastikern). Es hat sich gezeigt, daß die gefundenen Werte alle innerhalb einer sehr großen Streuung liegen und daß sich die bei den einzelnen Krankheitsgruppen gefundenen Werte mehrfach überschneiden. Die Kraft, welche benötigt wird, um die Kontakttaste beim Klopfest zu drücken, ist klein. Man kann daher auf Grund theoretischer Überlegungen annehmen, daß, falls ein Patient bei diesem Test schlecht abschneidet, bei Innervation des Agonisten eine ausgeprägte Überdauerungsinervation im Antagonisten zustande kommt und daß dadurch die

\* Wir werden in einer weiteren Arbeit auf die medikamentöse Behandlung spastischer Patienten eingehen.



klinisch in Erscheinung tretende „Parese“ mindestens teilweise durch die spastische Fehlinnervation von Agonist und Antagonist bzw. durch die fehlende antagonistische Hemmung entsteht. Deshalb wäre anzunehmen, daß eine Spastizität im Klopftest zum Ausdruck kommen sollte.

Tabelle 3. *Resultate des Klopftestes* (siehe Text)

Großzehe					Zeigefinger				
Extremwerte		Mittelwert	Spastik	Parese	Extremwerte		Mittelwert	Spastik	Parese
56	103	85	—	—	98	129	115	—	—
58	90	70	—	—	97	112	105	—	—
61	79	65	++	—	96	181	140	—	—
29	67	45	++	—	114	136	125	—	—
43	61	60	++	—	63	75	70	—	—
46	93	60	++	—	55	76	65	—	—
44	70	55	++	—	48	79	65	—	—
48	59	55	++	—	64	100	85	—	—
47	71	60	+	—	84	124	100	—	—
47	75	65	+	—	73	86	80	—	—
49	71	60	+	—	76	91	85	—	—
14	44	30	++	+	58	71	65	+	—
54	61	60	++	+	70	78	65	+	+
5	53	15	+	++	57	76	70	++	+
8	49	25	+	++					
53	57	55	+	++					
53	83	70	++	++					
27	42	40	+	+					

Unsere Resultate sprechen aber dagegen. Es spielen offenbar weitere Faktoren eine wesentliche Rolle. Es kommt außerordentlich darauf an, mit welchem Ehrgeiz und Kampfgeist der Explorand an den Test herangeht. Es wäre denkbar, daß Patienten, welche an einem chronischen Leiden des Zentralnervensystems kranken, gegenüber Normalprobanden große Schwierigkeiten hätten, sich in die nötige Wettkampfsituation hineinzusetzen und schon aus diesem Grund eine schlechtere Ausgangsbasis hätten. Außerdem mag bei mehrfacher Wiederholung des Testes das Resultat wegen einer gewissen Angewöhnung besser ausfallen, auf der anderen Seite ist der Test aber für den Probanden auch etwas monoton, womit bei mehrfacher Wiederholung der Einsatz des Probanden auch sinken kann. Die Leistung sinkt auch sofort, wenn der Explorand aus irgendwelchen Gründen müde ist. Wir haben mehrfach beobachten können, daß Patienten bei entsprechender Aufmunterung wesentlich bessere Testresultate lieferten, als ohne Beeinflussung unsererseits. Wir müssen daher annehmen, daß die große Streuung, die sich bei der Auswertung des Klopftestes gezeigt hat, teilweise auf psychische Fak-

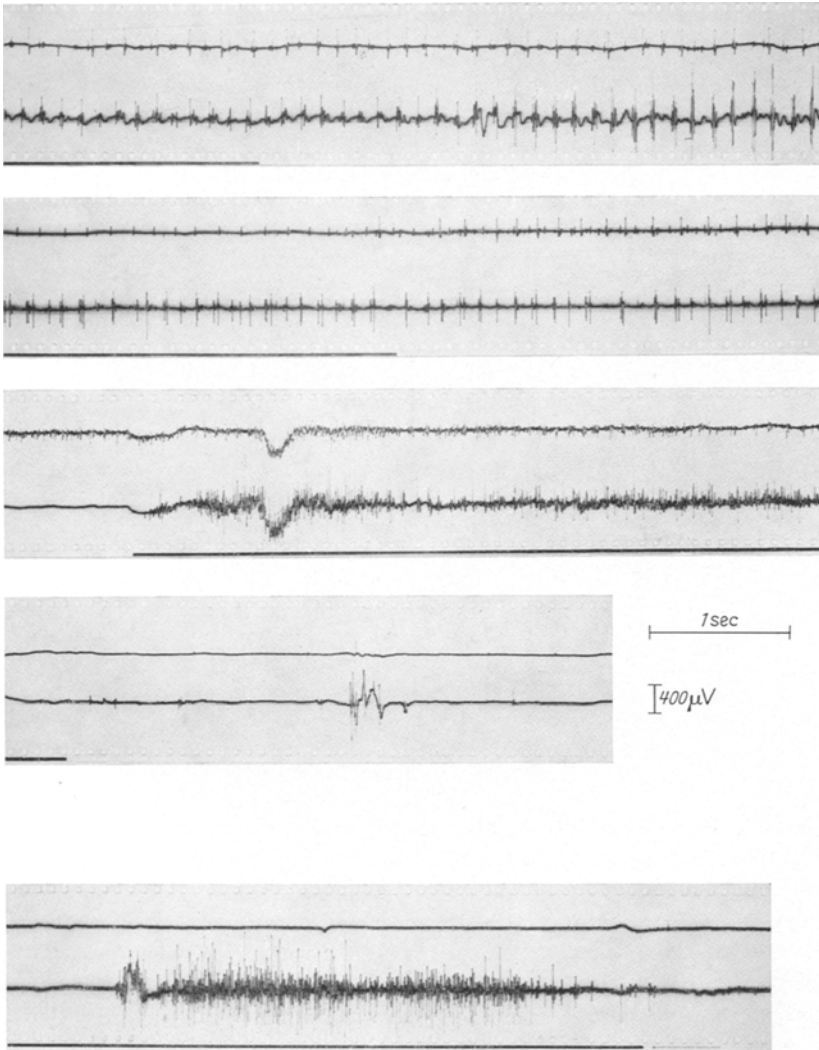


Abb.6 Elektromyographie bei spontanem Patellarklonus. Erklärungen siehe Text

toren zurückgeführt werden muß. Bei sieben Patienten wurde der Klopf-test vor und nach Medikation eines wirksamen Antispasticum ausgeführt. Die Spastizität ging weitgehend zurück, was klinisch und im Pendeltest nachgewiesen werden konnte. Der Klopf-test zeigte mit einer Ausnahme ein gleich schlechtes oder ein noch schlechteres Resultat. Wir sind auf Grund dieser Resultate und Überlegungen der Ansicht, daß der Klopf-test in der von uns verwendeten Ausführung weder für die Beur-

teilung einer Medikamentenwirkung, noch für die Beurteilung einer Spastizität geeignet ist.

Bei der *Elektromyographie* zeigte sich bei Spastizität leichten Grades kaum eine Verminderung der antagonistischen Hemmung. Der Entlastungsreflex ergab dort, wo er ausgeführt werden konnte, keine pathologischen Befunde. Immer dann, wenn eine deutliche Parese vorlag, konnte jedoch der Entlastungsreflex nicht mehr ausgeführt werden, weil der Patient nicht in der Lage war, das Bein in Bauchlage genügend lange im Kniegelenk flektiert zu halten. Wir haben aus diesem Grund die routinemäßige Elektromyographie bei spastischen Patienten als Test nicht mehr weiter ausgeführt. In speziellen Fällen jedoch konnte mit Hilfe des EMG die Wirksamkeit antispastischer Medikamente deutlich objektiviert werden.

Abb. 6 zeigt das EMG bei einem Patienten mit cervical bedingter, links stärkerer Tetraspastik und spontanem Patellarklonus: Die Ableitung erfolgte aus dem M. quadriceps rechts (jeweils obere Kurve) und dem M. quadriceps links (jeweils untere Kurve). Der oberste Filmausschnitt zeigt die Verstärkung des spontanen Patellarklonus links bei Zug an der Patella (Zeitmarke weg). Es ändert sich dabei die Amplitude, nicht die Frequenz des Summationspotentials. Die Frequenz der Entladungen ist im übrigen seitengleich mit einer kontinuierlichen Phasenverschiebung der Erregung gegenüber rechts. Die zweite Ableitung zeigt den gleichen Effekt bei Zug an der Patella rechts. Ableitung drei zeigt den Effekt bei aktivem Beugen und Strecken (Zeitmarke an) im linken Kniegelenk. In Ableitung 4—5 wird der gleiche Versuch gezeigt, der Patient hatte aber 1 Std vor dieser Kontrolluntersuchung 20 mg Antispasticum i.m. erhalten. Der spontane Patellarklonus ist praktisch verschwunden, durch Zug an der Patella links können nur noch einige wenige Klonusschläge hervorgerufen werden. Die antagonistische Hemmung bei aktivem Beugen und Strecken ist jetzt prompt.

## 5. Diskussion der Ergebnisse

Daß die klinische Untersuchung und die wiederholte Beobachtung eines spastischen Patienten für die Beurteilung des Ausmaßes der Spastizität unerlässlich sind, ist unbestritten. PEDERSEN u. SCHLEISNER<sup>7</sup> haben unter anderen auf die Nützlichkeit des Gangtestes hingewiesen. Wir können dies bestätigen, wenn auch in schweren Fällen mit ausgeprägten Lähmungen dieser Test nicht mehr durchgeführt werden kann. Auch hier bildet die Parese einen Faktor, der das Resultat mitbeeinflußt. Der Test ist in solchen Fällen nicht für die Spastizität spezifisch.

Der Pendeltest wurde 1951 von WARTENBERG<sup>15</sup> angegeben. Er wurde später von BOCKO u. MUMENTHALER<sup>2</sup> ausgebaut und statistisch ausgewertet. Eine weitere Beschreibung und Anwendung bei Spastikern und Parkinsonkranken erfolgte durch WIESENDANGER u. MUMENTHALER<sup>16</sup>. In diesen Arbeiten wurden ausgemessen:  $A_1$  = Höhe der ersten Rückwärtsschwingung;  $A_2$  = Höhe der ersten Vorwärtsschwingung;  $W$  = Wellenzahl;  $Z$  = Zeit bis zum Stillstand in der Ruhelage. Außerdem

wurde als Maß der Dämpfung (in Annäherung) der Quotient  $\frac{A_1}{A_1 - A_2}$  berechnet. Das Einbeziehen von  $A_1$  in die Berechnungen erscheint uns nicht sinnvoll.  $A_1$  setzt sich zusammen aus  $x_1$  und  $x$ .  $x$  ist in allen Fällen, die wir gesehen haben, ungefähr gleich groß. Auch  $x_1$  liegt sehr häufig im Normalbereich. Bei Betrachtung einer Normalkurve fällt außerdem auf, daß die erste Schwingung — wahrscheinlich wegen des konstanten Ausgangspunktes — noch nicht in die Exponentialfunktion der harmonisch

gedämpften Schwingung hineinpaßt. Dies ist erst bei der zweiten Schwingung der Fall. Um die Richtigkeit unserer Überlegungen zu prüfen, haben wir unsere Normalkurven nach den Angaben von Boczkò u. MUMENTHALER ausgewertet. Wir haben dabei folgende Mittelwerte und Normalbereiche gefunden (Tab. 4).

Tabelle 4. Normalwerte des Pendellestes, ausgewertet nach Angaben von Boczkò und MUMENTHALER, in unserem Material

	Mittelwert mm	Normalbereich mm
$A_1$	16,3	12,8 — 19,8
$A_2$	12,3	6,4 — 18,2
$A_1 - A_2$	3,6	1,6 — 5,6
$A_1/(A_1 - A_2)$	4,64	1,13 — 8,15
$A_1/A_2$	1,32	1,16 — 1,50

Es zeigt sich, daß insbesondere der Quotient  $A_1/(A_1 - A_2)$  bei einer Wahrscheinlichkeit  $P = 0,05$  einen sehr großen Normalbereich aufweist. Berechnet man dagegen den Quotienten  $A_1/A_2$  so wird die Standardabweichung wesentlich kleiner. Wie wir aber bereits gesagt haben, darf  $A_1$  aus physikalischen Gründen nicht in eine Dämpfungsberechnung mit einbezogen werden. Außerdem ist es nicht zulässig, mit den Werten  $A$ , d. h. der Amplitude der ganzen Rückwärts- oder Vorwärtsschwingung zu rechnen, sondern nur mit den Werten  $x$ , d. h., der eigentlichen Schwingungsamplitude vom extremen Ausschlag bis zur Mittellinie. Nur auf diese Weise läßt sich die Dämpfung, bzw. das logarithmische Dekrement als Maß der Dämpfung berechnen.

Mehrfach wurde die Elektromyographie zur Objektivierung einer Spastizität zu Hilfe gerufen. PINELLI<sup>8,9</sup> beschrieb die Veränderungen des Hoffmannschen<sup>4</sup> Reflexes, STRUPPLER<sup>13,14</sup> erwähnte die Veränderungen des Streckreflexes. Bei diesen Testanordnungen ist eine dosierte, wiederholbare Reflexauslösung notwendig. ASAI u. HUFSCHMIDT<sup>1</sup> beschrieben eine Veränderung beim Entlastungsreflex. Wir haben für den Entlastungsreflex eine andere Ausgangslage verwendet und können daher unsere Befunde nicht mit denen von ASAI u. HUFSCHMIDT vergleichen. Bei uns waren die Spastiker in der Regel wegen der bestehenden Paresen nicht in der Lage, das Bein genügend lange flektiert zu halten. Wie bereits erwähnt, kann aber das EMG in ausgewählten Fällen ein hilfreicher Test sein (vgl. Abb. 5). Den bekannten Überdauerungseffekt<sup>12</sup> konnten wir bei der Mehrzahl unserer Fälle nicht nachweisen. Der Klopf-

test wird von GERSTENBRAND et al.<sup>3</sup> als Hilfsmittel zur Objektivierung der Spastizität erwähnt. Nähere Angaben über die Durchführung und die erhaltenen Resultate sind in dieser Arbeit aber nicht enthalten.

Abschließend können wir sagen, daß sich bei unseren Untersuchungen die klinische Untersuchung, der Gangtest und der Pendeltest für die Beurteilung einer Spastizität bewährt haben. Von nur sehr bedingter Zuverlässigkeit und ohne Spezifität sind die Ergometrie und der Klopf-test. Der Pendeltest objektiviert die Spastizität, wobei der Muskeldehnungswiderstand bei passiver Bewegung beurteilt werden kann. Von SCHALTENBRAND<sup>10,11</sup> wurde mehrfach der Myograph beschrieben, welcher ebenfalls bei dosierter, passiver Bewegung die Dehnungswiderstände messen kann. Es fehlt uns noch eine einfache Testuntersuchung, bei der auch während aktiver Innervation die Muskeltonuserhöhung, bzw. die gestörten Dehnungsreflexe beurteilt werden könnten.

### Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine Testserie zur Objektivierung eines erhöhten Muskeltonus beschrieben. Die Testserie besteht aus einer zielgerichteten klinischen Untersuchung, Gangtest, Pendeltest, Ergometrie, Klopf-test und Elektromyographie mit Entlastungsreflex. Für jeden Test wird der Gang der Untersuchung, die Resultate bei Normalprobanden und die Resultate bei Spastikern beschrieben. Die Auswertung der Resultate ergibt, daß nur die klinische Untersuchung, der Gangtest und der Pendeltest für die Untersuchung der Spastiker verwertbar sind. Die Ergometrie und der Klopf-test sind dafür nicht genügend spezifisch. Die Durchführung und Auswertung des Pendeltestes wurde gegenüber früheren Arbeiten etwas modifiziert. Die Elektromyographie kann in ausgewählten Fällen bei der Spastikeruntersuchung gute Dienste leisten.

### Summary

A series of test has been described to evaluate the degree of spasticity. The most useful results have been obtained by the "pace test" (number of steps for a definite distance as well as duration and quality of performance) and the "pendulum test" (recording of the oscillations of the lower leg after sudden release). Whereas the oscillations in healthy persons correspond to damped harmonic oscillations, spastic patients show increased damping and severe cases transition to an aperiodic creeping movement.

### Literatur

- <sup>1</sup> ASAI, K., u. H.-J. HUFSCHMIDT: Die Entlastungsreaktion beim Spastiker. Dtsch. Z. Nervenheilk. 178, 289 (1958).

- <sup>2</sup> BOCZKÒ, M., and M. MUMENTHALER: Modified pendulousness test to assess tonus of thigh muscles in spasticity. *Neurology (Minneap.)* **8**, 846 (1958).
- <sup>3</sup> GERSTENBRAND, F., K. PATEISKY u. P. PROSENZ: Klinische Erfahrungen mit dem Antispastikum Lisidonil. *Wien. med. Wschr.* **113**, 775 (1963).
- <sup>4</sup> HANSEN, K., u. P. HOFFMANN: Weitere Untersuchungen über die Bedeutung der Eigenreflexe für unsere Bewegungen. *Z. Biol.* **75**, 293 (1922).
- <sup>5</sup> HUFSCHMIDT, H.-J., W. WAPPENSCHMIDT u. H. SPULER: Interneurone und Spastik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **182**, 278 (1961).
- <sup>6</sup> PEDERSEN, E.: Medical treatment of spasticity. *Acta neurol. scand. Suppl.* **3**, 38, 85 (1962).
- <sup>7</sup> —, and P. SCHLEISNER: Effect of „Ciba 13155“ in the treatment of spastic paraplegia. *Acta psychiat. scand.* **34**, 342 (1959).
- <sup>8</sup> PINELLI, P.: Terapia antispastica: azione inibente sul riflesso H di un derivato della diazonitriazina. *Riv. Neurol.* **29**, 151 (1959).
- <sup>9</sup> —, e M. VALLE: Studio fisiopatologico dei riflessi muscolari nelle paresi spastiche. *Arch. Sci. Med.* **109**, 1 (1960).
- <sup>10</sup> SCHALTENBRAND, G.: Myographische Untersuchungen in der Klinik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **142**, 1 (1937).
- <sup>11</sup> —, u. F. HAMPL.: Über einen neuen Myographen. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **178**, 276 (1958).
- <sup>12</sup> STEINBRECHER, W.: *Dtsch. med. Wschr.* **84**, 2295 (1959).
- <sup>13</sup> STRUPPLER, A.: Neue Ausblicke in der konservativen Therapie der Spastik. *Nervenarzt* **31**, 369 (1960).
- <sup>14</sup> —, u. E. SCHENK: Der sog. Entlastungsreflex bei cerebellären und anderen Ataxien. *Fortschr. Neurol. Psychiat.* **26**, 421 (1958).
- <sup>15</sup> WARTENBERG, R.: Pendulousness of the legs as a diagnostic test. *Neurology (Minneap.)* **1**, 18 (1951).
- <sup>16</sup> WIESENDANGER, M., u. M. MUMENTHALER: Der Pendeltest. *Schweiz. med. Wschr.* **89**, 1301 (1959).

Dr. R. F. KUHN,

Zürich (Schweiz), Neurologische Univ.-Klinik, Forschungsabt., Rämistr. 100