

Vasomotor Reflexes from Muscles in the Spinal Cat

The electrical stimulation of dorsal roots or muscle nerves in the C_1 spinal cat evokes changes in systemic blood pressure¹, apparently due to the reflex vasoconstriction of a number of vascular regions². Afferent fibres responsible have been confined to high-threshold slow myelinated fibres of both somatic and visceral origin^{3,4}; however, the nature of the adequate stimulus and the receptors involved have remained undefined.

In the present experiments an attempt has been made to activate by natural stimuli those spinal somato-sympathetic pathways the afferents of which arise in limb muscles. Hence the effect of muscle tetanic contraction, squeezing the muscle and muscle stretch upon systemic blood pressure and contralateral hind limb blood flow was studied in spinal cats.

Methods. In adult female cats anaesthetized with sodium penthotal, the spinal cord was transected aseptically at C_8 - Th_1 level. Ventral roots supplying the right hind limb were sectioned intradurally in order to eliminate crossed motor reflexes, the vasomotor supply to the limb being preserved (LANGLEY⁵). After 36–60 h the cats were anaesthetized with chloralose (30–40 mg/kg), or in some cases left unanaesthetized, fixed left side up and muscle tetanic contractions were evoked by stimulation of the left sciatic nerve in the mid-thigh (100 pulses/sec, pulse duration 0.1 msec, for 10–20 sec) under isometric conditions. The intensity of stimulation was expressed in multiples of the threshold ($1.0 \times T$) for the first signs of the motor response. After several trials where the intensity remained at 2.0 – $2.5 \times T$, the animals were curarized with gallamine triethiodide (Remyolan Spofa), artificial respiration was introduced and stimulation of the left sciatic nerve repeated at the same and then at higher intensities (up to 20 – $30 \times T$). Throughout the experiment,

femoral venous blood flow in the right hind limb was registered by means of a drop-counter and together with carotid blood pressure recorded on a Galileo polygraph.

Results and discussion. An isometric tetanic contraction of calf muscles induced by stimulation of the left sciatic nerve with the intensity 2.0 – $2.5 \times T$ in the spinal cat led to an increase in the systemic blood pressure and to vasoconstriction in the contralateral hind limb (Figure B). The rise in blood pressure did not usually exceed 20 mm Hg and the blood flow in the right leg was reduced by about $\frac{1}{3}$. After curarizing the animal, neither of the circulatory reactions appeared, when the intensity of the stimulus was kept at 2.0 – $2.5 \times T$ (Figure C). This was taken to indicate that the reactions observed are not due to direct stimulation of larger afferent fibres. When the stimulus strength reached 3 – $20 \times T$ and small myelinated fibres were thus also recruited, both circulatory reactions reappeared (Figure D), (MOLINA and PERL²).

Contralateral blood flow and blood pressure changes similar to those accompanying muscle tetanus could be evoked by squeezing the left calf muscles between the thumb and finger, even when the pressure was applied to the unskinned belly of the muscles (Figure A). On the other hand, muscle stretch achieved by pulling the common gastrocnemius-soleus tendon was without any effect on the systemic or regional circulation.

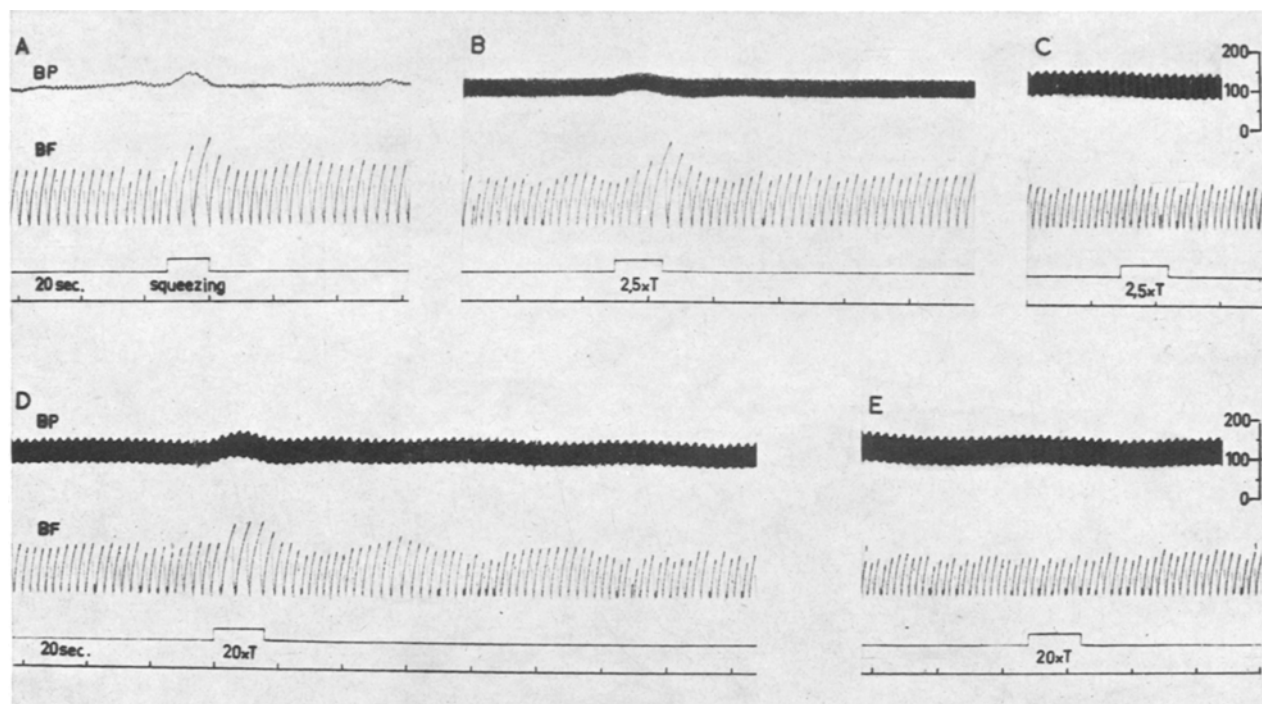
¹ C. M. BROOKS, *Am. J. Physiol.* 106, 251 (1933).

² A. F. DE MOLINA and E. R. PERL, *J. Physiol.* 181, 82 (1965).

³ W. S. BEACHAM and E. R. PERL, *J. Physiol.* 173, 431 (1964).

⁴ D. N. FRANZ, M. H. EVANS and E. R. PERL, *Am. J. Physiol.* 217, 1292 (1966).

⁵ J. N. LANGLEY, *J. Physiol.* 12, 375 (1891).



Changes in systemic blood pressure and regional blood flow in the Th_1 spinal cat 36 h after the transection in response to squeezing the left calf muscles (A) and to tetanic stimulation of the left sciatic nerve (B-E) at intensities expressed in multiples of the threshold strength for muscle contraction ($\times T$). Between B and C the animal was curarized and artificial ventilation introduced, and between D and E tetraethyl-ammonium chloride was administered. BP, carotid blood pressure in mm Hg; BF, blood flow in the right femoral vein, increased amplitude of record denotes lower flow.

All vasomotor reactions observed could be eliminated by i.v. administration of tetraethylammonium chloride (Thiamethon Spofa, 25 mg/kg) which indicates that ganglionic transmission is involved (Figure E). The reflex character of the responses was further demonstrated in experiments in which circulatory reactions were eliminated by section of the sciatic nerve.

It thus appears that isometric tetanic contraction or squeezing the muscle, but not muscle stretch, can activate afferent fibres connected with spinal sympathetic vasomotor neurones. BEACHAM and PERL³ have shown that the conduction velocity of afferents of somato-sympathetic spinal reflex arcs is 10–30 m/sec. Such slow fibres of muscle origin do not respond to muscle stretch, but could be activated by external pressure on muscle and during an isometric tetanic contraction⁶. It can thus be assumed that it was the activation of these non-proprioceptive afferents which evoked the above vasomotor responses. The absence of any circulatory response to muscle stretch renders the participation of proprioceptive fibres in the reactions induced by muscle tetanus or squeezing unlikely.

In the intact animals, besides a supraspinal relay, local sympathetic spinal arcs may apparently be active^{7,8}. It is thus not inconceivable that the spinal vasomotor reflexes described may be of functional significance also

under ordinary conditions, possibly in pressor reflexes which have been shown to arise from statically exercising muscles in the cat and in man^{9,10}.

Zusammenfassung. Es wurden bei Katzen mit durchtrenntem Rückenmark (Th_1) reflektorisch hervorgerufene Änderungen des Blutdrucks und der Durchblutung der hinteren Extremität beschrieben, die als Folge der Aktivierung der afferenten Nervenfasern mit adäquaten Stimuli der Skelettmuskeln auftreten.

J. KUČERA¹¹

*Institute of Physiology,
Czechoslovak Academy of Sciences,
Praha 4 (Czechoslovakia), 19 June 1969.*

⁶ A. S. PAINTAL, J. Physiol. 152, 250 (1960).

⁷ J. H. COOTE and C. B. B. DOWNMAN, J. Physiol. 183, 714 (1966).

⁸ A. SATO, N. TSUSHIMA and B. FUJIMORI, Jap. J. Physiol. 15, 532 (1965).

⁹ J. H. COOTE, S. M. HILTON and J. F. PEREZ-GONZALEZ, J. Physiol. 207, 34P (1969).

¹⁰ A. R. LIND, G. W. McNICOL and K. W. DONALD, Proc. Int. Symp. Physical Activity in Health and Disease, Norway (1966).

¹¹ I wish to thank Dr. O. HUDLICKÁ and Dr. P. Hník for helpful advice.

Nachweis circannualer Periodik bei der Quappe (*Lota lota* L.) (Pisces, Gadidae)

Für verschiedene Süßwasserfische (*Salmo trutta*, *Cottus poecilopus*, *Lota lota*) konnte gezeigt werden, dass unter natürlichem Licht-Dunkelwechsel die Phasenlage der lokomotorischen Aktivität einem mehrfachen Wechsel im Jahreslauf unterliegt¹. Dieses Phänomen der Verlagerung der Aktivität um 180° gegenüber dem Zeitgeber wurde nicht nur unter subarktischen Bedingungen am Polarkreis (Messaure: 66°42'N, 20°25'E), sondern für die Bachforelle (*Salmo trutta* L.) auch in Südschweden (Lund: 55°40'N, 13°30'E) und in Oberösterreich (Mondsee: 47°40'N, 13°20'E) nachgewiesen^{2,3}. Ein gleicher Nachweis von Phasenwechseln der lokomotorischen Aktivität im hohen Norden und in Mitteleuropa konnte auch für Mäuse erbracht werden^{4,5}. Es ist bisher nicht geklärt, welche Faktoren den Phasenwechsel in der Aktivitätsperiodik bedingen, es können sowohl exogene als auch endogene Steuerungsmechanismen in der Jahresperiodik eine Rolle spielen⁶.

Material und Methoden. Alle in den Versuchen benutzten Fische wurden in natürlichen Gewässern unweit Messaure, nördlich des Polarkreises, gefangen. Die Fütterung erfolgte mit lebenden Kleinfischen in unregelmässigen Abständen. Die Registrierung der lokomotorischen Aktivität erfolgte in folgender Weise: In einem kontinuierlich durchströmten Ringaquarium löst der Fisch beim Durchschwimmen eines Infrarot-Lichtstrahles einen Impuls aus; die Zahl der Impulse je Zeiteinheit dient als Mass der Aktivität. Die Aufzeichnung erfolgt mit Druckzählern⁷. Die hier vorgelegten Resultate basieren auf kontinuierlichen Untersuchungen an einzelnen und in Populationen gehaltenen Quappen während dreier Jahreszyklen.

Resultate und Diskussion. Unter natürlichem Licht-Dunkelwechsel (nLD) erfolgt bei der Quappe in den Gewässern Nordschweden der Umschlag von der sommerlichen Nachtaktivität zur winterlichen Tagaktivität in der Regel Anfang November. Der Fisch ist dann bis zum

Monatswechsel Januar/Februar tagaktiv, um danach, mit der Laichzeit zusammenfallend, wieder in die sommerliche Nachtaktivität überzuwechseln (Figur 1).

Parallel mit dem in der Figur 1 dargestellten Versuch haben wir eine Quappe in künstlichem LD 12:12 (L = 100 Lux, D = 1 Lux) gehalten. Es wurden dem Fisch keine Dämmerungszeiten geboten (rechteckiger LD). Die mittleren Wassertemperaturen im Versuchsaquarium hatten die in der Tabelle angegebenen Werte. Ein tagesperiodischer Gang der Wassertemperatur war nur in den Monaten Juli und August gegeben.

In den Monaten Juli, August und September 1968 ist die Quappe im künstlichen Licht eindeutig dunkelaktiv. In der 3. Oktoberdekade beginnt dann im LD (12:12) der Umschlag in die Lichtaktivität. In der 2. Januardekade zeichnet sich die Rückwanderung in die Dunkelzeit ab (Figur 2).

Im Vergleich zu dem Kontrolltier im natürlichen Licht-Dunkelwechsel (Figur 1) tritt der Phasenwechsel im künstlichen Licht früher ein. Nach unseren bisherigen über 3 volle Jahre durchgeführten Beobachtungen vollzieht sich der Herbst-Phasenwechsel unter natürlichen Bedingungen bei LD (7:17) und einer maximalen Lichtintensität um die Mittagszeit von 50–100 Lux. Der Frühjahrs-Phasenwechsel fällt in der Regel mit dem Beginn der Laichzeit zusammen bei einem natürlichen Licht-Dunkelwechsel (LD 7:17 bis 8:16) und einer Lichtintensität von ca. 200 Lux um die Mittagszeit.

¹ K. MÜLLER, Umschau 69, 18 (1969).

² K. MÜLLER, Öst. Fisch. 22, 6 (1969).

³ K. MÜLLER, Oikos 20, 166 (1969).

⁴ E. ERKINARO, Oikos 72, 157 (1961).

⁵ E. ERKINARO, Aquilo 8, 1 (1969).

⁶ S. ANDREASSON und K. MÜLLER, Oikos 20, 171 (1969).

⁷ K. MÜLLER und K. SCHREIBER, Oikos 18, 135 (1967).