

Articular Neurology—A Review 関節神経学—レビュー（再考）

BARRY WYKE, M.D., B.S.*

Neurological Laboratory, Royal College of Surgeons of England
神経学研究所、イギリス王立医科大学神経学研究所

ARTICULAR neurology is that branch of the neuro-logical sciences that concerns itself with the study of the anatomical, physiological, and clinical features of the nerve supply of the joint systems in various parts of the body. As such, it is clearly of relevance not only to neurologists and neurosurgeons, but also to orthopaedic and physical medicine specialists and to physiotherapists; nevertheless, until recently it has never been the subject of specific and organised investigation.

関節神経学は、身体の様々な部分における関節系の神経支配の解剖学的、生理学的、および臨床的特徴の研究に関係する神経学的科学の分野である。

そのため、神経科医や神経外科医だけでなく、整形外科や物理医学専門医、理学療法士にも明らかに関連性がある。それにもかかわらず、最近まで、それは特定で組織化された調査の対象では全くなかった。

For this reason this article summarises some of the recent developments in this field, with particular regard to their more basic scientific features, in so far as these have emerged from the studies carried out over the past decade by workers in the Neurological Laboratory of the Royal College of Surgeons of England. These investigations have thus far embraced the temporomandibular, laryngeal, spinal, hip, knee, and ankle joints; and the detailed observations that have been made in regard to each of these joint systems can be found described in the references listed in the classified bibliography at the end of this article.

この理由のため、この記事では、この分野における幾つかの最近の進展を、特にそれらのより基礎的な科学的特徴に関して、イギリス王立外科医科大学神経学研究所の研究者達が過去10年間に実施した研究から明らかになった、これまでの所を要約している。

これらの調査は、これまで顎関節、喉頭、脊椎、股関節、膝関節、および足関節を対象としてきた；そして、これら各々の関節系に関して行われた詳細な観察は、この記事の最後にある分類された参考書籍一覧にある参考文献に記載されている。

Assisted by grants from the British Postgraduate Medical Federation (University of London), the Camilla Samuel Fund, and the National Fund for Research into Crippling Diseases.
英国大学院医学連盟（ロンドン大学）、カミラサミュエル基金、および壊滅的な病気の研究のための国立基金からの助成金によって支援された。

Extrinsic innervation of Synovial Joints 滑膜関節の外因性神経支配

Each synovial joint in the body has a dual pattern of nerve supply—first, by primary articular nerves that reach the joint capsule and ligaments as independent branches of adjacent peripheral nerves, often (but not exclusively) in company with articular blood vessels; and second, by accessory articular nerves, which are branches of related muscle (and sometimes cutaneous) nerves. Many of these latter articular nerves arise within some of the muscles that are attached to each joint capsule as intra-muscular branches of various muscle nerves, and reach the joint by running (embedded in the interfascicular connective tissue) through the substance of the muscle.

身体における各滑膜関節には、二種類の神経供給がある。まず、隣接する末梢神経の独立した枝として、関節包と靭帯に到達する一次関節神経によって、しばしば（独占的ではないが）関節血管と一緒になる。

第二に、関連する筋（そして時には皮膚）神経の枝である副関節神経によるものである。

これらの後者の関節神経の多くは、さまざまな筋神経の筋内枝として各関節包に付着しているいくつかの筋群内で発生し、筋の物質を通過する（*interfascicular* の訳として東間または筋膜 or 筋膜結合組織に埋め込まれる）ことによって関節に到達する。

Neurohistological studies have shown that each articular nerve contains a mixture of myelinated and unmyelinated nerve fibres whose diameters range from less than 1μ to 13μ (and up to 17μ in a few instances). When these data are considered in combination with the results of oscillographic analyses of the impulse traffic in the articular nerves, of electrical nerve stimulation procedures, and of other neurophysiological investigations, it emerges that the fibres in articular nerves generally may be subdivided into the three major size categories indicated in Table I, each of which has specific functional correlates conferred upon it by the particular nerve endings in the joint tissues that its constituent fibres supply.

神経組織学的研究は、各関節神経が、直径が 1μ 未満から 13μ （場合によっては最大 17μ ）の範囲の有髓神経線維と無髓神経線維の混合物を含むことを示している。

これらのデータを、関節神経刺激経路のオシログラフィック分析、電気神経刺激手順、およびその他の神経生理学的調査の結果と組み合わせて検討すると、関節神経内の繊維は、一般に、表 I に示されている 3 つの主要なサイズの区分に細分される可能性があることが明らかであり、サイズの区分は、それぞれが、その構成繊維が供給する関節組織特有の神経終末によって与えられる特定の機能的相関関係を持っている。

A large proportion (at least 45%) of the total number of fibres in each articular nerve has diameters of less than 5μ . Most of these small myelinated and unmyelinated fibres are afferent in function and subserve articular pain sensation; but a small proportion of the unmyelinated fibres in this group consists of visceral efferent fibres of sympathetic origin that innervate the articular blood vessels—that is to say, these latter are articular vasomotor nerve fibres. There is no evidence of the existence in any articular nerve of secretomotor fibres, or indeed of any direct nervous influence on the production of synovial fluid other than that exerted indirectly by vasomotor nervous effects on the diameter of the articular blood vessels (and thus on joint blood-flow).

各関節神経において線維全体で大きな割合（少なくとも 45%）を占めるものは 5μ 未満の直径を持っている。

これらの小さい有髄と無髄線維のほとんどは機能において求心性であり、関節の痛みの感覚を補助する；しかし、このグループの無髄線維のうち少数は関節の血管を神経支配する交感神経起源である内臓の遠心性線維で構成されており、すなわち、これら後者は関節の血管運動性神経線維である。

関節神経の分泌線維の存在の証拠は無く、あるいは、実際に関節血管の直径における運動血管性の神経によって間接的に働く以外に、滑液の産生に対する直接的な神経性の影響があるという証拠は無い（そして関節の血流量に対しても同様である）。

Another large proportion (some 45% to 55% of the total) of fibres in articular nerves consists of medium-sized myelinated fibres between 6 and 12μ in diameter, all of which are mechanoreceptor afferents. That is to say, these nerve fibres innervate small corpuscular endorgans of varying morphology (vid. inf.) located mainly in the fibrous capsules and fat pads of the joints, which respond to changing mechanical stresses in these tissues (see Table II) and which subserve reflexogenic and kinaesthetic functions.

関節神経においてもう一つ大部分を占める（全体の 45% から 55%）線維は中間のサイズで 6 から 12μ の間の直径の有髄線維で構成されており、これら全ては機械性受容体の求心性神経である。

すなわち、これらの神経線維は主に関節の線維膜や脂肪床に接し、形態変化する小さな末端の終末器官（下記参照）を支配し、これらは組織における（表 II 参照）機械的ストレスの変化に反応する。および反射原性、運動感覚の機能の促進に寄与する。

A third small proportion (some 10% or less) of fibres consists of very large myelinated fibres between 13 and 17μ in diameter that are also mechanoreceptor afferents. However, these latter (as indicated in Table II) innervate very large corpuscular endorgans (of relatively high threshold) that are confined to the joint ligaments; and thus this third group of afferent fibres is absent from those articular nerves that do not contribute branches to extrinsic or intrinsic joint ligaments. Their function appears to be entirely reflexogenic

繊維の 3 番目の小さな割合（約 10% 以下）は、機械的受容体からの求心性神経で、直径 $13\sim 17\mu$ の非常に大きな有髄繊維で構成されている。

しかし、これらの後者（表 II に示されている）は、関節靭帯に限定されている非常に大きな小体性の終末器官（比較的高い閾値）を神経支配している；したがって、求心性線維のこの 3 番目のグループは、関節外、関節内に関わらず、関節靭帯への神経支配をしている。それらの機能は完全に反射性であるように見える。

TABLE I
General Composition of Articular Nerves

Diameter range	Structure	Function
$<2\mu$	Unmyelinated	Pain afferent Vasomotor efferent
$2-5\mu$	Small myelinated	Pain afferent
$6-12\mu$	Medium myelinated	Mechanoreceptor afferent (from capsule and fat pads)
$13-17\mu$	Large myelinated	Mechanoreceptor afferent (from ligaments)

TABLE II

Type	Morphology	Classification of Articular Receptor Systems		
		Location	Parent nerve fibres	Behavioural characteristics
I	Thinly encapsulated globular corpuscles (100 μ x 40 μ). in clusters of 3-6 corpuscles	Fibrous capsule of joint (mainly superficial layers)	Small myelinated (6-9 μ)	Static and dynamic mechanoreceptors; low-threshold, slowly adapting
II	Thickly encapsulated conical corpuscles (280 μ x 120 μ) in clusters of 24 corpuscles	Fibrous capsule of joint (mainly deeper layers) Articular fat pads	Medium myelinated (9-12 μ)	Dynamic mechanoreceptors low-threshold, rapidly adapting
III	Thinly encapsulated fusiform corpuscles (600 μ x 100 μ)	Joint ligaments (intrinsic and extrinsic)	Large myelinated (13-17 μ)	Dynamic mechanoreceptors high-threshold, very slowly adapting
IV	Plexuses and free nerve endings	Fibrous capsule Articular fat pads Ligaments Walls of blood vessels	Very small myelinated (2-5 μ) Unmyelinated (< 2 μ)	Pain receptors; high-threshold, non-adapting

From Wyke, B. D. (1967). *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 41, 25.

Articular Receptor Nerve Endings 関節受容体神経終末

The use of specially modified neurohistological staining techniques, correlated with neurophysiological observations of receptor endorgan behaviour, has shown that the nerve endings distributed through the tissues of all synovial joints may be classified into four distinct varieties in terms of morphological and behavioural criteria, as indicated in Fig. 1 and Table II.

図1と表2に示したように、受容体小体の反応の神経生理学的観察と相互に関連した、特殊な修正された神経組織学的染色技術の使用は、形態学と反応の基準の点から、全滑膜関節の組織を介して分布する神経末は、4つの異なる種類に分類されるかもしれないことを示していた。

Type I Receptors タイプ I 受容体

The Type I receptors, a group of which is shown in Fig. 1A, are globular or ovoid corpuscles with a very thin capsule that are similar to those described originally by Ruffini in subcutaneous and fascial connective tissues. They are numerous in the capsular tissues of all the limb joints, the apophyseal joints of the vertebral column and the temporomandibular joints—although their population density differs in the individual joints. For example, in the limbs the Type I receptors appear to be more densely distributed in the proximal (for example, in the hip) joints than in more distal (for example, the ankle) joints; whilst in the spine they appear to be more numerous in relation to the apophyseal joints of the cervical region than elsewhere. In each joint in which they are present, the Type I receptors are located mainly in the superficial (that is, in the external) layers of the fibrous capsule, within which they are distributed tridimensionally in clusters of up to 6 corpuscles per cluster, and each such cluster is supplied by the fine terminal branches of a single myelinated afferent axon that is some 6 μ to 9 μ in diameter (see Table II). Within the capsule of each individual joint, the clusters of Type I receptors show regional differences in their distribution density, in general being more numerous on those aspects of the joint capsule that undergo the greater changes in stress during natural joint movement: the details of the distribution of these receptors in relation to individual joints can be found in the references appended to this article.

図1Aに示されているグループのタイプ1受容体は、皮下および筋膜結合組織でRuffiniによって最初に記述されたものと同様の非常に薄い被膜を備えた球状または卵形の小体である。

それらは、すべての四肢関節の関節包組織、脊柱の椎間関節、および顎関節に多数あるが、それらの個体群の密度は個々の関節で異なる。

たとえば、手足では、タイプI受容体は、より遠位（たとえば、足首）の関節よりも近位（たとえば、股関節）の関節に密に分布しているように見える；脊椎の中では、それらは他の場所よりも頸部の椎間関節に関連してより多く見られる。

それらが存在する各関節において、タイプI受容体は主に線維膜（関節包）の表層（すなわち、外層）に位置し、その中でそれらは集合体あたり最大6個の小体の集合体に三次元的に分布している、そしてこのよ

うな各集合体は、直径が約 6μ から 9μ の単一の有髄求心性軸索の細い末端枝から供給される（表 II を参照）。

個々の関節の関節包内で、タイプ I 受容器の集合体は、それらの分布密度に局所的な差を示し、一般に、自然な関節の動きの間ずっと応力の大きな変化を受ける関節包の側面上でより多くなる；個々の関節に関連するこれらの受容器の分布の詳細は、この論文に添付されている参考文献に記載されている。

Physiologically, the Type I receptors behave as lowthreshold, slowly-adapting mechanoreceptors responding to the changing mechanical stresses obtaining in the part of the fibrous capsule in which they lie. For this reason, a proportion of the lowest threshold Type I receptors in each joint capsule is always active in every position of the joint, even when it is immobile. This resting discharge ' usually has a frequency of 10-20 impulses per second, and is generated partly by the stresses created regionally within the joint capsule by the varying degrees of tone in the muscles attached to it, and partly by the overall capsular stress created by the fact that the intracapsular (that is the intra-articular) pressure is normally some 5-10 mm Hg less than the external atmospheric pressure. Alterations—either increases or decreases—in the rate of this resting discharge occur whenever the joint is moved actively or passively by manipulation, whenever the tension in the related muscles changes isotonicly or isometricly, or whenever the pressure gradient between the interior of the joint and the atmosphere is altered sufficiently. In addition, as the mechanical stress in particular parts of the joint capsule increases with active or passive movement or with isometric changes in muscle tone, additional Type receptor clusters of increasing threshold are recruited seriatim, thereby augmenting the total quantum of afferent activity being discharged along the articular nerves into the central nervous system.

生理学的に Type I 受容器は、それらが存在している線維膜の一部分で受けた機械的ストレスの変化に反応する低い閾値で遅い適応の機械的受容体として活動する。

この理由により、各関節包において最も閾値の低い Type I 受容器は関節の全ての肢位で、無動の時ですえ常に活動している。

この安静時の放電は大抵 1 秒間に 10-20 の頻度でインパルスを発射し、関節包と接している筋における緊張の程度の変化から関節包内で局所的に作り出される機械的なストレスによって部分的に発生し、そして部分的には関節包内（つまり関節内）の圧力は通常、外部の大気圧と比べて 5-10mmHg 少ないという事実から作り出された関節包全体のストレスによって発生する。

関節が自動的あるいは徒手によって他動的に動かされる時、筋に関連する張力が等尺性あるいは等張性に変化する時、関節内と大気間の圧力の勾配が十分に変化する時はいつでも、安静時放電の比率の変化—増加あるいは減少—が生じる。

加えて、関節包の特定の部位における機械的ストレスが自動的あるいは他動的な運動、または筋の張力における等尺性の変化とともに増加する時、閾値の増加した追加のタイプ I 受容器の集合体が連続して動員され、それによって増加した求心神経活動の総量は関節神経に沿って中枢神経系に放電される。

The Type I receptors may thus be categorised as static and dynamic mechanoreceptors, whose discharge pattern signals static joint position, intraarticular or atmospheric pressure changes, and the direction, amplitude, and velocity of joint movements produced actively or passively.

したがって、タイプ I 受容器は静的および動的機械受容器として分類することができ、その放電パターンは静的関節位置、関節内または大気圧の変化、ならびに自動的または他動的に引き起こされた関節運動の方向、振幅、および速度を示す。

Type II Receptors タイプ II 受容体

The Type II receptors, one of which is illustrated in Fig. 1B, are elongated, conical corpuscles with a thick multi-laminated connective tissue capsule enclosing a single (or sometimes multi-stranded) unmyelinated nerve terminal that ends in a bulb or a Y-shaped bifurcation near the apex of the corpuscle. Some previous workers have regarded these nerve endings as a modified form of the Vater-Pacinian corpuscle, but for reasons discussed in detail elsewhere we do not agree with this homology. In fact, true Pacinian corpuscles are not found in the tissues of any joint anywhere, although they are numerous in peri-articular tissues (and in periosteum) in many parts of the body.

タイプ II 受容体は、その 1 つは図 1B に示されているが、細長く、円錐形の小体であり、小体は厚い多層結合組織膜（関節包）を備えている。また、それは、小体の頂点近くの球または Y 字型分岐で終わる単一の（ときには多連鎖の）無髄神経終末を囲んでいる。

以前の研究者の中には、これらの神経終末を Vater Pacinian 小体の改変型と見なしている人もいるが、他の場所で詳細に説明されている理由により、この同一性には同意しない。

実際、真のパチニ小体は、身体の多くの部分の関節の周囲組織（および骨の周囲の膜＝骨膜）に多数存在するが、どの関節の組織にも見られない。

The Type II corpuscles are present in the fibrous capsules of ail joints in numbers that vary with the particular joint; but in the limbs they are relatively more numerous in distal (for example, the ankle) joints than in more proximal joints such as the hip. They are also particularly numerous in the temporomandibular joints, and in the intercartilaginous joints of the larynx. They are located mainly in the deeper layers of the fibrous capsules of the

joints, particularly at the between the fibrous capsule and the sub-synovial fibro-adipose tissue where they often lie alongside or coil around the articular blood vessels. They are distributed in each joint capsule in clusters of 2-4 corpuscles per cluster, each such cluster being innervated by a branch of a parent myelinated afferent articular nerve fibre some 9μ to 12μ in diameter, as indicated in Table II. It should also be noted that similar clusters of Type II endings are present on the surfaces of all the fat pads related to synovial joints, whether these be intra-articular or extra-articular.

タイプ II 小体は、すべての関節の線維膜に、特定の関節には異なる数で存在する；しかし、四肢では、股関節などのより近位の関節よりも遠位（例えば、足関節など）の関節で比較的より多くなる。

それらはまた、顎関節、および喉頭の軟骨間関節に特に多数ある。

それらは主に関節の線維膜のより深層に位置し、特に線維膜と滑膜下線維脂肪組織との間に位置し、しばしば関節血管に沿うまたはコイル状になっている。

それらは、ひとつの集合体あたり 2~4 個の小体の集まりで各関節包に分布し、そのような集合体は、表 II に示すように、それぞれ直径約 9μ ~ 12μ の有髄求心性関節神経線維の枝によって神経支配されている。

タイプ II 終末の同様の集合体が、関節内であろうと関節外であろうと、滑膜関節に関連するすべての脂肪床の表面に存在することにも注目されるべきであろう。

These Type II corpuscles behave as low threshold, rapidly-adapting mechanoreceptors. For this reason they are entirely inactive in immobile joints, and become active for brief periods (of one second, or less) only at the onset of joint movement—that is to say, at the moment at which sudden changes of stress occur in the regions of the joint capsule or fat pad in which they lie. When they are so stimulated, each cluster of Type II receptors emits a brief, high-frequency burst of impulses into the related afferent axon that lasts less than one second—and very often less than half-a-second. Furthermore, as the diameter of the afferent nerve fibres innervating the clusters of Type II corpuscles is somewhat greater than that of the fibres innervating the Type I clusters, the centripetal conduction velocity of the Type II volley is faster by some 20-40 m/sec than that of the impulses emanating from the Type I corpuscle. In summary, then, the Type II corpuscles can be regarded solely as dynamic mechanoreceptors, whose brief, high-velocity discharges signal joint acceleration and deceleration— whether these situations are created by active or by passive joint movement.

これらのタイプ II 小体は、低閾値で急速に適応する機械受容体として機能する。

このため、それらは不動の関節では完全に非活動的であり、関節運動の開始時のみ——つまり、それらが存在する関節包または脂肪層の範囲において起こるストレスの突然の変化が発生した瞬間にのみ、短時間（1秒あるいはそれ以下）活動的になる。

それらがそのように刺激されると、タイプ II 受容体の各群は、1秒未満——非常に多くの場合 0.5 秒未満続く、関連する求心性軸索内に短い高頻度の爆発的的刺激を放出する。

さらに、タイプ II 小体群を神経支配する求心性神経線維の直径は、タイプ I 群を神経支配する線維の直径よりもいくらか大きいため、タイプ II 発射の求心伝導速度は、タイプ I 小体から発せられる刺激のそれよりも約 20~40m /秒速い。

ここで要約すると、タイプ II 小体は、動的な機械受容体としてのみ見なすことができ、その短時間の高速放電は——自動的または他動的な関節運動によって引き起こされるかどうかにかかわらず、関節の加速と減速を示す。

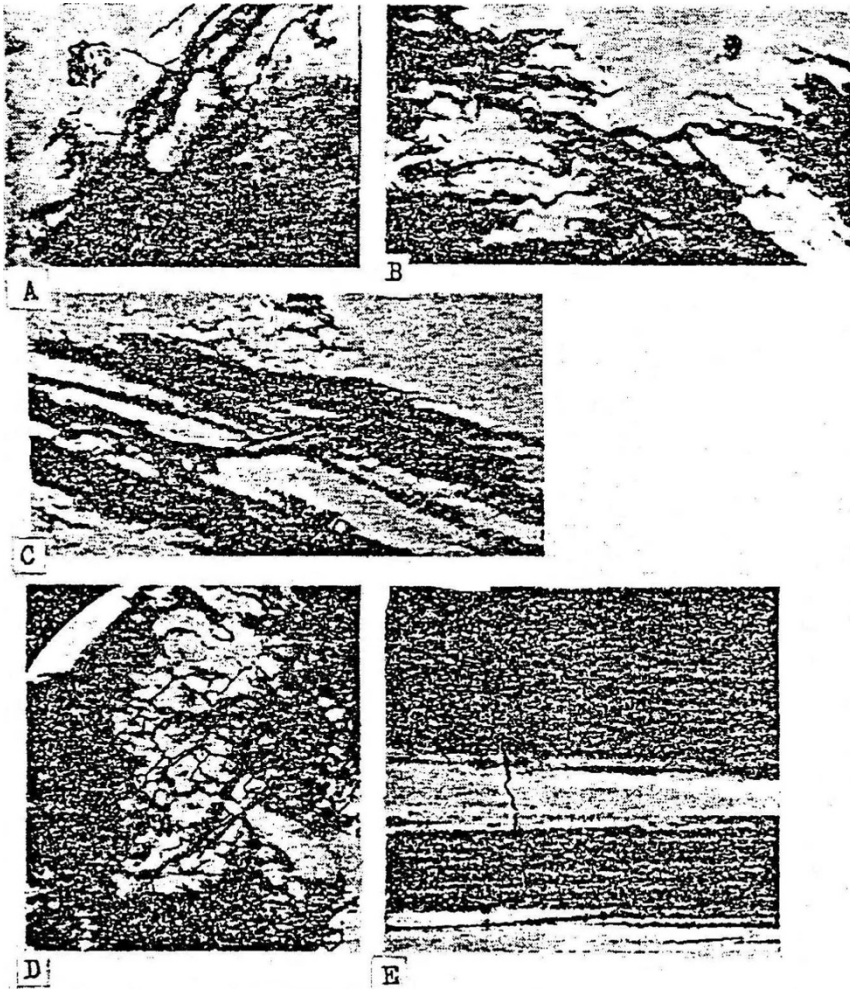


Fig. 1: The four varieties of articular receptor nerve ending (descriptions in text) found in mammalian synovial joints. 図 1 : 哺乳類の滑膜関節に見られる関節受容体神経終末の順番種類 (本文中の説明)。

- (A) Cluster of Type I corpuscles in the fibrous capsule of the ankle joint. Teased gold chloride preparation. x350.
 (B) A single Type II corpuscle in the posterior capsule of the knee joint. Frozen silver preparation. x 150.
 (C) A Type III corpuscle on the surface of the medial collateral ligament of the knee joint. Frozen silver preparation. x150.
 (D) Type IV plexus of unmyelinated nerve fibres (interwoven with articular blood vessels) in the fibrous capsule of the hip joint. Gold chloride preparation. x 150.
 (E) Type IV free nerve endings ramifying through the posterior cruciate ligament of the knee joint. Frozen silver preparation. x 150.

- (A) 足関節の線維性被膜における I 型小体の群。逆立てた塩化金の準備。X350。
 (B) 膝関節の後方関節包における単一のタイプ II 小体。冷凍銀の組織標本。x150。
 (C) 膝関節の内側側副靭帯の表面にあるタイプ III の小体。冷凍銀の組織標本。X150。
 (D) 股関節の線維膜における無髄神経叢 (関節血管と織り交ぜられている) の IV 型神経叢。塩化金の組織標本。x150。
 (E) 膝関節の後十字靭帯を介して分岐する IV 型自由神経終末。冷凍銀の組織標本。x150。

Type III Receptors タイプ III 受容体

Type I and Type II corpuscles are joint capsule receptors primarily, whereas the Type III corpuscles—an example of which is shown in Fig. 1C—are confined to the joint ligaments, both extrinsic and intrinsic. They are the largest of the articular corpuscles and are identical structurally with the tendon organs of Golgi, of which they appear to be the articular homologue. As can be seen in Fig. 1C, each Type I corpuscle is a fusiform endorgan applied longitudinally to the superficial surfaces of the joint ligaments, usually near their bony attachments, and consists of a filmy connective tissue capsule enclosing a mass of densely arborising nerve filaments derived from a large myelinated parent afferent axon that may be up to 17 μ in diameter, as indicated in Table II.

タイプ I およびタイプ II の小体は主に関節包受容体であるが、タイプ III の小体 (その例を図 1C に示す) は、外因性および内因性の両方の関節靭帯に限定されている。

それらは関節小体の中で最大であり、ゴルジの腱器官と構造的に同一であり、関節の相同器官であるようにも見える。

図 1C に見られるように、各タイプⅢ小体は、関節靭帯の外表面、通常は骨の付着部の近くに縦方向に適用される紡錘状の終末器官であり、密な樹枝状の神経フィラメントの塊を囲む膜状の結合組織包で構成されていて、表Ⅱに示すような直径が最大 17μ までの大きな有髄求心性軸索から派生する

A few of these corpuscles are found on all the extrinsic (that is, the collateral) ligaments of the limb and spinal apophyseal joints and on all intrinsic joint ligaments, such as the cruciate ligaments in the knee joint and the ligamentum capitis femoris in the hip joint. A few are also present in relation to the lateral ligament of the temporomandibular joint; but they are absent from the longitudinal and interspinous ligaments of the vertebral column.

これらの小体のいくつかは、四肢と脊椎椎間関節の全ての関節外靭帯（すなわち側副）と膝関節内の十字靭帯、股関節内の大腿骨頭靭帯のような全ての関節内靭帯にみられる。顎関節の外側靭帯にもまたいくつかみられるが；脊柱の縦靭帯と棘間靭帯には欠けている。

※靭帯と呼んでいるが、違いがある。

ligamentum (ラテン語、英語では ligament) capitis femoris in the hip joint (大腿骨頭靭帯)

the longitudinal and interspinous ligaments of the vertebral column.

縦靭帯はバンドともいい、構造が違い、骨を固定するというよりも、椎間板を前後で保持している。

椎間関節の関節包靭帯 これは関節包が肥厚したもので靭帯ではない

The data available thus far suggest that the Type III corpuscles behave as high-threshold, slowly-adapting mechanoreceptors in a manner similar to that of the majority of Golgi endorgans related to tendons. For this reason they are completely inactive in immobile joints, and only become active towards the extremes of active or passive joint movement—that is to say, when considerable stress is generated in joint ligaments. It will also be apparent that the generation of comparable ligamentous stresses by the application of longitudinal traction to the limbs will likewise (should the traction be of sufficient force) activate them. In all these circumstances the Type III corpuscles then emit a stream of impulses that travels centripetally at high velocity in the large diameter afferent fibres in the articular nerves into the related parts of the central nervous system; and this discharge adapts only very slowly if the extreme joint displacement or joint traction be maintained.

これまでに入手可能なデータは、タイプⅢ小体が、腱に関連する大多数のゴルジ終末器官とある意味で同様に、高閾値でゆっくりと適応する機械受容器として働くことを示唆している。

このため、それらは不動の関節では完全に非活動的になり、活動的または受動的な関節の動きの極端な場合のみ活動的になる——つまり、関節の靭帯にかなりの応力が発生する場合である。

四肢に縦方向の牽引力を加えることによる、同等の靭帯応力の発生が同様に（牽引力が十分な力である場合）、それらを活性化することも明らかだろう。

これらすべての状況において、タイプⅢの小体は、関節神経の大径求心性線維を高速で求心的に中枢神経系の関連部分に移動するインパルスの流れを放出する；そして、この放電は、極端な関節変位または関節牽引が維持されている場合にのみ、非常にゆっくりと適応する。

Type IV Receptors タイプⅣ受容器

The Type IV category of articular receptor nerve-endings embraces the non-corpuseular nerve-endings in the joint tissues, and is represented either by lattice-like plexuses of small unmyelinated nerve fibres (as in Figure 1D) or free nerve-endings (as in Figure 1E). These terminations are derived from the smallest of the afferent fibres in the articular nerves, as indicated in Table II, some of which (those between 2 and 5μ in diameter) are thinly myelinated, whilst the remainder (those less than 2μ in diameter) are unmyelinated. The plexus or network system of terminals is prominent in the limb, spinal apophyseal and temporomandibular joints. in each of which it is distributed throughout the fibrous capsule and the adjacent periosteum, the articular fat pads (both external and internal) and the adventitial sheaths of the articular blood vessels. In the capsular tissue of these joints free nerve-endings are relatively sparse, being confined largely to the extrinsic and intrinsic joint ligaments, as depicted in Figure 1E. In brief, it seems that the plexus system is the main variety of the Type IV receptor ending in fibrous capsules and joint fat pads, whereas the free nerve-ending variety is more characteristic of joint ligaments.

関節受容器神経終末のタイプⅣの範疇は関節組織において非体細胞神経終末を含み、小さい無髄神経線維の格子状の神経叢か（図 1D の様に）、あるいは自由神経終末（図 1E のように）のどちらかによって表される。

これらの終末は表Ⅱが示す様に、関節神経において最も小さい求心性線維に由来していて、そのうちのいくつかは（直径が $2-5\mu$ の間）薄い有髄線維であり、残りは（直径 2μ 以下）無髄線維である。

神経叢あるいは終末のネットワークシステムは四肢、椎間関節、顎関節で顕著で、それぞれにおいて、線維膜や隣接する骨膜や関節の脂肪床（外部内部両方）、そして関節血管の外膜鞘を通して分布されている。

これらの関節自由神経終末の小体組織は比較的まばらで、図 1E に示す様に主として内外の関節靭帯に限定されている。

端的に言えば、神経叢のシステムは線維膜と関節の脂肪床で終結するタイプⅣ受容器の主な種類であるのに対して、自由神経終末の種類は靭帯でより特徴的に見られるようである。

Either variety of this Type IV category constitutes the pain receptor system of the articular tissues; and as such, the plexuses and free nerve-endings are entirely inactive in normal circumstances—but they become active when the articular tissues containing this type of ending are subjected to marked mechanical deformation or tension, or to direct mechanical or chemical irritation—such as may be provided by the exposure of the nerve endings to agents such as histamine, bradykinin, or 5-hydroxytryptamine (which substances are constituents of inflammatory exudates, and are produced by damaged or necrosing tissues). In this connection, it should be emphasised that the Type IV category of receptors is entirely absent from the synovial lining of every joint that has been examined, and is also lacking from the menisci present in the knee and temporomandibular joints, and from the intervertebral discs. There is no mechanism, then, whereby articular pain can arise directly from the synovial tissue or menisci in any joint, and surgical removal of synovia! tissue or joint menisci likewise does not involve removal of pain-sensitive articular tissues per se.

このタイプ IV 範疇のいずれかの種類は、関節組織の疼痛受容体システムを構成する；そのため、神経叢と自由神経終末は、通常の状態では完全に非活動状態である—しかしこのタイプの終末を含む関節組織が、著しい機械的変形や張力にさらされたり、機械的または化学的刺激を直接受けたりすると、活動状態になる—ヒスタミン、ブラジキニン、または 5-ヒドロキシトリプタミン（これらの物質は炎症性滲出液の成分であり、損傷または壊死組織によって生成される）などの薬剤への、神経終末の曝露によって提供される可能性がある。

これに関連して、タイプ IV 受容器の範疇は、検査されたすべての関節の滑膜内層には完全に存在せず、膝にある半月板および顎関節、および椎間板にも欠如していることを強調されなければならない。

したがって、関節の疼痛が、任意の関節の滑膜組織または半月板から直接発生する可能性があるというメカニズムはなく、滑膜組織または関節半月板の外科的除去も同様に、疼痛に敏感な関節組織自体の除去にはならない。

Functions of Articular Receptor Systems 関節受容器システムの機能

The nerve-endings and their afferent fibres that have been described thus far are responsible for two main functional consequences—the provision of articular sensation and the generation of reflex influences on the activity of the related striated musculature.

これまでに説明されてきた神経終末とその求心性線維は、関節感覚の提供と関連する横紋筋組織の活動に対する反射誘導の生成という、2つの主要な機能的結果に関与している。

Articular Sensation 関節感覚

The joint tissues, by virtue of their nerve supply, are provided with two types of sensory innervation, mechanoreceptor sensation and pain sensation, the former providing the basis for kinaesthetic and postural perceptual experience.

関節組織は、それら神経供給のおかげで、機械受容体感覚と疼痛感覚の2種類の感覚神経支配を備え、前者は運動覚と姿勢の知覚経験の基礎を提供している。

Postural and kinaesthetic perception—that is to say, conscious awareness of static joint position and of the direction, amplitude, and velocity of joint movements—is provided primarily by the input from the Type I mechanoreceptor nerve endings that have been described above, supplemented by visual observation of joint position and movement and by the concomitant sensory input from cutaneous mechanoreceptors located in the skin over the joints. For many years it was erroneously believed that these types of sensation were contributed by afferent discharges reaching the brain from receptors in the striated musculature—including the muscle spindles; but it is now clear (from a considerable body of evidence that cannot be reviewed here) that this is not the case, and that both postural and kinaesthetic sensation is based to a very considerable extent on perceptual awareness of the afferent discharges delivered to the paracentral and parietal regions of the cerebral cortex from the Type I receptors that are distributed throughout the fibrous capsules of all synovial joints, by way of collateral branches of the articular afferent fibres in the dorsal nerve-roots that ascend in the posterior columns of the spinal cord to the gracile and cuneate nuclei, and their relays therefrom to the thalamus by way of the medial lemniscus. For this reason, injuries to or diseases affecting the fibrous capsules of joints that lead to degeneration of the corpuscular nerve-endings located therein produce profound impairment of postural and kinaesthetic sensation in relation to the affected joint—as can be shown by careful clinical examination of patients with a variety of joint injuries and diseases.

位置と運動の知覚—つまり静的な関節の位置及び関節の動きの方向、振幅と速度についての意識的な認識は—主に、上記のタイプ I 機械的受容器の神経終末からの入力によるが、関節の位置と運動に関する視覚的観察および関節を覆う皮膚にある機械的受容器からの感覚入力の補助によって提供される。

長年、これらのタイプの感覚（位置覚と運動覚）は、—筋紡錘を含む横紋筋の受容体から脳に到達する求心性放電によってもたらされると誤って信じられていた；しかし、これは事実ではなく、位置覚と運動覚の両方が、すべての滑膜関節の線維膜全体に分布するタイプ I 受容器から、脊髄の後柱で上昇する後根の関節求心性線維の側枝を経由して、薄束核と楔状束核へ、そして、それらは内側毛帯を経由して視床へと中継され、大脳皮質の中心傍領域と頭頂葉に到達する求心性放電による知覚的認識にかなりの程度基づいていることが（ここで確認できないかなりの量の証拠から）今や明らかである。

このため、関節包の外傷または影響をおよぼす疾病は、これらの中に分布する小体の神経終末変性を導き、損傷された関節に関連のある姿勢と運動感覚の深刻な機能障害を引き起こす、——このことは種々の関節の損傷と疾患を有する患者の慎重な医学的検査でわかることである。

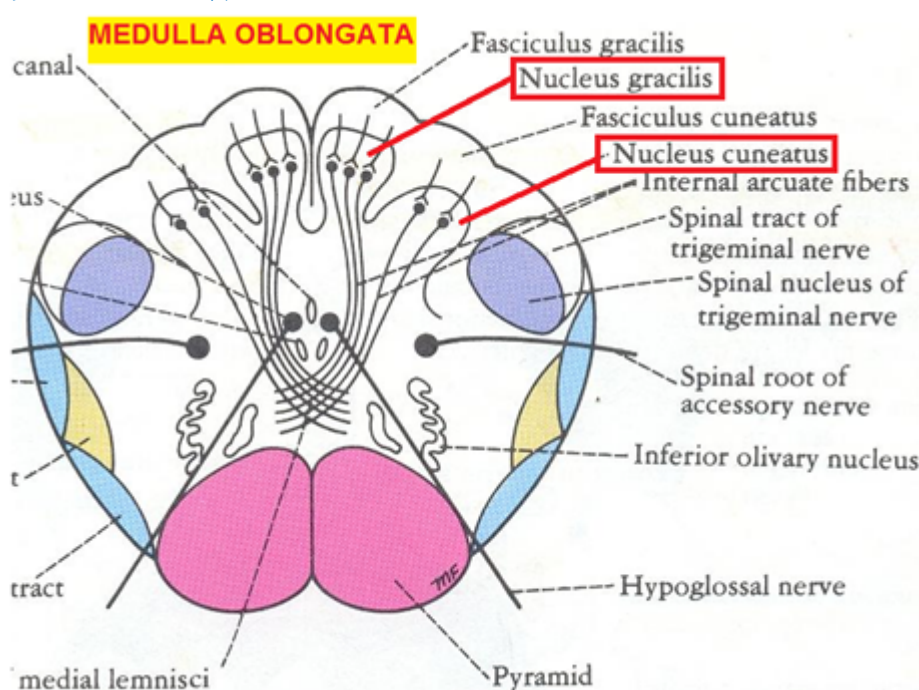
Articular pain sensation, on the other hand, is generated when the plexiform or free nerve-ending system located in the joint tissues is irritated mechanically or chemically—as by marked mechanical deformation or direct mechanical irritation of the fibrous capsule and ligaments of a joint (as with joint dislocation, for instance), or by the intra-articular accumulation of an inflammatory exudate—the afferent impulses being delivered to the cerebral cortex by way of the spinothalamic and spinoreticular tracts.

一方、関節疼痛感覚は、関節線維にある神経叢または自由神経終末が、機械的、化学的に刺激された時に生じる——関節の線維膜と靭帯の顕著な機械的変位、または直接的な機械刺激による（例えば関節の脱臼を伴うような）、または、炎症滲出液の関節内の蓄積によって一求心性インパルスが脊髄視床路と脊髄網様体路によって大脳皮質に伝達される。（滲出液：exudate=effusion）

解説：Gracile nucleus

Located in the medulla oblongata, the gracile nucleus is one of the dorsal column nuclei that participate in the sensation of fine touch and proprioception of the lower body. It contains second-order neurons of the dorsal column-medial lemniscus system, which receive inputs from sensory neurons of the dorsal root ganglia and send axons that synap...

延髄に位置する薄束核は、下半身の微細な触覚と固有受容感覚に関与する後柱核の1つです。後根神経節の感覚ニューロンから入力を受け取り、シナプスを形成する軸索を送る後柱-内側レムニスカスシステムの二次ニューロンが含まれている...



Arthrokinetic Reflexes 関節運動性反射

Afferent discharges from the receptors in joint tissues also exert potent reflex influences on the activity of the limb, paravertebral, and respiratory musculature at spinal and brain-stem levels that are of profound significance for physiotherapists, in so far as these reflex effects play a major part in evoking and controlling the changes in the activity of these muscle groups that are associated with active and passive movements of joints in various parts of the body, and with the application of limb and spinal traction. The remainder of this article deals with mechanoreceptor articular reflexes, as these are less familiar to clinicians than are the reflex effects of mechanical or chemical stimulation of the pain receptor system in joint tissues.

関節組織の受容体からの求心性放電はまた、これらの反射の影響が主要な役割を果たす限り、理学療法士にとって意義深く重要である脊髄および脳幹レベルでの四肢、傍脊椎、および呼吸筋系の活動に有力な反射の影響を及ぼし、これまでのところ、身体の様々な部分の関節の能動的および受動的な動き、および四肢と脊柱の牽引の適用に関連する筋群の活動の変化を誘発および制御することに関与する。

当論文の残りの部分では、機械受容体の関節反射について説明するが、これらは、関節組織の疼痛受容器システムの機械的または化学的刺激の反射の影響よりも、臨床医には馴染みが少ないためである。

Mechanoreceptor reflex effects on muscle tone are exerted by afferent discharges from both Type I and Type II receptors, the former being of greater clinical importance in influencing posture and gait than the latter. The differing influence of the two types of reflex input on the same group of muscles may be demonstrated by multichannel electromyography of the muscles operating over a joint (such as the ankle) that contains significant populations of both receptor types (see Fig.2), during movement of the joint. Thus, as Fig. 2A shows, passive plantarflexion of the foot evokes a brief, high-amplitude discharge of motor units in the related tenotomised tibialis anterior muscle (due to the initial transient discharge of the Type II mechano-receptors located in the stressed anterior capsule of the ankle joint) that rapidly melts into a more prolonged discharge of motor units that persists (with a gradual diminution in amplitude and frequency) as long as the foot is held in the plantarflexed position—this latter activity being evoked from the slowly-adapting Type I mechanoreceptors that are also present in the anterior joint capsule. Fig. 2B illustrates the comparable diphasic pattern of reflex effects exerted on the gastrocnemius muscle by passive dorsiflexion of the foot.

筋緊張に対する機械受容体の反射の影響は、タイプ I とタイプ II の両方の受容体からの求心性放電によって発揮され、前者は、後者よりも姿勢と歩行に影響を与える上で臨床的に重要である。

筋群の同じグループに対する 2 種類の反射入力の異なる影響は、関節の運動中、両方の受容体タイプの有意な集団を含む関節（足関節のような）上で作用する筋のマルチチャンネル筋電図によって示される可能性がある（図 2 参照）。

したがって、図 2A は、足の受動的な底屈が、関連する腱切除された前脛骨筋の運動単位の短時間の高振幅放電を引き起こすことを示している（ストレスを受けた足関節の前方関節包にあるタイプ II 機械受容体の最初の一時的な放電による）、足関節は急速に溶けて持続する運動単位のより長時間の放電になり、足が底屈位に保持されている限り持続する（振幅と周波数が徐々に減少する）、—この後者の活動は、前方関節包にも存在するゆっくりと適応するタイプ I 機械受容体から引き起こされる。図 2 B は、足の他動的背屈によって腓腹筋に及ぼされる反射の影響（効果）と同等の二相性パターンを示している。

On the other hand, as the hip-joint capsule contains few Type II receptors but many Type I receptors, passive movements of this joint evoke only slight phasic effects on the activity of the related musculature, the dominant reflex effects being mainly of the slowly-adapting variety (see Fig. 3). The recordings in Fig. 3 also illustrate the fact that arthrokinetic reflexes are mutually co-ordinated (in terms of reciprocal facilitation and inhibition) between the different functional muscle-groups operating over a joint, and that their influence is bilateral in that afferent discharges from mechano-receptors in one joint influence the tone of the muscles operating over the homologous joint of the opposite limb as well as that of the ipsilateral musculature.

他方、股関節の関節包にはタイプ II 受容体はほとんど含まれていないが、タイプ I 受容体は多く含まれているため、この関節の他動的な動きは、関連する筋組織の活動にわずかな位相影響しか引き起こさず、主要な反射の影響は、主にゆっくりと適応する変化である（図 3 を参照）。

図 3 の記録はまた、関節運動反射が関節上で動作する異なる機能的筋群間で、相互に調整され（相反促通抑制の観点から）およびそれらの影響が 1 つの関節において、同側筋組織の関節だけでなく、対側肢の同名関節に作用する筋の緊張にも影響を与える機械受容体からの求心性放電において、両側性であるという事実を示している。

Other experiments (see bibliography) have shown that afferent discharges from the Type III mechanoreceptors related to the collateral and intrinsic ligaments of joints are probably not evoked in circumstances of active and passive joint movement within physiological ranges because of the high threshold of these receptors; but at the extremes of joint displacement, or in the presence of powerful distracting or traction forces applied across joints, they may be activated to produce profound reflex inhibition of activity in some of the muscles operating over the joint (accompanied by moderate facilitation of activity in other muscles operating over the same joint).

他の実験（参考文献を参照）は、関節の側副靭帯および関節包内靭帯に関連するタイプ III 機械受容体からの求心性放電は、これらの受容体の閾値が高いため、生理学的範囲内の能動的および他動的関節運動の状況では、おそらく誘発されないことを示している。しかし、関節変位が極端な場合、または関節全体に強力な引き離し力または牽引力が加えられている場合、それらは活性化されて、関節に作用する一部の筋の活動を強力に反射的に抑制する（同名関節に作用する他の筋群活動の適度な促進を伴う）

Additional experimental and clinical observations (see bibliography) have shown that loss of the normal arthrokinetic reflexes provided from the mechano-receptors in a joint as a result of trauma or disease results in profound abnormalities of limb and spinal posture and movement. It is now clear, therefore, that such articular mechanoreceptors (hitherto largely neglected by physiologists and clinicians) are of considerable importance in the circumstances of everyday life—not only in respect of their potent contribution to perceptual awareness of joint position and movement, but also in respect of their powerful reciprocal reflex regulation of muscle tone in posture and movement. Serious attention must therefore be given by clinicians—and not least, by physiotherapists—to the role of articular reflexes in the regulation of normal and abnormal posture and movement, in addition to their perceptual functions; and articular reflexes must now assume major significance in all clinical considerations of locomotor physiology and pathology, including the effects of surgical operations on and the effects of immobilization of joints.

追加の実験的および臨床的観察（参考文献を参照）は、正常な関節運動反射の喪失は、四肢および脊柱の姿勢と運動の深刻な異常を引き起こす外傷または疾患の結果、その関節の機械受容器からもたらされることを示していた。

したがって、そのような関節の機械的受容器（これまで生理学者や臨床医によってほとんど無視されてきたのだが）は—関節の位置と運動の知覚的認識に大きく寄与するだけでなく、姿勢と運動における筋緊張の強力な相互反射調節という点で、日常生活の状況において非常に重要であることが今や明らかである。

したがって、臨床家—特に理学療法士—は知覚機能に加えて、正常そして異常な姿勢と運動の調節における関節反射の役割に細心の注意を払う必要がある。そして関節反射は今や、関節に対する外科手術の影響および関節の無動の影響を含み、移動の運動生理学および病理学のすべての臨床的考察において、主となる重要性を帯びなければならない。

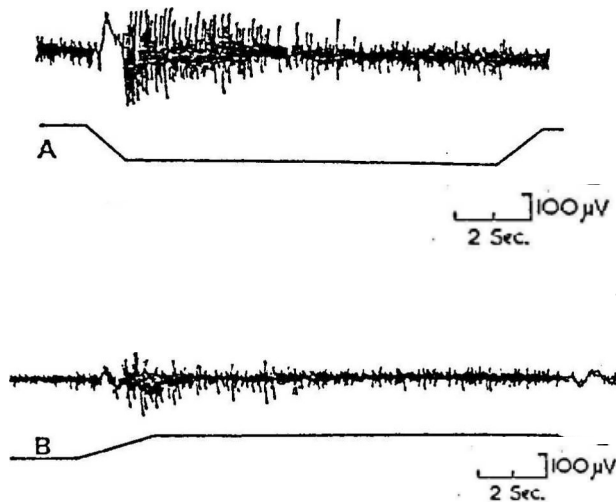


Fig. 2: Arthrokinetic reflex responses in the leg muscles of a lightly anaesthetised cat (from Wyke, B. D. (1967). 'Annals of the Royal College of Surgeons of England', 41: 25-50). The recordings are electromyograms showing the changes in motor unit activity in the tibialis anterior [A] and gastrocnemius [B] muscles evoked respectively by passive plantarflexion and dorsiflexion of the foot (indicated by signal lines), after removal of a cuff of skin from around the ankle region and division of all the tendons operating over the joint (see Fig. 2),

※図2：軽度麻酔をかけた猫の脚の筋における関節運動反射反応（Wyke, B. D. (1967) から）

「英国王立外科医大学の年報」、41：25-50）

記録は、足部領域周囲から端の皮膚を除去し、関節上で作用するすべての腱を分離した後、（信号線で示される）足の受動的な底屈と背屈によって、それぞれ誘発された前脛骨筋[A]と腓腹筋[B]の運動単位活動の変化を示す筋電図である。

※Melt は次第に～の状態になる（次第に消散する）

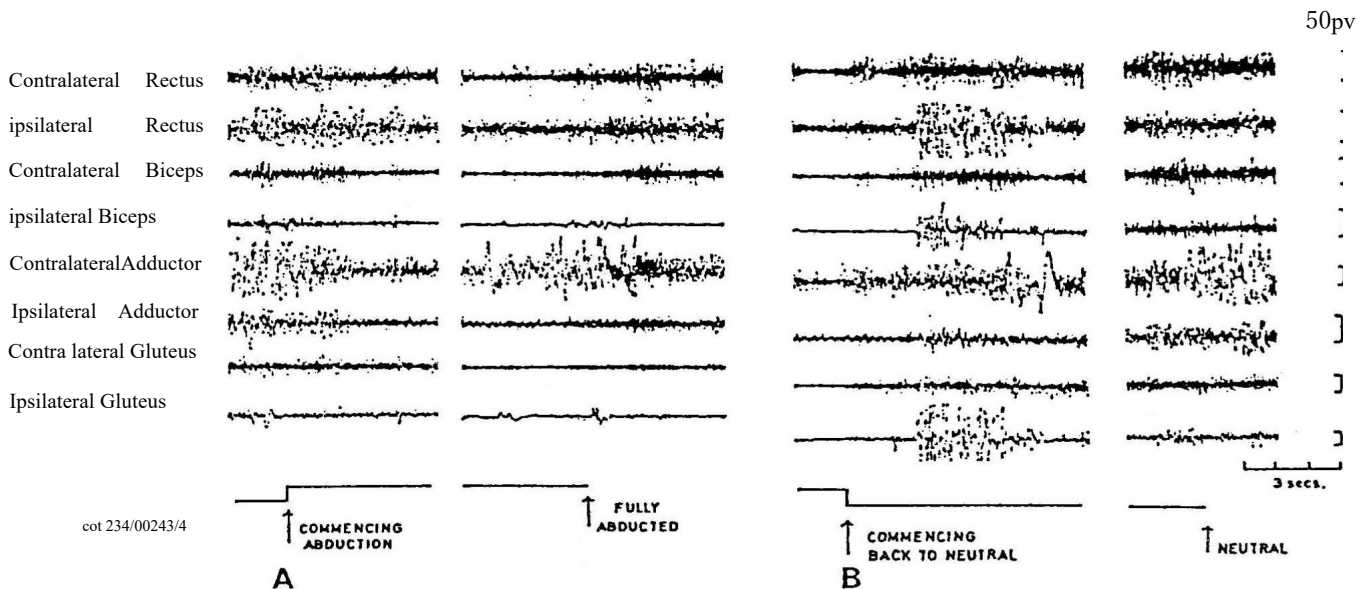


Fig. 3: Bilaterally co-ordinated arthrokinetic reflexes in the hip musculature of a lightly anaesthetised cat during passive abduction [A] and adduction [B] of one isolated hip joint (from Dee, R. (1969), 'Annals of the Royal College of Surgeons of England 45: 357-374), displayed by simultaneous electromyography of the muscles indicated

※図3：一つの孤立した他動的な股関節の [A] 外転 [B] 内転運動の間の軽度麻酔をかけた猫の股関節の筋組織の両側の協調的な関節運動反射 (Dee, R. (1969) 英国外科王室大学の年報 45:357-374) 筋の同時筋電図を示した図である。

S ELECTED CLASSI FIED B I B LI OGRAPH Y

The following sources (with their contained references) will provide adequate access to the available anatomical, physiological, and clinical literature of the subject of articular neurology.

以下の情報源（そこに含まれる参考文献と共に）は利用可能な解剖学的生理学的および臨床的文献への適切な道筋を提供するであろう。

General Principles and Reviews

- Gardner, E. D. (1950). Physiology of movable joints •, *Physiological Reviews*, 30, 127.
- Barnett, C. H., Davies, D. V., and MacConaill, M. A. (1962). *Synovial Joints: Their Structure and Mechanics*, London, Longmans.
- Wyke, B. D. (1967). 'The neurology of joints', *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 41, 25.
- Wyke, B. D. (1969). *Principles of General Neurology*, Elsevier, Amsterdam and London.

Ankle Joint

- Freeman, M. A. R., Dean, M. R. E., and Hanham, T. W. F. (1965). • The aetiology and prevention of functional instability of the foot *Journal of Bone and Joint Surgery*, 47B, 678.
- Freeman, M. A. R. (1965). 'Co-ordination exercises in the treatment of functional instability of the foot' % *Physiotherapy*, 51, 393.
- Freeman, M. A. R., and Wyke, B. D. (1967). 'The innervation of the ankle joint', *Acta anatomica*, Basel, 68, 321.
- Freeman, M. A. R., and Wyke, B. D. (1967). Articular reflexes at the ankle joint: an electromyographic study of normal and abnormal influences of ankle-joint mechanoreceptors upon reflex activity in the leg muscles % *British Journal of Surgery*, 54, 990.

Knee Joint

- Skoglunds S. (1956). Anatomical and physiological studies of knee-joint innervation in the cat *Acta physiologica Scandinavica*, 36 (Suppl. 124), I.
- Freeman, M. A. R., and Wyke, B. D. (1966). • Articular contributions to limb muscle reflexes: the effects of partial neurectomy of the knee-joint on postural reflexes % *British Journal of Surgery*, 53, 61.

Freeman, M. A. R., and Wyke, B. D. (1967). The innervation of the knee-joint *Journal of Anatomy*, London, 101, 505.

Hip Joint

- Wyke, B. D. (1969). • Neurology of the hip joint', *Journal of Bone and Joint Surgery*, 51B, 576.
- Tait, G. B. W., Dee, R., and Wyke, B. D. (1969). • The reflex function of the ligamentum capitis femoris *Annals of the Rheumatic Diseases*, 28, 554.
- Dee, R. (1969). 'Structure and function of hip-joint innervation' *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 45, 357.

Spinal Joints

- Pedersen, H. S., Biunck, C. F. J., and Gardner, E. (1956). • The anatomy of lumbosacral rami and meningeal branches of spinal nerves (sinuvertebral nerves): with an experimental study of their functions *Journal of Bone and Joint Surgery*, 38A, 377.
- Stilwell, D. L. (1956). The nerve supply of the vertebral column and its associated structures in the monkey % *Anatomical Record*, 125, 139.

- Lewin, T., Moffett, B., and Vüdik, A. (1962). 'The morphology of the lumbar synovial intervertebral Joints % *Acta morphologica neerlandico-scandinavica*, 4, 299.
- Wyke, B. D. (1970). • The neurological basis of thoracic spinal pain % *Rheumatology and Physical Medicine*, 10, 356.
- Temporomandibular Joints
- Thilander, B. (1961). • Innervation of the temporomandibular joint capsule % *Transactions of the Royal Schools of Dentistry, Umeå*, 2, 1.
- Greenfield, B. E., and wyke, B. D. (1966). • Reflex innervation of the temporomandibular joints ', *Nature*, 211, 940.
- Kiineberg, I. J., Greenfield, B. E., and Wyke, B. D. (1970). • Contributions to the reflex control of mastication from mechanoreceptors in the temporomandibular joint capsule *Dental Practitioner*, 21, 73.
- Klineberg, I. J. (1971). ' Structure and function of temporo• mandibular joint innervation % *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 49, 268.
- Klineberg, I. J., Greenfield, B. E., and Wyke, B. D. (1971). ' Afferent discharges from temporomandibular articular mechanoreceptors *Archives of Oral Biology*, 15, 1463.