

---

## 生理的適応

---

神経筋の構造と機能の基本的要素について詳細に論じる前に、「生理的適応」という言葉が正確に意味することを検討してみよう。トレーニング未経験者がベンチプレスエクササイズを始めた場合、初めのうち最大筋力（1 RM）の変化は劇的に進行する（たとえば、最初の数週間で50%向上する）。しかし、長期にわたりトレーニングを段階的に進めていくと（たとえば24カ月）、数週間のトレーニングによって向上する筋力は当初と比較して小さくなる（たとえば3%）。これは、適応の可能性がほとんど限界に近づくため、適切なトレーニングを行っても筋力の向上率が低下し始めるからである。言い換えれば、それまでに行ったトレーニングの結果として、「適応の枠」が小さくなる（Newton and Kraemer 1994）。筋力の向上に関与する生理的メカニズム（たとえば神経系や筋線維の適応）が十分に発達すると、遺伝的な可能性を劇的に変化させる生理的可能性（たとえば16~20歳という年齢）がない限り、その後は筋力の向上は可能であるにしても速度が低下する。したがって、トレーニングプログラムによって得られるフィットネスの向上や身体の適応は、一定の割合で発生するわけではない。

---

## 運動単位

レジスタンストレーニング・プログラムに対する適応の第一段階として、エクササイズセッションにおける力の発揮やウエイトの挙上に必要な筋を活性化する。筋の活性化には、神経支配が必要となる。**運動単位**（motor unit）とは、1つのニューロンとその $\alpha$ 神経によって刺激される筋線維で構成され、神経支配を受ける筋活動の機能単位である。それぞれの筋線維は、最低1つの $\alpha$ 運動ニューロンから支配される。運動単位に含まれる筋線維の数が少ないほど、運動単位による活動によって発揮される筋力が小さくなる。運動単位に含まれる筋線維の数は、その運動単位の機能にどれだ

け微細なコントロールが求められるかによって左右される。たとえば、眼のレンズを伸ばす筋では、1つの運動単位に含まれる筋線維の数は10本のみであるが、腓腹筋では1つの運動単位に1000もの筋線維がみられるであろう。身体すべての筋を平均すると、1つの運動単位に含まれる筋線維の数は約100本である。筋機能は神経系によって制御されているが、中枢神経の中でもより高次の領野である大脳皮質からインパルスが送られると筋活動が始まる。運動単位の動員について理解することは、レジスタンストレーニングの特異性を考えるうえで非常に重要である。

中枢神経系は、1000億もの神経細胞によって構成されている。ニューロンは、単に筋収縮を刺激するだけでなく、多くの生理的機能（★疼痛知覚、脳機能、発汗など）に関与しているため、形状や大きさが多様である。図3.1は、 $\alpha$ 運動ニューロンによって構成される運動単位とそれに付随する筋線維の略図を示している。すべての神経細胞は樹状突起、細胞体、軸索の3つの主要部分から構成される。基本的には、樹状突起が情報を受け取り、細胞体はその情報を処理し、軸索がほかの神経や標的とする細胞に情報を伝達する。運動神経の樹状突起は比較的短い、軸索はインパルスを中枢神経から神経筋接合部へと伝えるため長い。

軸索は、ミエリン鞘と呼ばれる脂質（脂肪）を多く含む白い物質に覆われている。ミエリン鞘は多層の脂質からなり、軸索自体より厚い場合もある。ミエリン鞘に覆われている神経線維は有髄神経線維、覆われていない神経は無髄神経線維と呼ばれている。ミエリン鞘はシュワン細胞によって生成・維持される。一般的に、無髄神経線維の数は有髄神経線維の約2倍である。無髄神経線維は有髄神経線維より小さく、通常は有髄神経線維と有髄神経線維の間にみられる。ミエリン鞘は、神経インパルスが軸索を伝播するとき、隣接する神経にインパルスが転移しないよう絶縁する役割を果たす。ミエリン鞘は軸索の全長を覆っているのではなく、長さ約2~3 $\mu$ mの間隔によって分割されており、そこから軸索の膜が露出している。この隙間は1~3mmごとに軸索全長にわたり存在しているが、こ

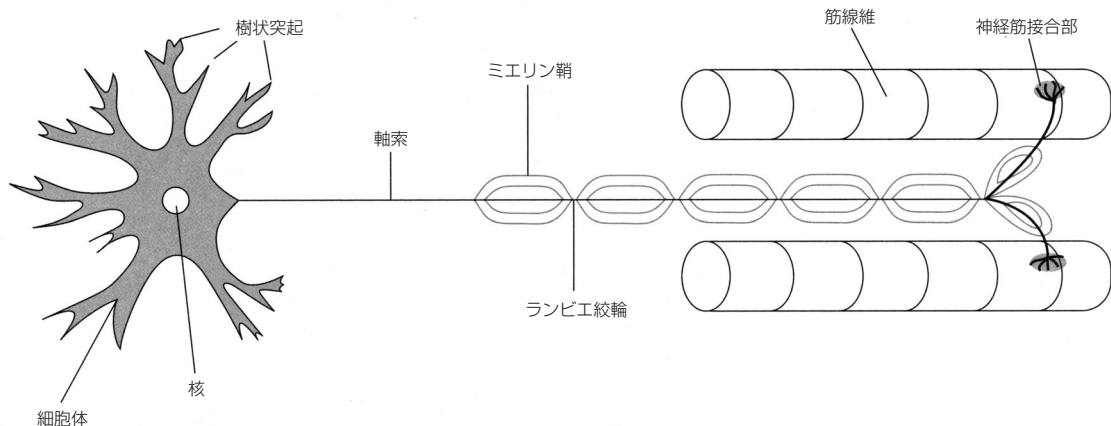


図3.1 1つの運動ニューロンとそれが支配する筋線維はまとめて運動単位と呼ばれる

これはランビエ絞輪と呼ばれている。

イオンと帯電分子の働きによって、軸索や樹状突起の細胞膜でインパルスが伝達される。インパルスが軸索を伝わると、シナプス（2つの神経線維の接合部）や神経筋接合部（ニューロンと筋線維のシナプス）に神経伝達物質と呼ばれる化学物質が放出される。神経伝達物質は、樹状突起や筋線維上の受容体に結合し、新たな電気的インパルスを引き起こす。新しいインパルスは次に、樹状突起に伝達され、筋線維に伝達される場合には筋収縮を引き起こす。また、 $\alpha$ 運動単位では、随意運動のための電気的刺激が運動皮質で生じ、神経系のニューロンからニューロンを経て神経筋接合部まで伝達される。

(4) ACh（アセチルコリン）受容体を含むシナプス後膜、(5) 代謝および構造を支持する★結合型筋形質と細胞骨格。

インパルスが神経筋接合部の軸索の末端に達すると、アセチルコリンが放出される。アセチルコリンは運動神経の主な神経伝達物質で、軸索末端のシナプス小胞に貯蔵されている。神経末端部位の小胞は、 $\mu\text{m}^2$ あたり約50~70のアセチルコリンを含有している。活動電位が軸索の末端に達すると、シナプス小頭の膜上に存在するカルシウムチャンネルが開き、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{++}$ ) が取り込まれる。 $\text{Ca}^{++}$ 濃度が上昇すると、小胞からアセチルコリンが放出される。放出されたアセチルコリンは、接合部の前後の細胞膜の間に位置するシナプス間隙（幅約50nm）を経てシナプス後膜へと拡散する。

神経筋接合部のシナプス後膜の側では、アセチルコリンがシナプス後膜上のアセチルコリン受容体に結合

## 神経筋接合部

神経筋接合部（neuromuscular junction）は、 $\alpha$ 運動ニューロンと筋線維をつなぐ接合部分の役割を果たす形態的構造である。図3.2は、神経筋接合部の模式図を示している。どの神経筋接合部にも、5つの共通機能がある。(1) 軸索を覆うシュワン細胞、(2) シナプス小頭部におけるアセチルコリン（ACh）や、代謝機能に必要とされるほかの物質（たとえば、ATP、ミトコンドリア、リソソーム、グリコーゲン分子など）の神経伝達物質を含む軸索終末、(3) シナプス間隙、

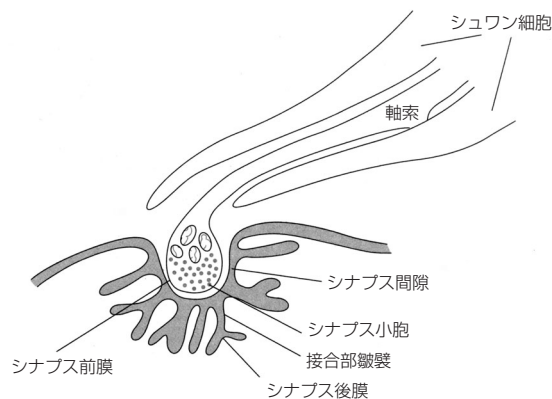


図3.2 神経筋接合部の断面図