

# 神経系の役割

“動き”をつくり出すシステム

# 身体運動を実現すること

- 骨と骨の連結 = 関節
- 関節をまたいで連結する骨格筋と腱と靭帯（骨に付着する）
- 拮抗筋と協働筋（屈曲-伸展と関節固定）
- セグメント（節）としての頭部-体幹-上肢-下肢などをまとめて動かす  
「マリオネット（糸操り人形）」とはちがう方法・・
- 全身運動としての「基本的運動形態」  
歩・走・跳・投・這う・匍匐・泳などが「ひと纏まり」の運動司令で実現される？
- 実際の運動実現は「フィールド」で行われ、状況に対応する

# 3 × 3 マルチレイアシステム

## 動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II d/x
エネルギー をつくり出す システム	ATP-PCr系	△	○	◎
	解糖系	◎	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

大腿二頭筋（伸筋）  
F/T線維比 33 : 67

## 股関節周りの拮抗筋

大腿直筋（屈筋）  
F/T線維比 62 : 38

エネルギー  
をつくり出す  
システム

## 動きをつくり出すシステム

		Type I	Type II a	Type II d/x
エネルギー をつくり出す システム	ATP-PCr系	△	○	◎
	解糖系	◎	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

# 中枢神経系の構造

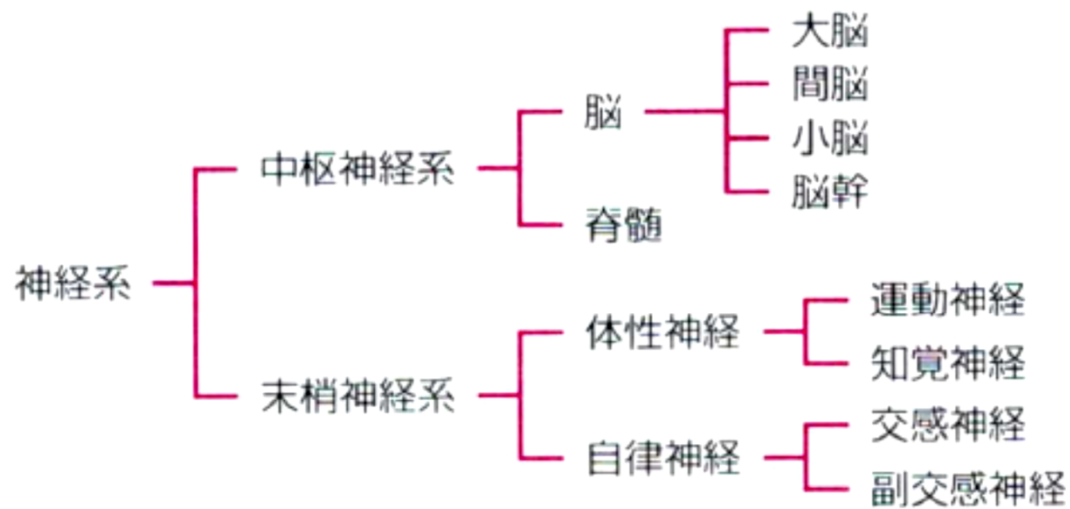
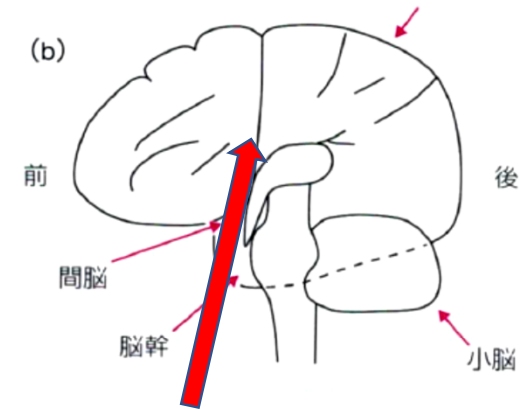


図 3.2 神経系の分類



中心溝（感覚野と運動野）

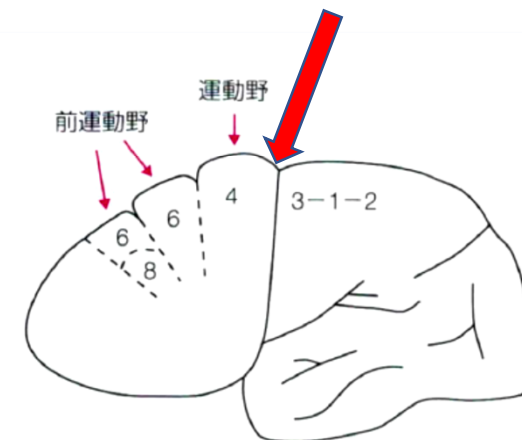
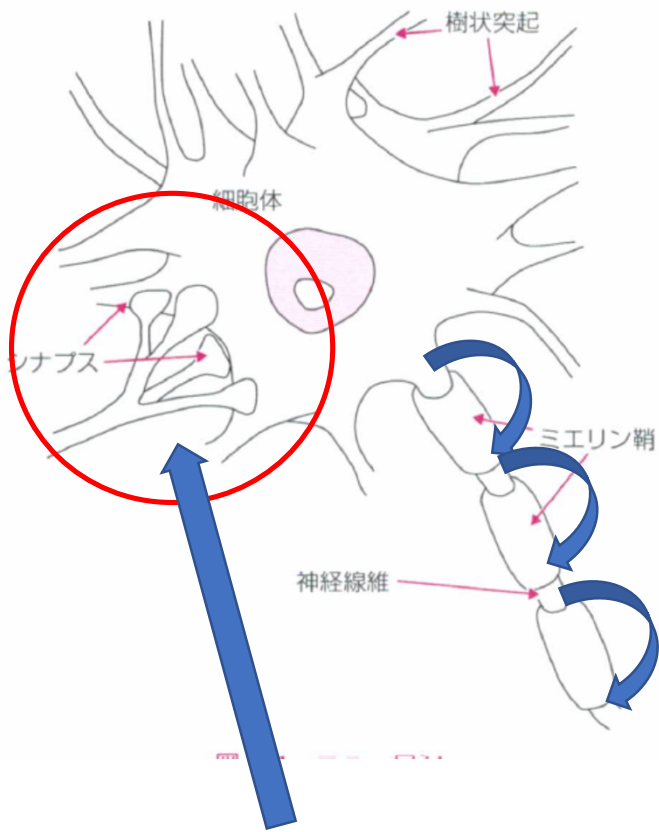


図 3.4 大脳皮質における運動野と前運動野

脳のネットワーク

タモリ×山中伸弥 W司会  
脳すごいぞ!ひらめきと記憶の正体

聞くのは怖いですけど



インパルスの“跳躍伝導”（速い）  
：効率的伝導が可能になる

ミエリン化（髄鞘化）が発達の基本

ではスパインの増加が頭打ちに  
なったら・・・

シナプス（繋がり数：スパインの増加）



HUMANIENCE  
ネットワークをつくること





# 基本構造はニューロン（神経細胞）

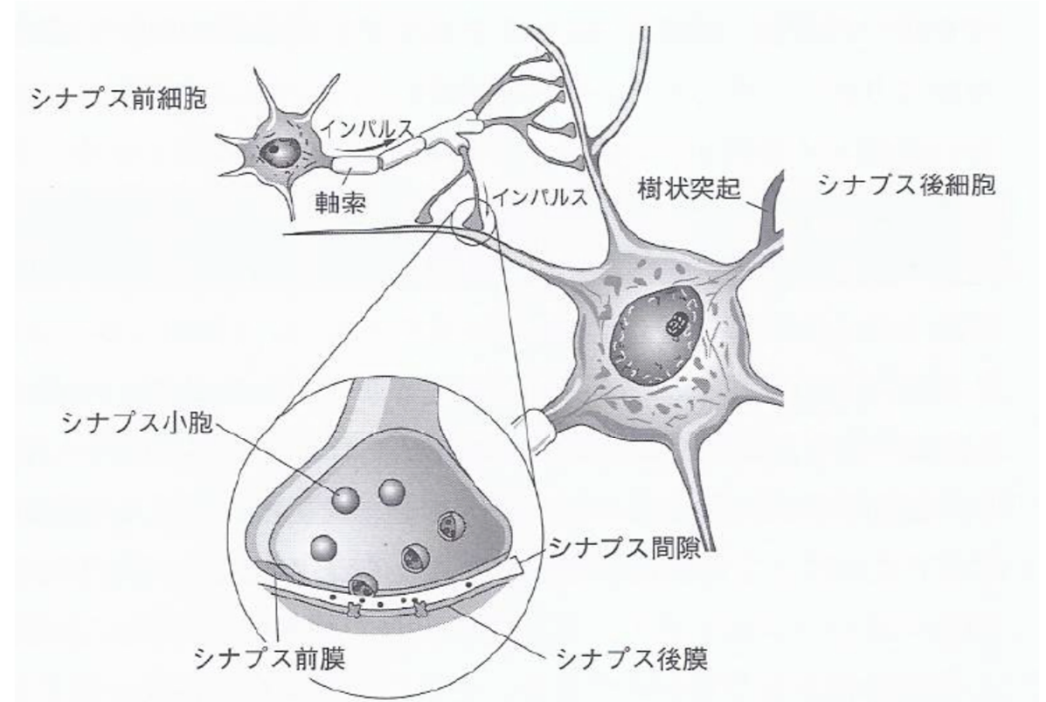
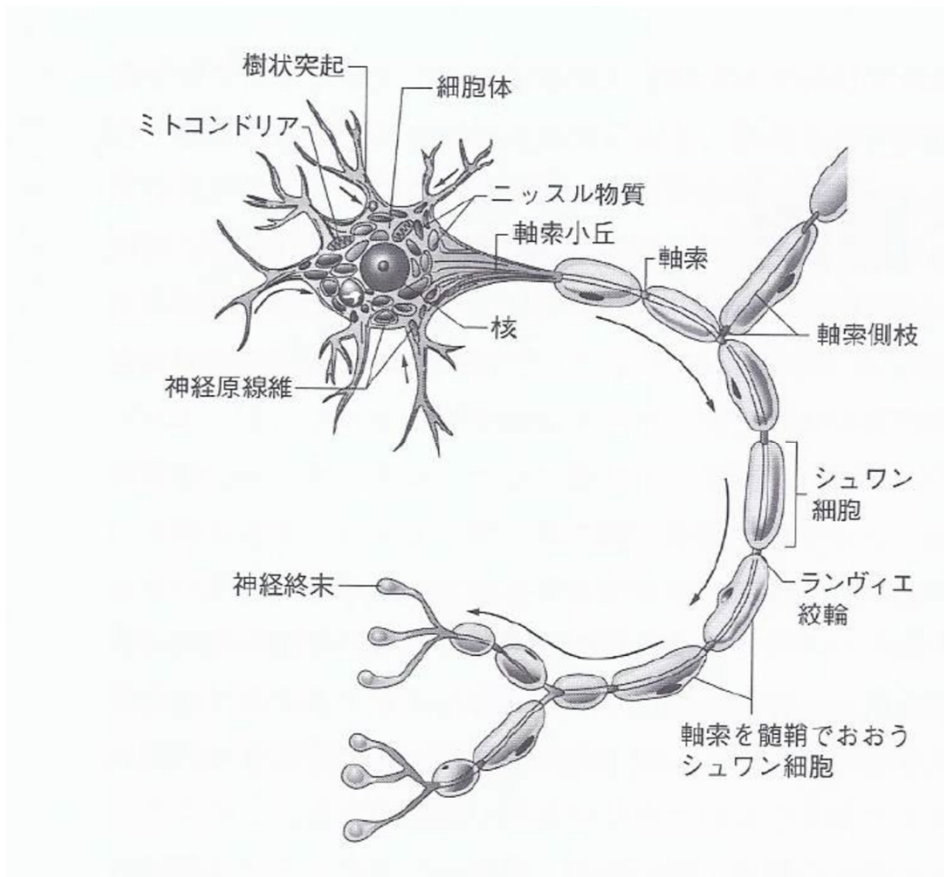


図 3-3 シナプスの構造

(Powers, S.K. et al., Exercise Physiology, 2001<sup>27</sup>) より一部改変)

# シナプス結合

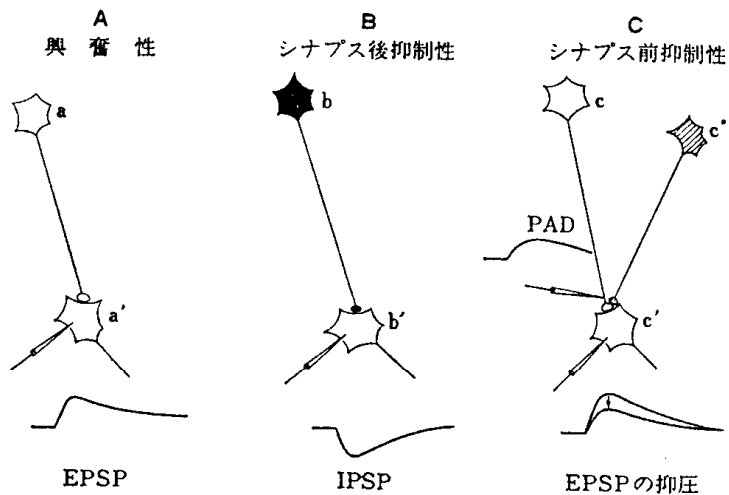


図4 シナプスおよびニューロンの3型。EPSP: 興奮性シナプス後電位。IPSP: 抑制性シナプス後電位。PAD: 一次求心線維脱分極。いずれも、それぞれのシナプスに到着したインパルスによってシナプス後部の細胞に発生する膜電位の変化である。Aでは、aのインパルスがa'を興奮させる。Bでは、bのインパルスはb'を抑制する。Cではcのインパルスがc'を興奮させるのを、c''からのインパルスが抑制する。PADはc''のインパルスによってcの軸索末端に生ずるもので、これが出ている間は、cのインパルスによってc'に生ずるEPSPが小さく抑圧される。

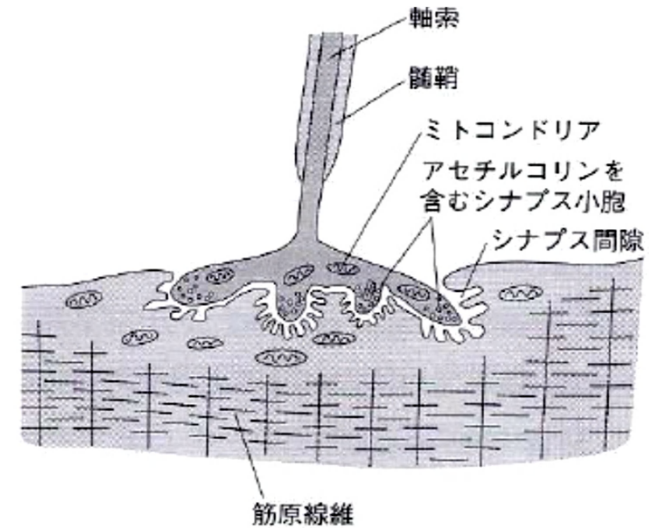


図3-4 神経筋シナプス  
運動神経と筋線維との間のシナプスの関係

運動神経から筋線維へのシナプス接合  
電気信号

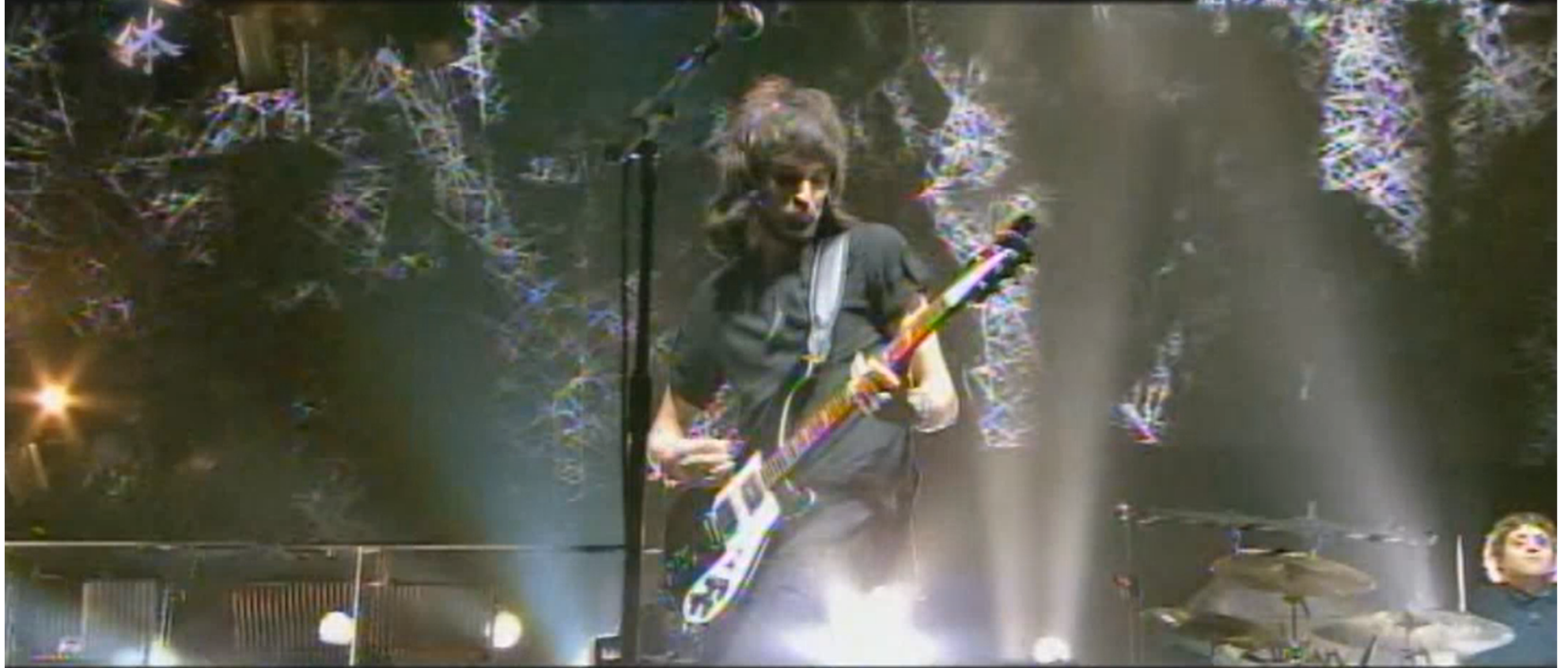
⇒ 化学伝達

⇒ カルシウムイオン活動

⇒ 筋線維の収縮

# 脳と記憶

記憶力がグーンとアップ!  
脳の驚きのメカニズム



# “悉無律” (all or nothing law)

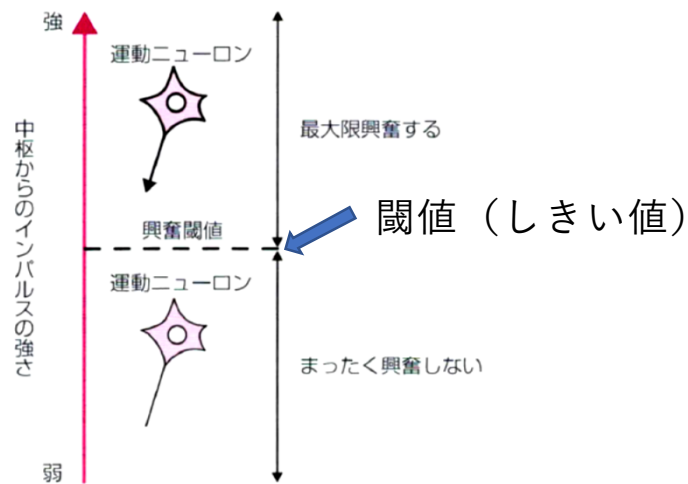


図 3.9 全か無かの法則

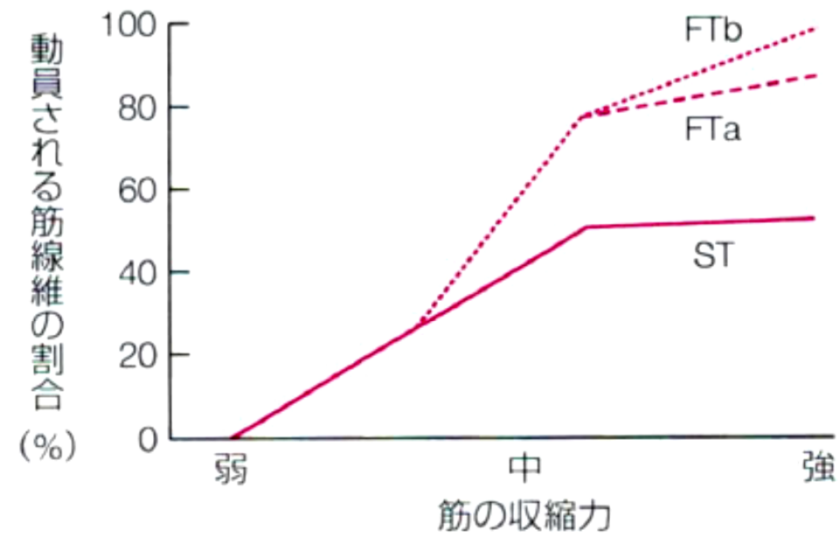


図 3.10 筋線維の動員パターン (Wilmore と Costill, 1999)

発揮する張力が弱いときは、ST 線維のみが収縮に動員されている。収縮力が強くなるにつれ、FTa 線維および FTb 線維も動員されるようになる。

# 大脳皮質運動野の2つの錐体路細胞

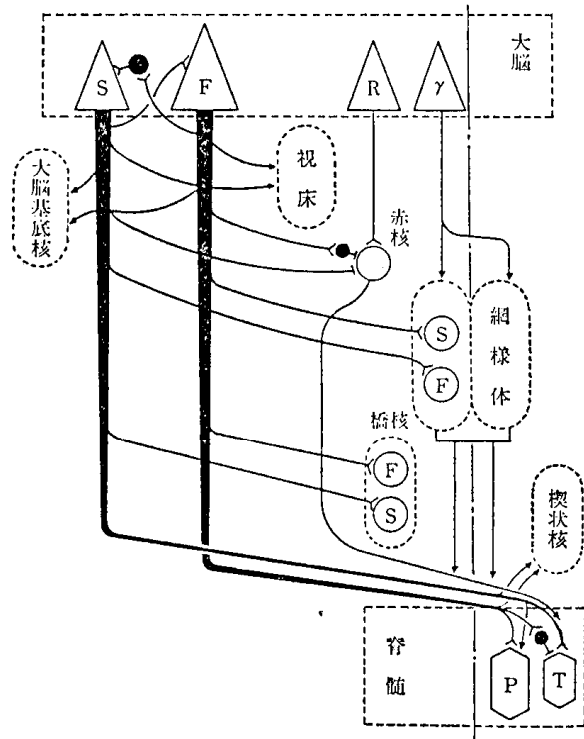


図31 錐体路細胞の配線図。Fは速い、Sは遅いの略。P：相動性運動細胞。R：皮質赤核路細胞。γ：皮質網様体路細胞。T：緊張性運動細胞。黒丸の細胞は抑制性介在ニューロン。

- *Fast* 錐体路細胞  
→ 相動性運動単位
- *Slow* 錐体路細胞  
→ 緊張性運動単位

ということは・・・

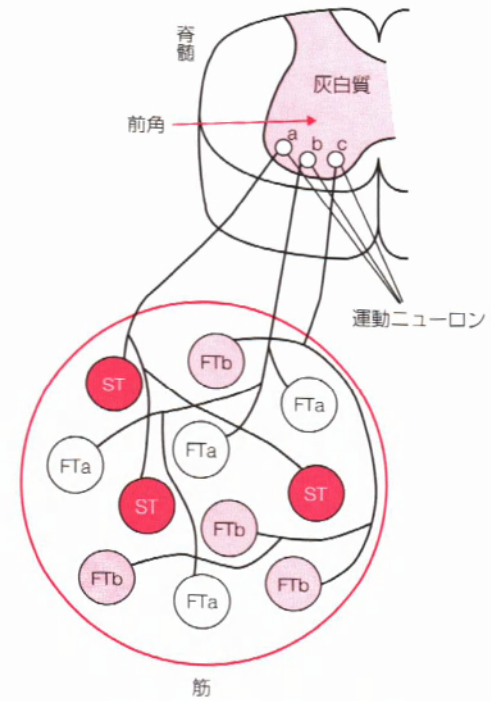
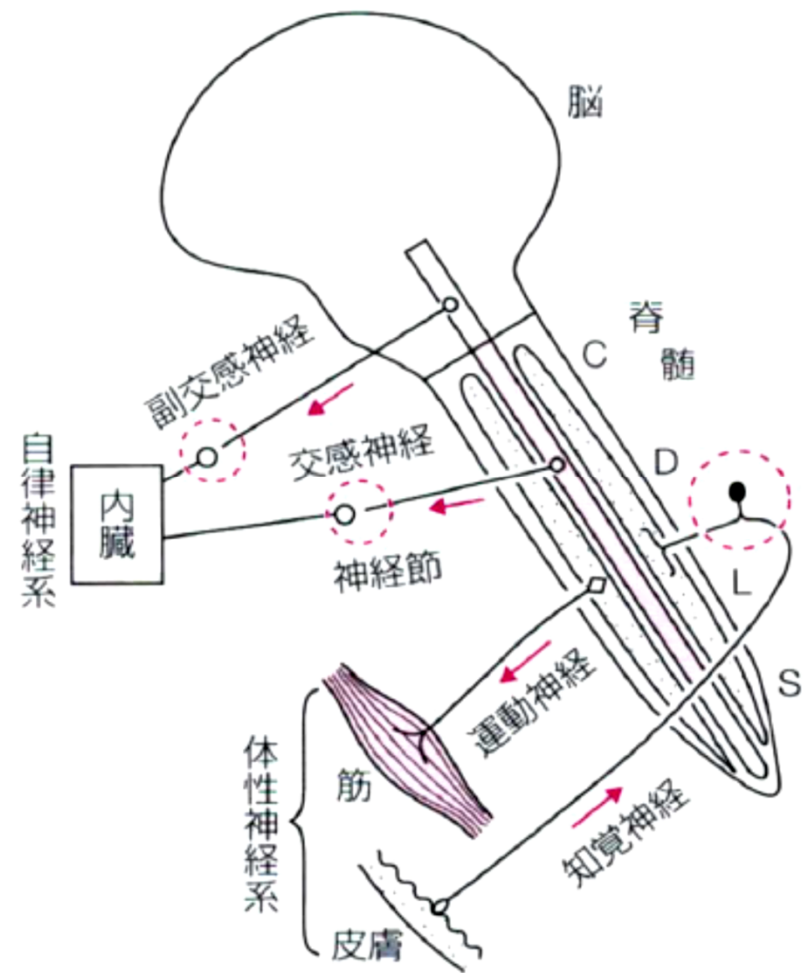
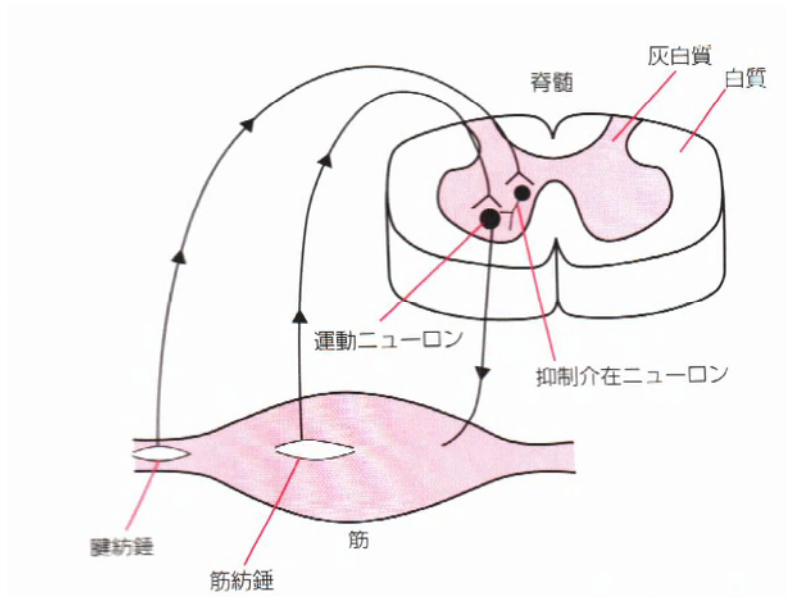


図 3.8 運動単位の模式図

1つの運動単位の属する筋線維のタイプはすべて同一である。図の例では、運動ニューロンaはST線維を、bはFTa線維を、cはFTb線維を支配している。

# 筋線維と脊髄神経

(感覚は後角から、運動は前角から)



# 上位中枢からの二つの運動指令

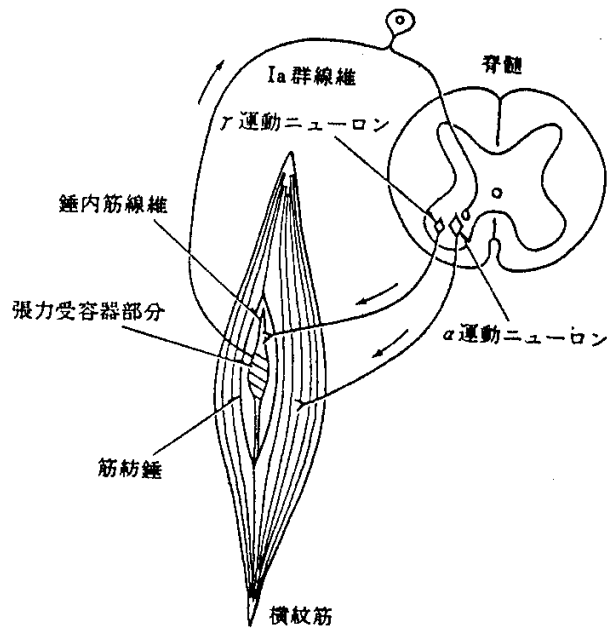
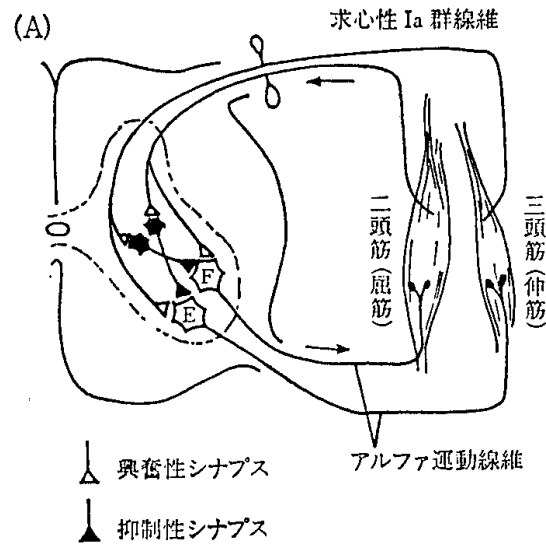


図12 伸張反射の回路

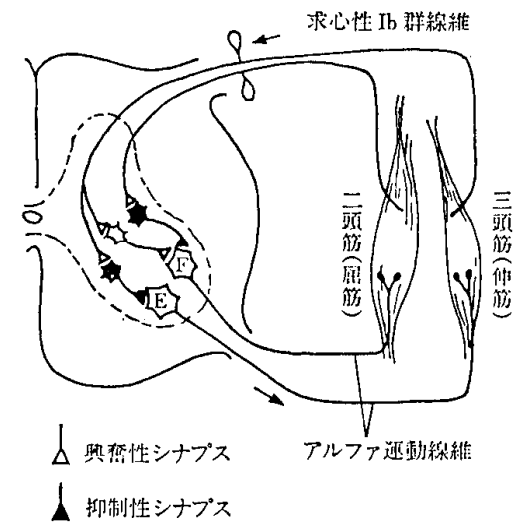
- 筋線維を動かす  $\alpha$  運動神経
- 筋紡錘を動かす  $\gamma$  運動神経（感度調節）
- 筋紡錘からの Ia 群求心性線維
- 伸張反射というメカニズム  
急激に伸張されると筋長を維持しようとする
- 剣道のつばぜり合いでの「胴、一本！」  
⇒ 「ふん、次はやられないぜ・・・」  
⇒ 今度は「面、一本！」

# 相反性神経支配の2つの例



筋紡錘からの求心性 I a 線維からのインパルス信号

⇒ 屈筋の伸張反射と伸筋群の抑制



腱紡錘からの求心性 I b 線維からのインパルス信号

⇒ 強すぎる張力には抵抗しない  
(筋断裂の予防：折り畳み反射)



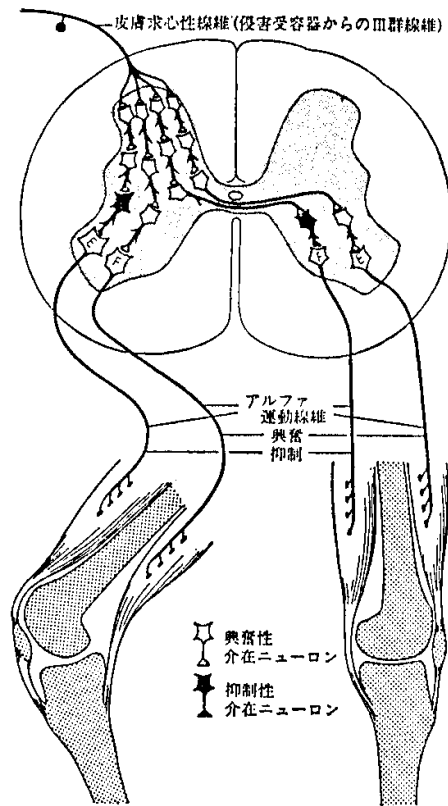


図11 屈曲反射の経路。侵害刺激が入ってくると、屈筋運動の細胞(F)を興奮させ、脚の屈曲を起す。と同時に、伸筋運動細胞(E)には抑制が働き、屈曲運動をよりすみやかに起すようにする(シュミット等, 1978)。

## もっと複雑な組み合わせも

- いてて画鋏踏んだ・・・  
踏んだ側のすばやい屈曲  
+ 支持側のすばやい伸展
- 歩行パターンの発生の相反性神経支配？
- いや、赤ちゃんの「原始歩行」は違うような・・・

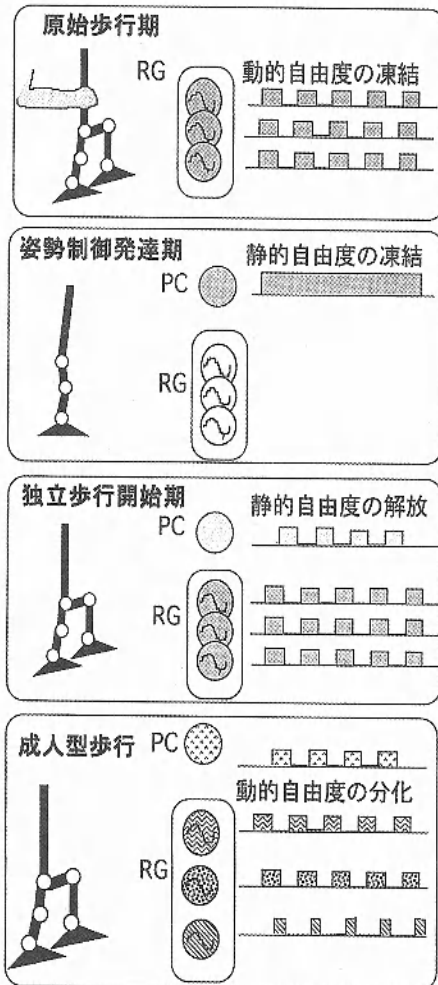


図3-3 歩行発達モデル (Taga, 1997 より)  
 RG: リズム生成系、PC: 姿勢制御系

- 発達のU字型現象 (多賀、2002)
  - ①原始歩行の発生
  - ②原始歩行の凍結と姿勢維持機能の発達
  - ③歩行パターン再登場
    - ※ スキーの習得も似たメカニズム?
  
- 伸張反射の発生と「弾性的姿勢保持」
- 「運動効率」と歩行・・・
  
- 「走・跳」の発生は別メカニズム?  
 ⇒ ある程度の高さからの跳び下り?

# 歩行パターンはどこにある

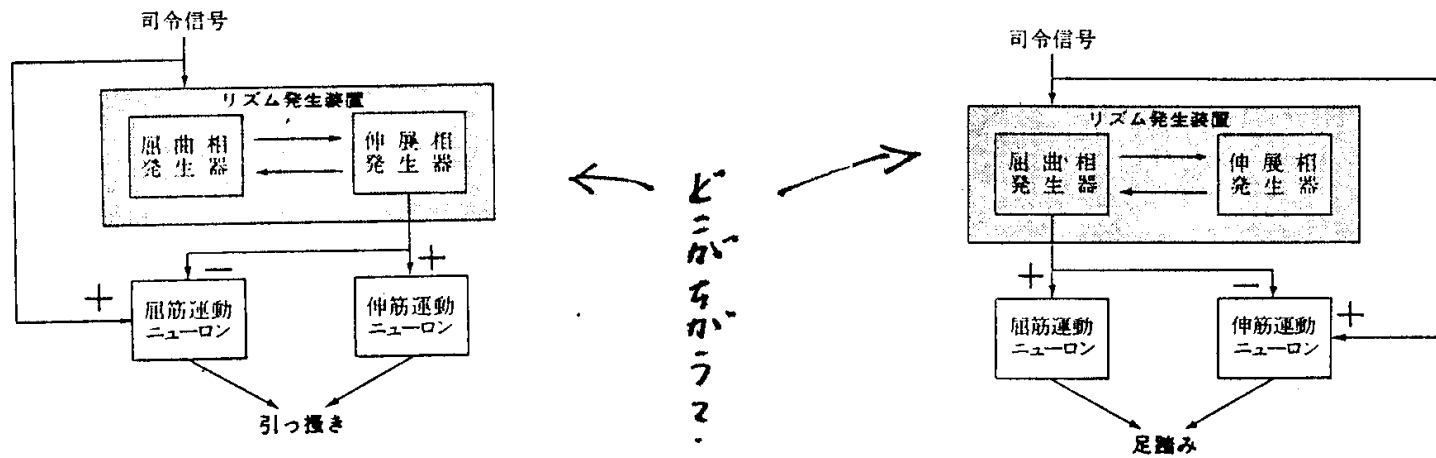


図16 引っ掻きと足踏みにおける脊髄中枢の働き方の違いを示す。(M. B. Berkinblit, 1978 による)

「はじめたら」「とまらない」?

屈筋から開始 ⇒ カキカキ!  
伸筋から開始 ⇒ ジダンダ!

どちらも1回だけではない点

# 首なしねこが歩く (Shick & Orlovsky)

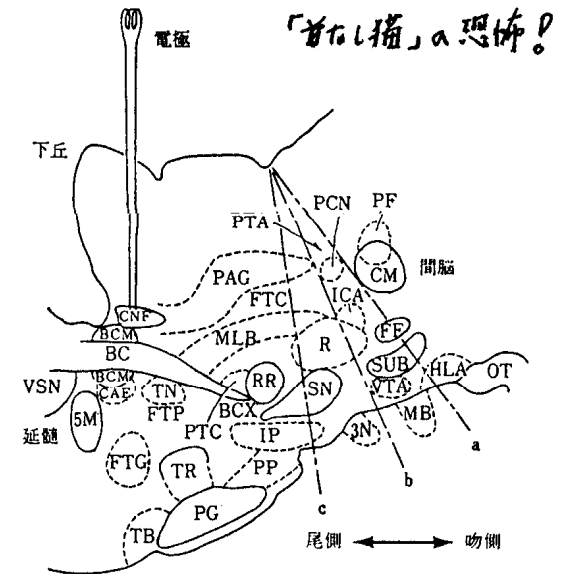
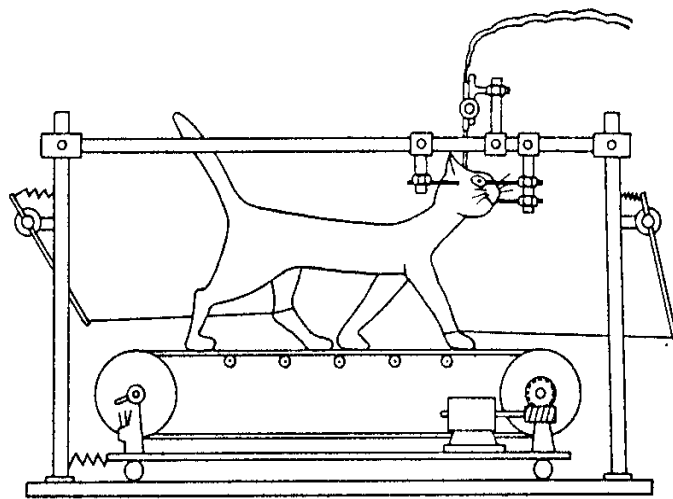


図17 1966年にシックが、脳を間脳で切断したネコの中脳に電気刺激を与えて歩かせるのに用いた装置(上)と、脳幹を正中線の4ミリ横で縦に切った断面図(下)。CNFは体移動中枢があるといわれる楔状核、BCは結合腕、CMは視床の一部、SNは黒質。a、bで切断した場合は歩くが、cでは歩かない。(S. Grillner, M. L. Shik, 1973による)

- ベルトの速度が速くなると「ギャロップ」へ変化
- 歩行 ⇒ ギャロップと ギャロップ ⇒ 歩行  
速度が違う (ヒステリシス)

# 姿勢反射とスポーツ姿勢

緊張性頸反射  
緊張性腰反射

スポーツ場面での  
「発現」と「抑制」

「反射」は融通性が  
ない・・・

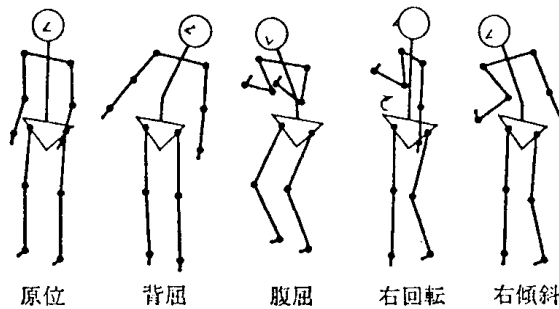
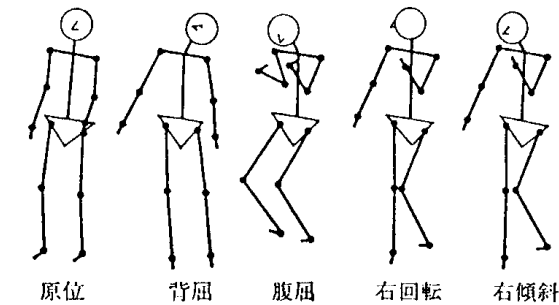


図 6-6 首や腰の動きによって起こる姿勢反射  
(時実, 1953)

上段頸反射, 下段腰反射. 首や腰の動きに伴って, 身体の姿勢のバランスをとるために, 手と足の筋緊張が変化して, 手足の屈伸が起きる反射が生まれつき組み込まれている.

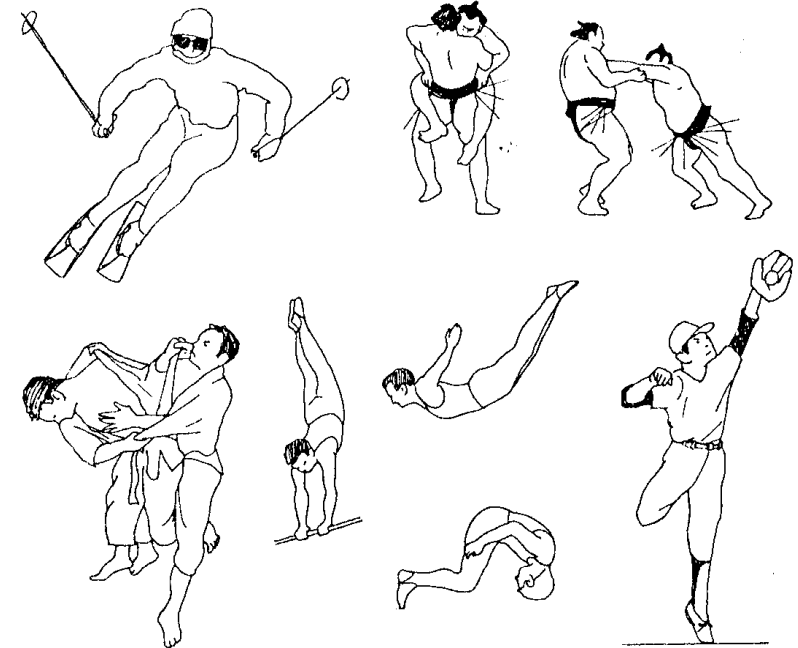


図 6-7 スポーツの動作にみられる姿勢反射の例 (福田, 1957)  
スポーツの動作の中には姿勢反射にかなった動きが多く見られる.  
こうした動きは無理がなく美しく見える.

↳ 姿勢反射とスポーツ場面の関連

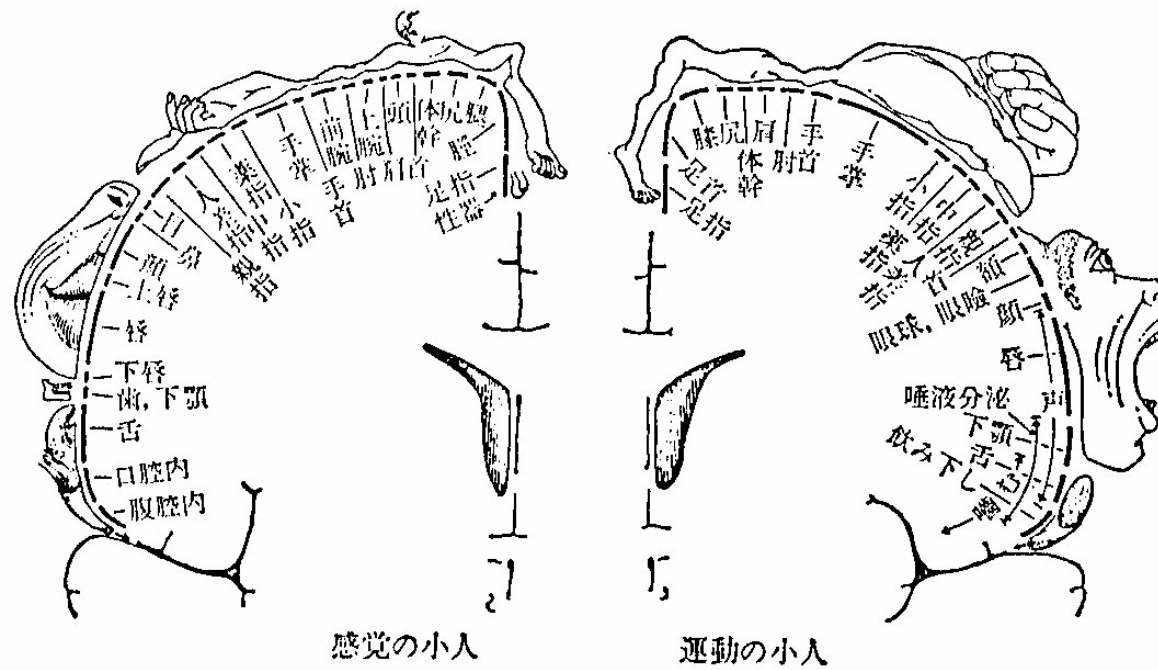


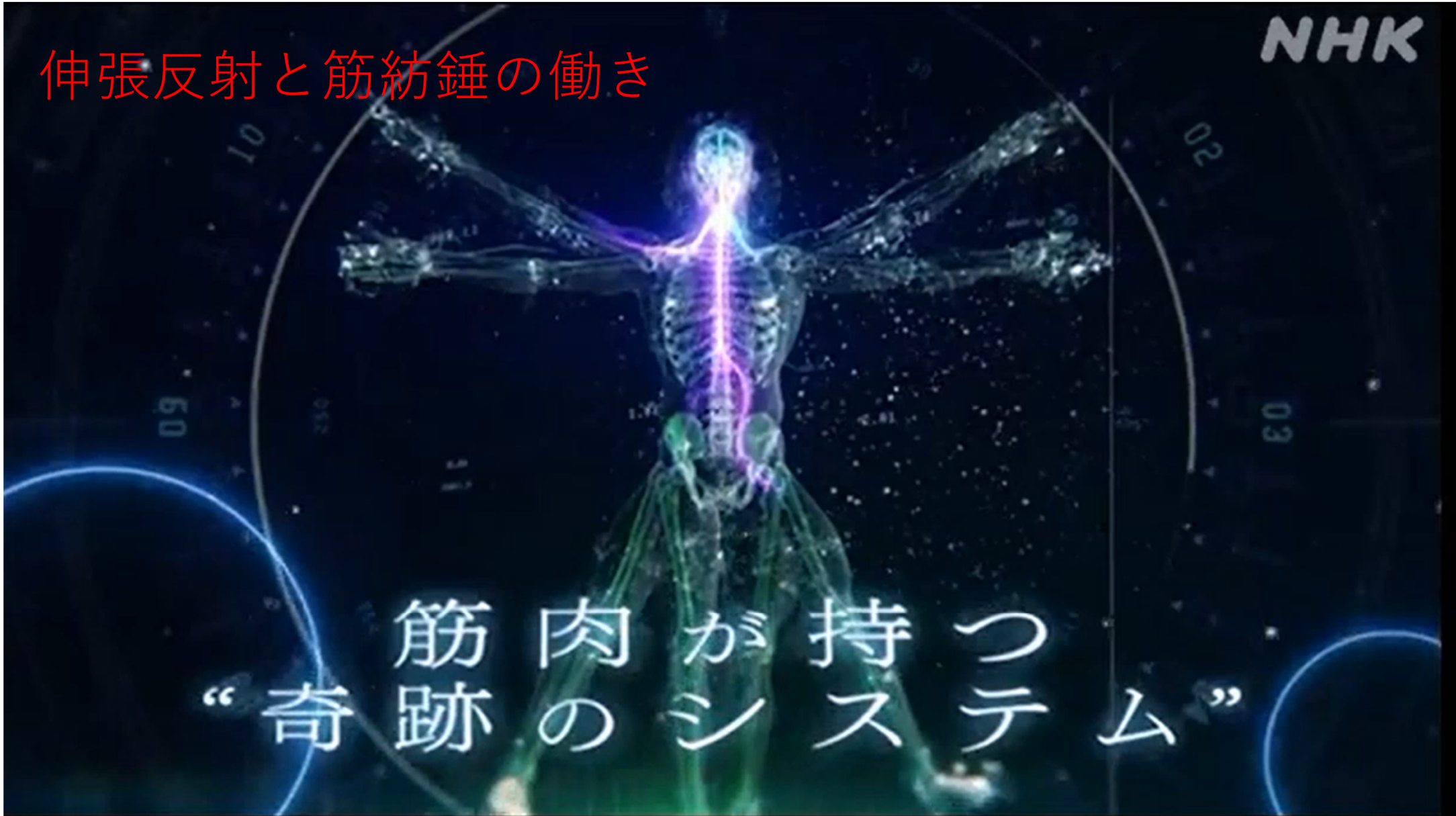
図24 ヒトでの体部位再現の図 (ペンフィールド, 1968)。

Motor-homunculus  
Sensory-homunculus

口八丁 & 手八丁

伸張反射と筋紡錘の働き

“ 筋 肉 が 持 つ  
奇 跡 の シ ス テ ム ”



# 4つの運動中枢

- 大脳皮質運動野と前頭連合野  
動作のプログラムと運動のプラン（企画・意図）
- 脊髄  
反射の中枢（伸張反射・防御反射・筋平衡反射）
- 小脳  
動作プログラムを装飾（補正）
- 大脳基底核  
運動のディレクター（病変は“パーキンソン病”など）



# 運動情報の流れ (Brooks)

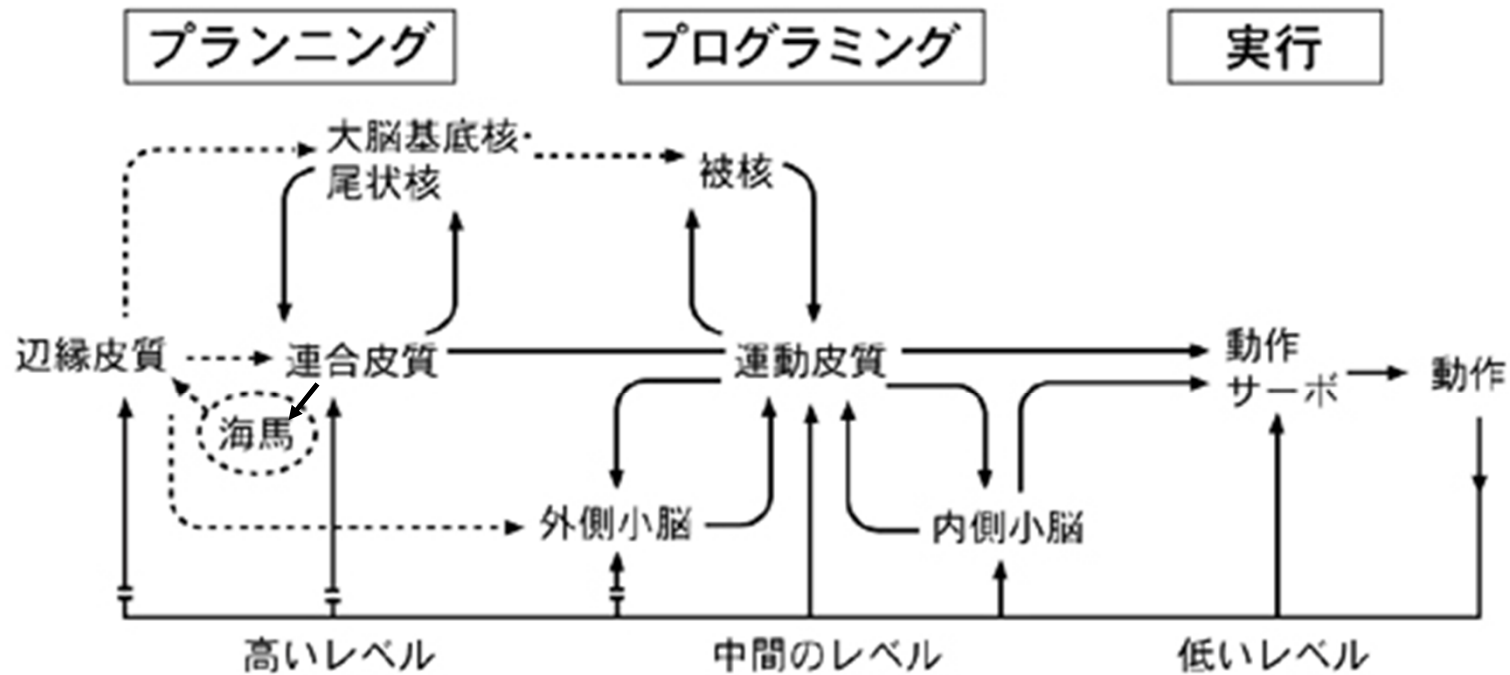


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neural Basis of Motor Control")

# 錐体路系（ダイレクト）と錐体外路系

## 小脳の運動調整能



図5. 前庭動眼反射系の回路図

制御対象としての眼球、眼筋、運動神経細胞  
 (動特性：うごきの“くせ” =  $G$ )

制御装置としての前庭器官・核、小脳片葉  
 (逆動特性 =  $-1/G$ )

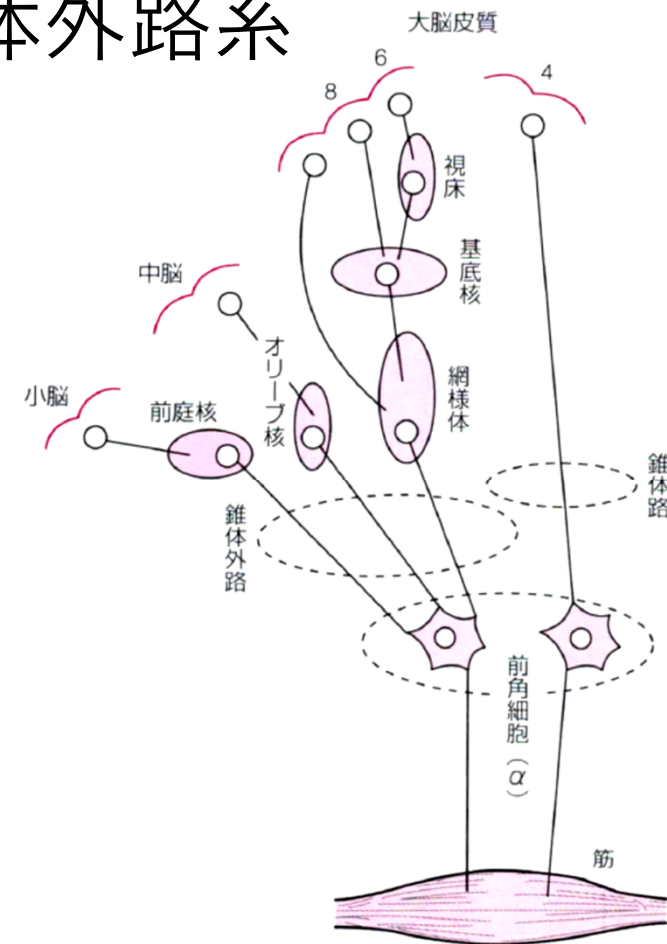


図3.7 錐体路系と錐体外路系 (朝比奈, 1981)

# 運動習熟とダイナミック・ステレオタイプ

(山崎：2004年)

$$\begin{array}{ccccccc} \text{プロトタイプ} & [A] & \Rightarrow & [B] & \Rightarrow & [C] & \Rightarrow & [D] \\ \text{(大脳皮質運動野?)} & \times & & \times & & \times & & \times \\ \text{逆動特性学習} & \begin{pmatrix} -1/a_1 \\ -1/a_2 \\ -1/a_3 \\ \vdots \\ -1/a_N \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} -1/b_1 \\ -1/b_2 \\ -1/b_3 \\ \vdots \\ -1/b_N \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} -1/c_1 \\ -1/c_2 \\ -1/c_3 \\ \vdots \\ -1/c_N \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} -1/d_1 \\ -1/d_2 \\ -1/d_3 \\ \vdots \\ -1/d_N \end{pmatrix} \\ \text{(小脳外側部)} & & & & & & & \end{array}$$

さらに「身体系マトリクス」(エネルギー生産レベルを含む：P1・P2・P3・・・PN)と「環境系マトリクス」(E1・E2・E3・・・EN)が加わる？

# 超コンピューター・・・大脳基底核

- ほとんどの神経回路を抑制し、必要な神経回路だけを脱抑制する

ボールを投げるときに何時放すか？

- 独裁者や指揮官のいなくなる病  
気・・・パーキンソン病
- 「いけ～！」という状況を支配するもの？
- ドーベルマンがいくはずがスピッツやチワワがいくと・・・

図4.16 脱抑制による運動の発現



上丘を抑制している黒質網様体部を、線条体が抑制すると……

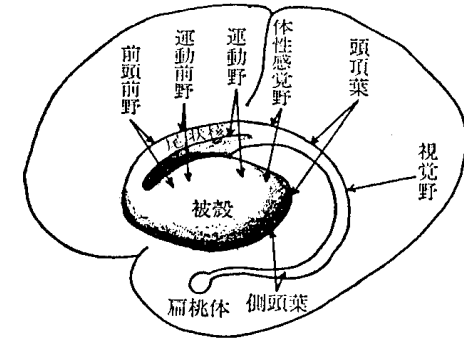


図50 大脳皮質と線条体（尾状核，被殻）の線維連絡の様子。

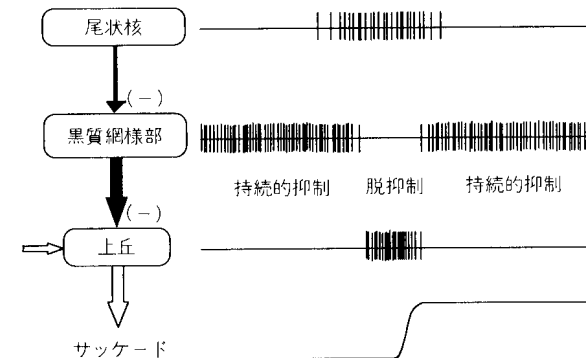


図2 大脳基底核の基本的な作用機序—脱抑制。尾状核から黒質網様部，黒質網様部から上丘への結合はともに抑制性 (GABA 作動性) である (左の図に黒の矢印と(-)で示してある)。ふだん上丘は，黒質網様部の強い持続的なニューロン活動によって抑制されているが，これは尾状核からの一時的な抑制によって取り除かれ，急速眼球運動 (サッケード) が起こる。右には，その時間経過をインパルス列として模式的に示してある。

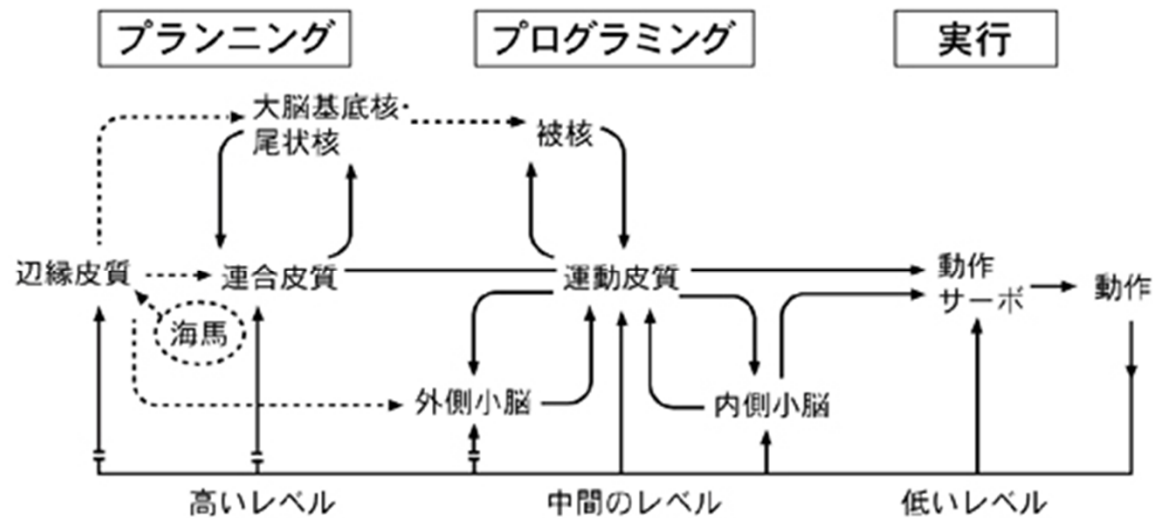
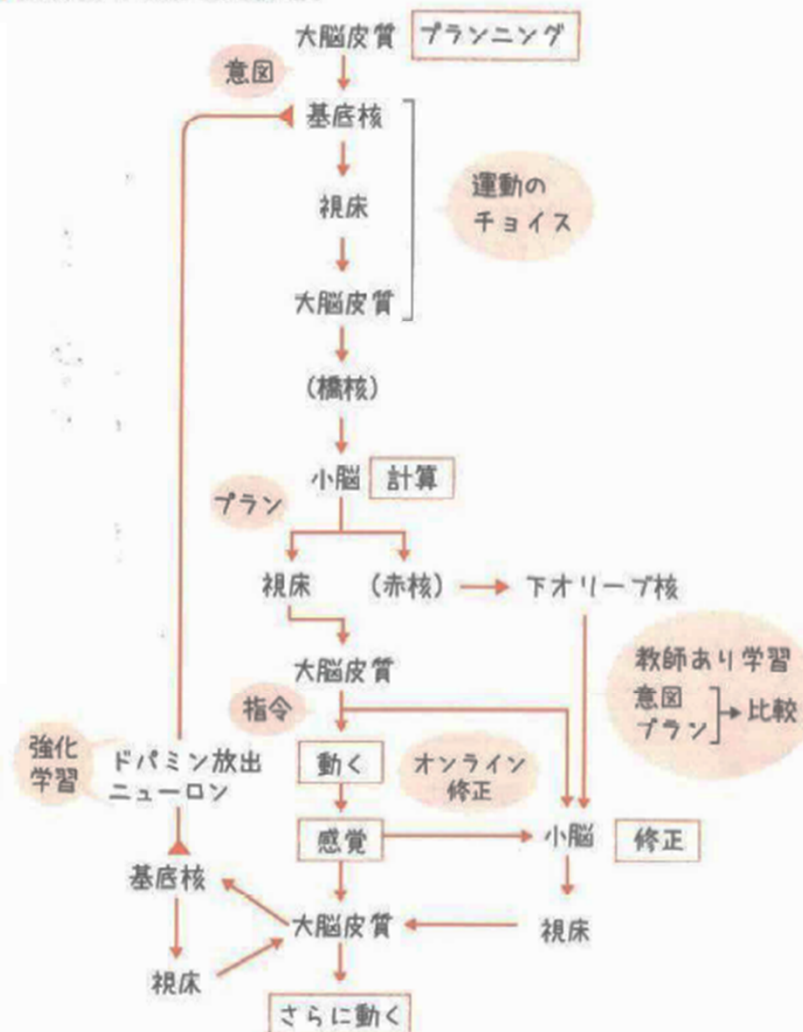
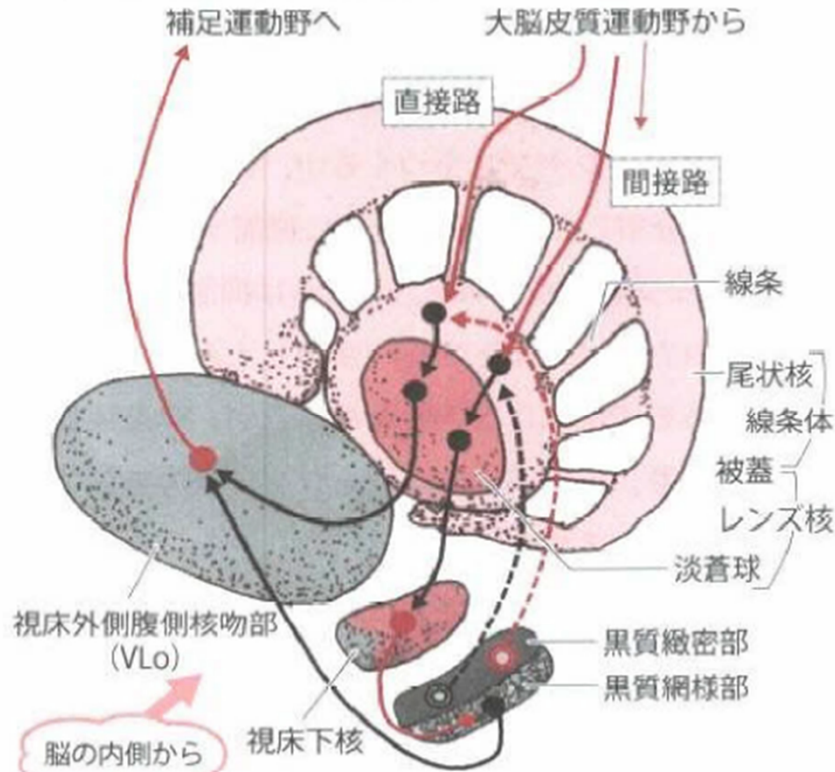


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neural Basis of Motor Control")

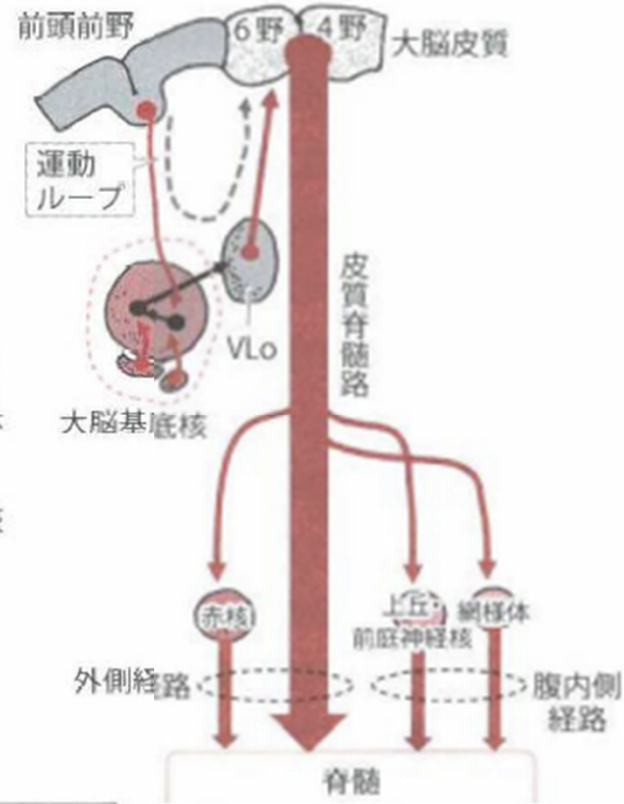
運動にかかわる回路の模式図



A 脳の内側から見た大脳基底核



B 運動ループと脊髄路



直接路 (アクセル) と間接路 (ブレーキ)

# 大脳基底核の働き

再生



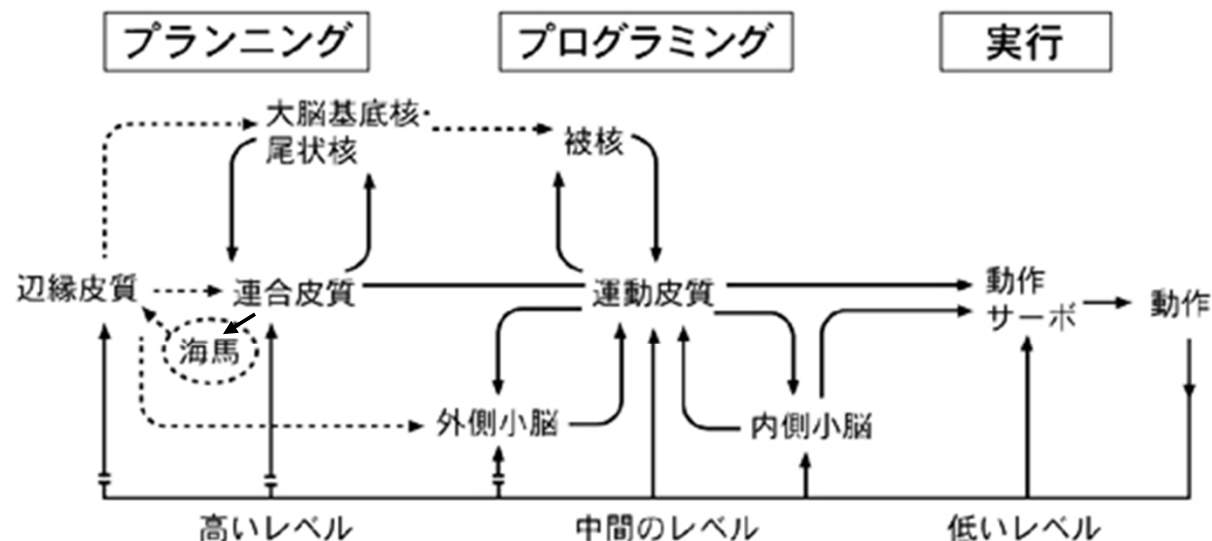


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neural Basis of Motor Control")

プロトタイプ	[A]	⇒	[B]	⇒	[C]	⇒	[D]
(大脳皮質運動野?)	×		×		×		×
逆動特性学習	$\begin{pmatrix} -1/a1 \\ -1/a2 \\ -1/a3 \\ \vdots \\ -1/aN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/b1 \\ -1/b2 \\ -1/b3 \\ \vdots \\ -1/bN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/c1 \\ -1/c2 \\ -1/c3 \\ \vdots \\ -1/cN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/d1 \\ -1/d2 \\ -1/d3 \\ \vdots \\ -1/dN \end{pmatrix}$
(小脳外側部)							

## 運動には複数のシステムが関わっている





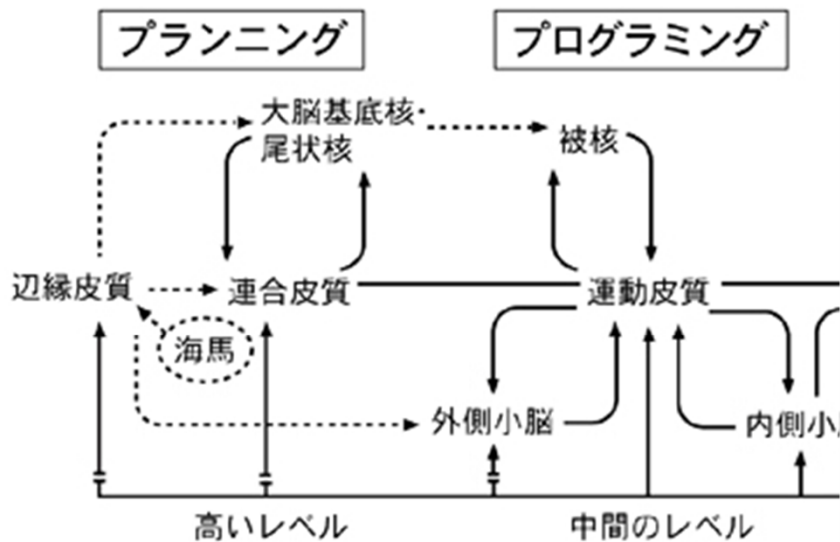


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neuro")

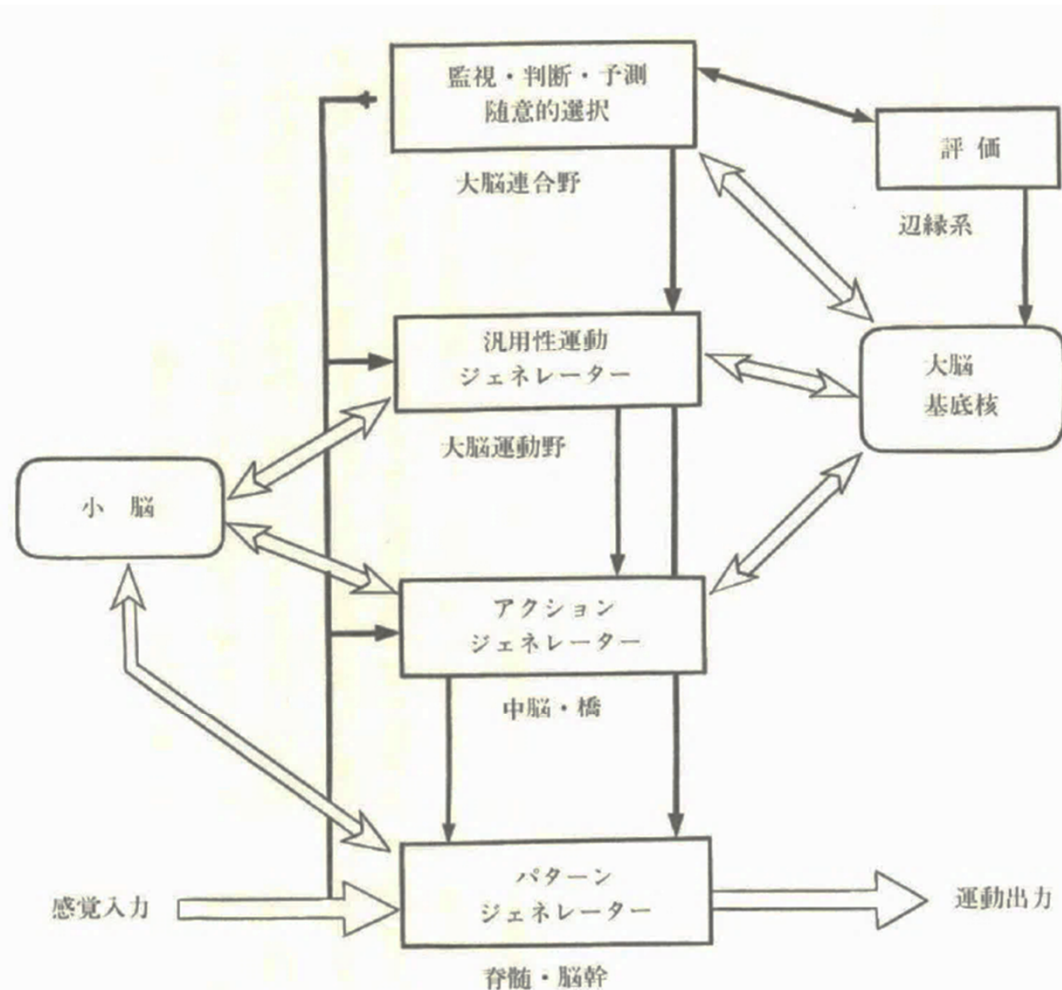


図12・1 運動制御のレベルと脳の構造

# 反応時間ということ

適当に反応せず、何故か速く反応しようとする・・・

# 運動情報の流れ (Brooks)

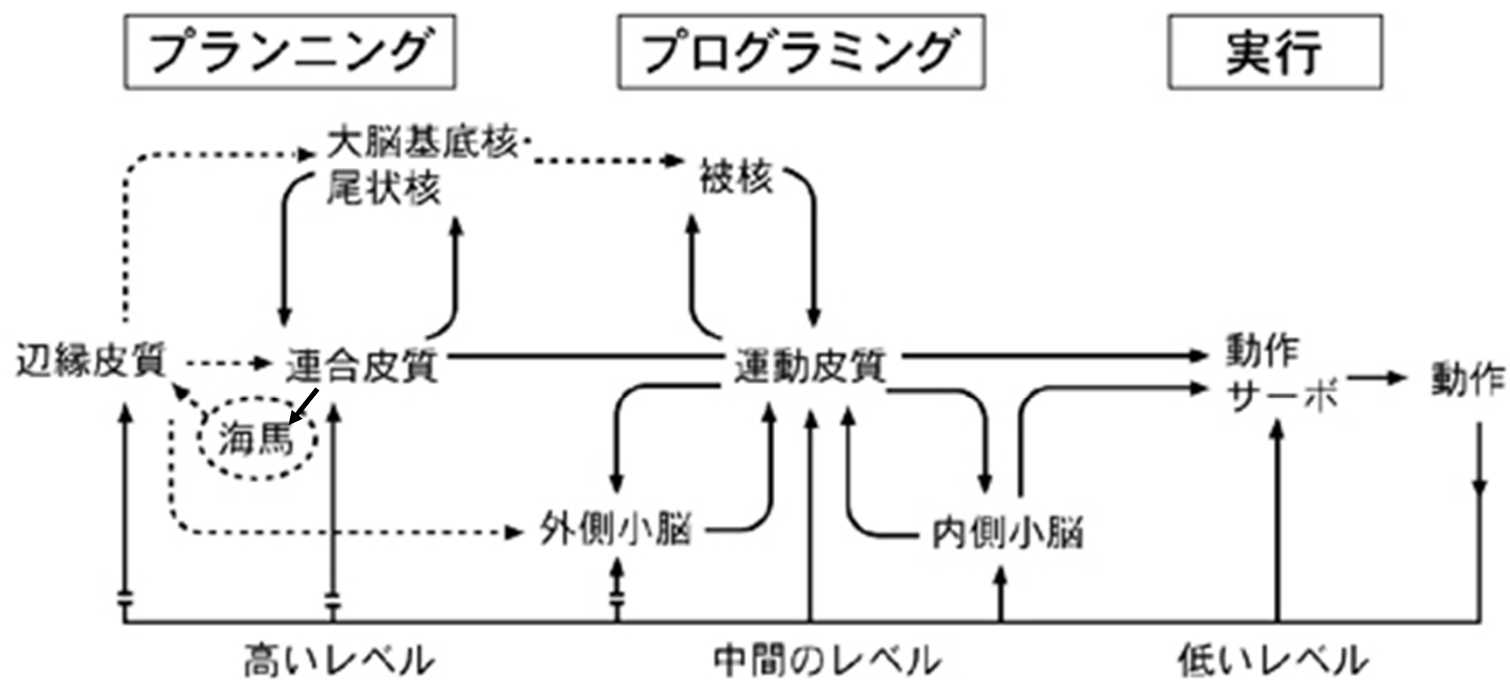


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neural Basis of Motor Control")

# 随意運動の研究 (Evars, 1975)

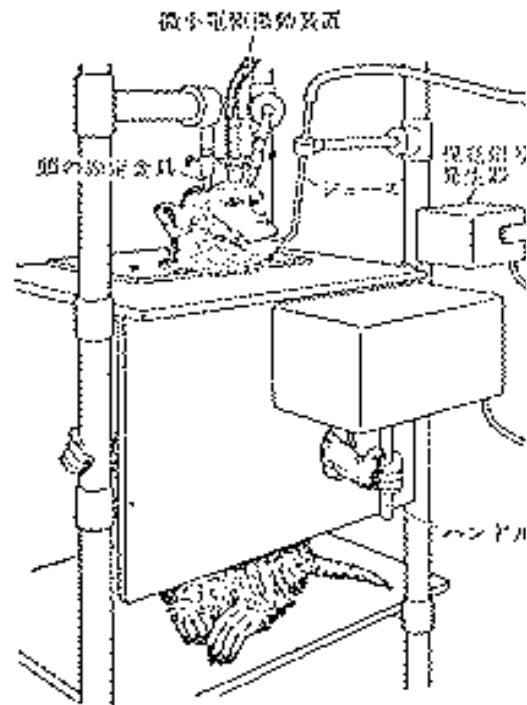


図69 セルにハンドルを動かす運動をさせながら、大脳運動野のニューロンからインパルス信号を記録する装置。(H. V. Evars, 1975 による)

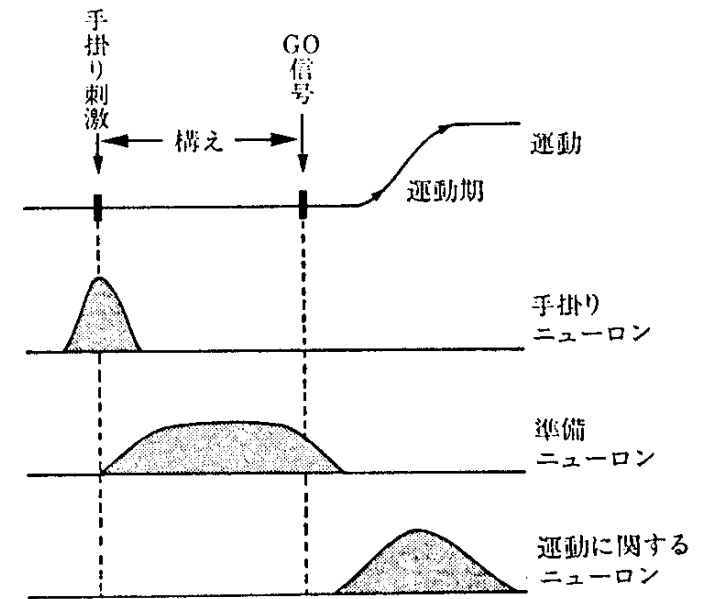
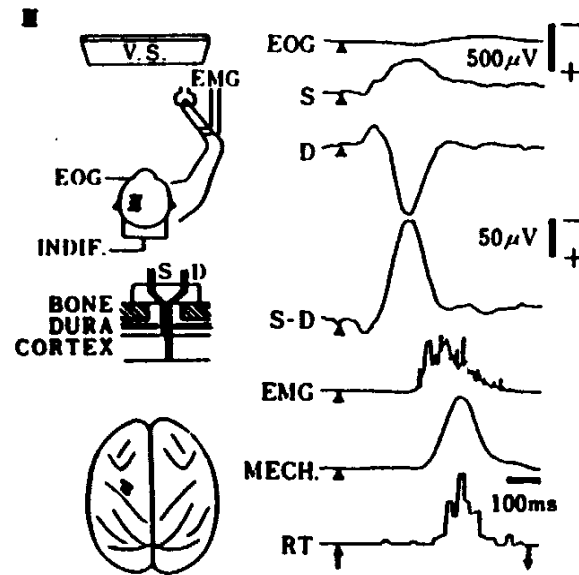


図44 運動前野のニューロンの活動パターン。

# 反応時間 (RT) ということ

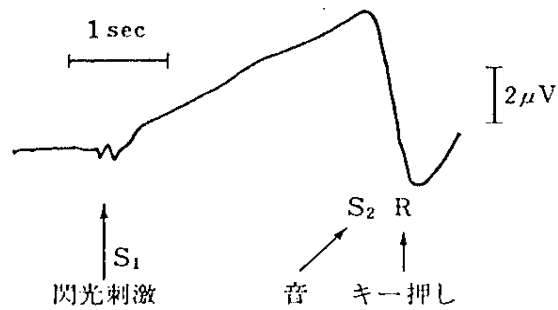


図71 随伴性陰性波の例。(久保田、1976による)

「ヨヘイ」から「ドン」の間!!

筋は収縮しているのに“動けない”

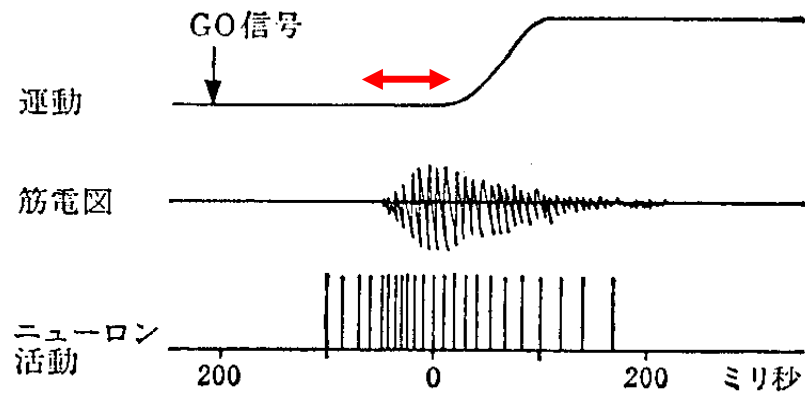
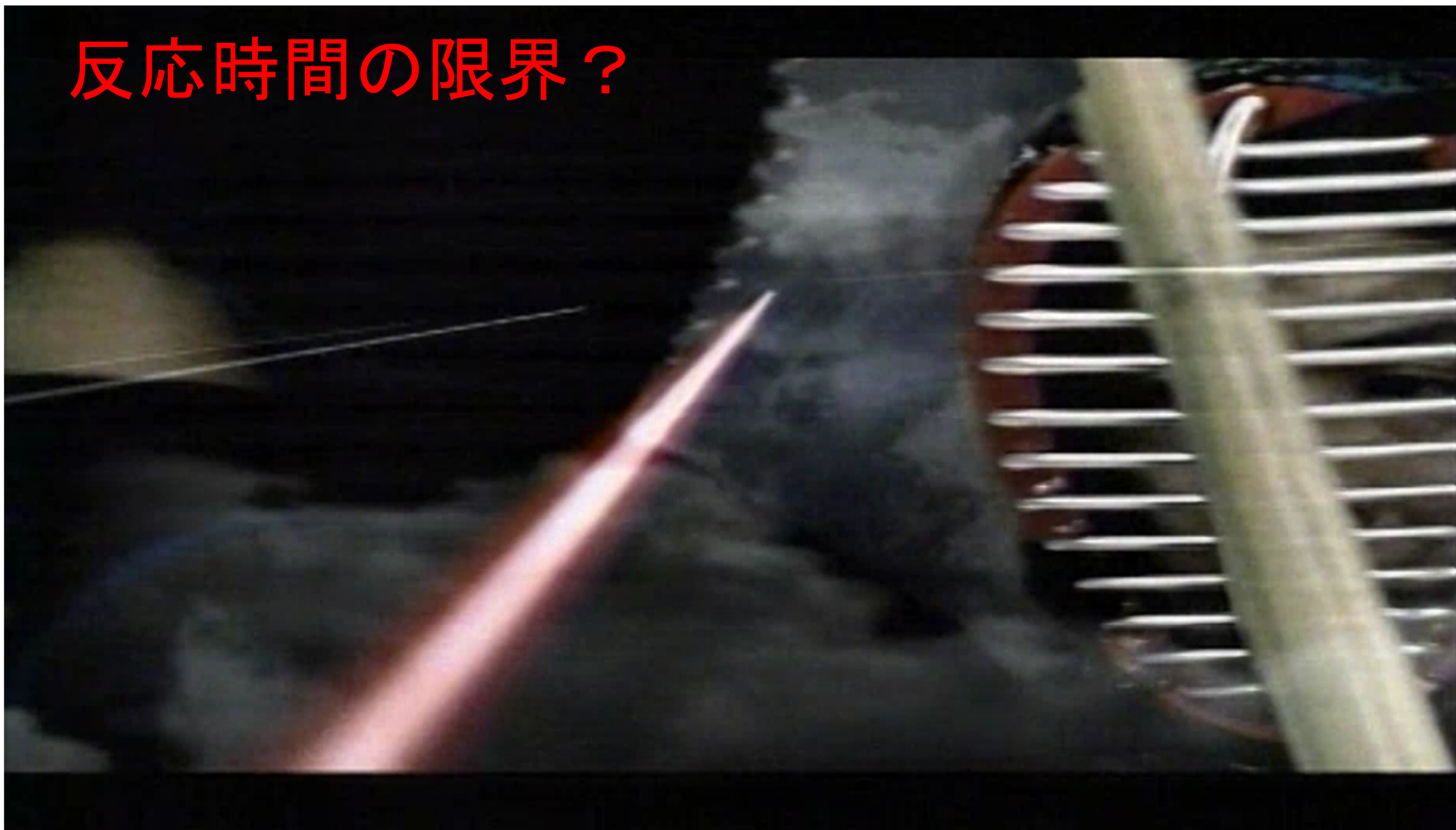


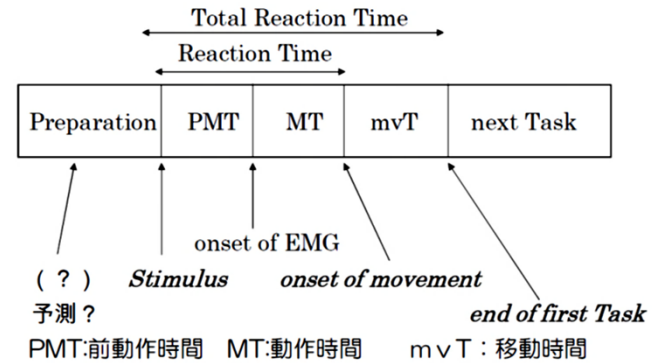
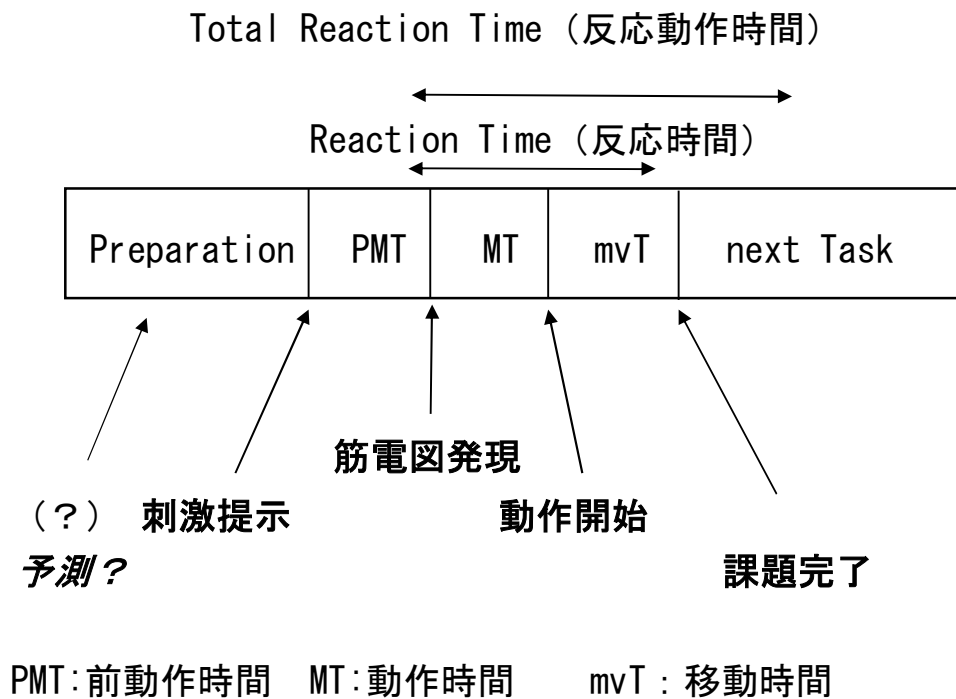
図33 運動野ニューロンの活動と手の動き。

運動開始の準備はできているのですが・・・

反応時間の限界？



# 反応時間の構成因子（相手も同じ）



**不応期**：反応を始めると動けない  
ニセ情報の提示  
⇒ 間違った準備  
⇒ 反応方向の修正  
⇒ 反応の遅れ

いわゆる“フェイント”と“フェイク”

# 青木のバッティングと小脳





予測は何を手掛かりに？



錦織 VS ジョコビッチ



「不応期」の例は剣道でも



# 状況に応じて刻々と対応する・・・？

- 事前予測が可能な状況では・・・100%確定はしない！
- 事前予測と異なる相手方の変化への対応は可能か？  
複数の状況への対応の「重みづけ」を行っている  
⇒ こちら側でも複数の対応の選択肢を準備しておく？
- 予想外の変化への咄嗟の対応は？  
トレーニングのプロセスで経験をしておくことが必要？
- 「動作時間」を短縮するトレーニング  
「準備局面」⇒「主要局面」⇒「終末局面」⇒「準備局面」・・・

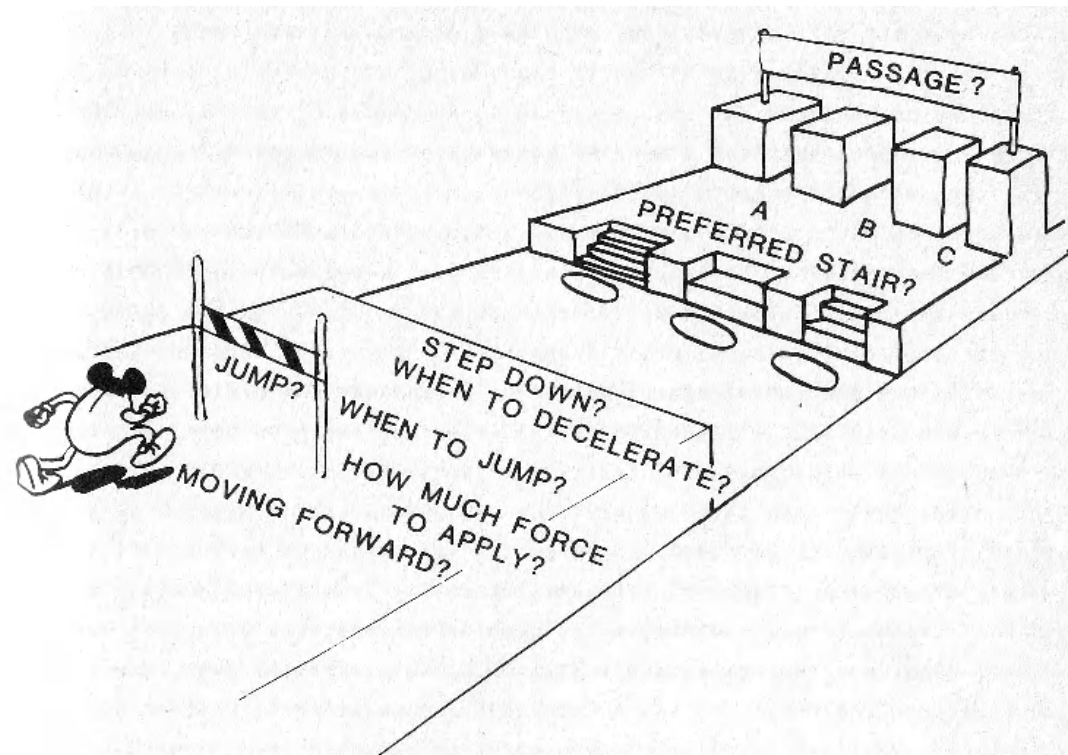
NHK BS1

スポーツサイエンス最先端  
メンタル強化

# メンタルトレーニングの実際



# 状況に応じて刻々と対応する・・・？



M.T.Turvey,P.N.Kugler(1984):AN ECOROGICAL APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION, (In "Human Motor Action:Bernstein Reassessed")pp.375