کنترل سیستم های عصبی- عضلانی

جابجایی و مولد الگوی مرکزی

Locomotion and Central Pattern Generator (CPG)

فهرست مطالب:

- مفاهیم جابجایی (locomotion)
- توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

نمونه‌هایی از جابجایی (locomotion)

- راه رفتن انسان
- پرواز کردن پرنده
- شنا کردن مارماهی
- خزیدن مار

نمونه‌هایی از حرکت‌های ریتمیک انسان

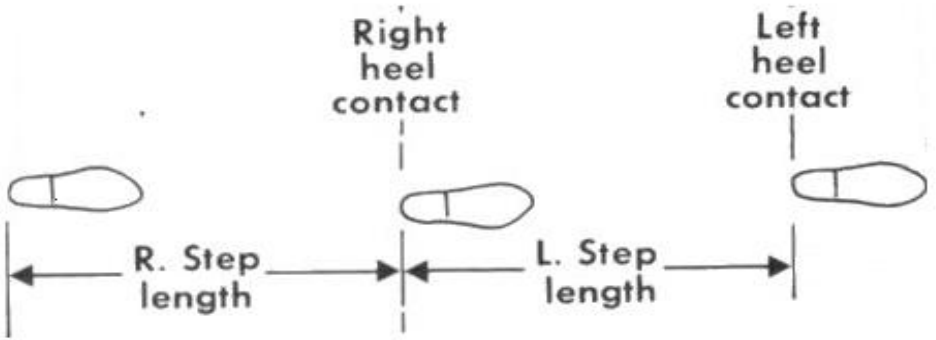
- قدم‌زنی (Gait)
  - walking
  - jogging
  - running
- رکاب‌زنی (cycling)
- شنا کردن (swimming)
- پاروزنی (rowing)

فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

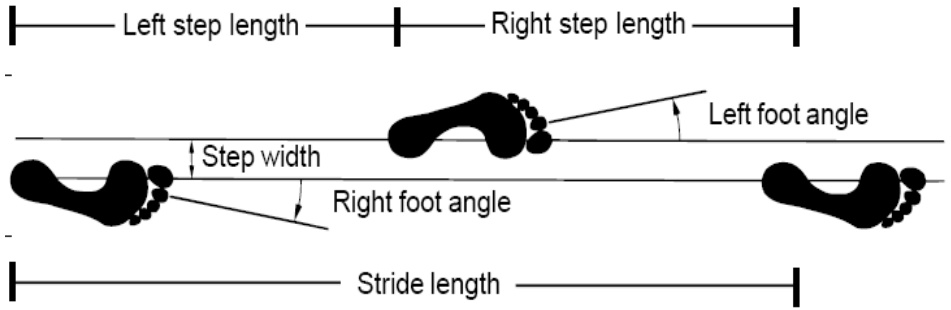
معرفی اصطلاحات:

- گام (step)
- طول گام (step length)
- نرخ گام برداشتن (stepping rate)



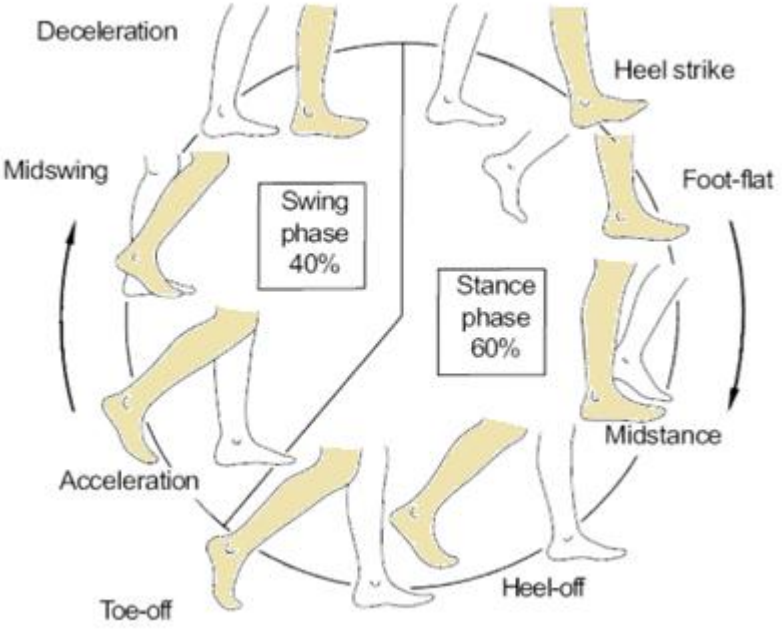
معرفی اصطلاحات:

- stride
- طول stride



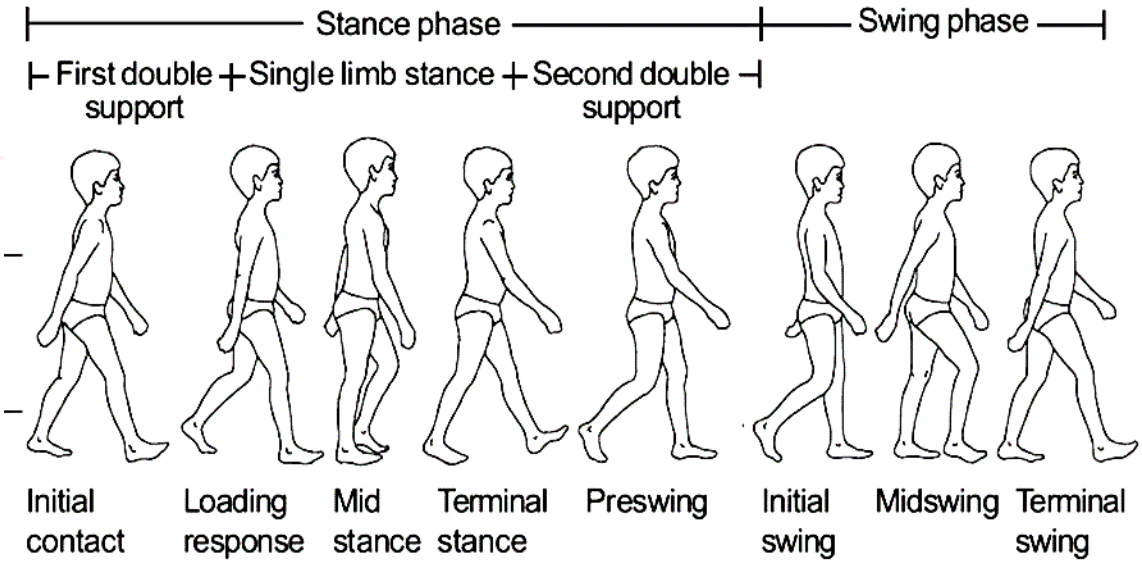
معرفی اصطلاحات:

- چرخه راه رفتن
- زمان چرخه
- stance phase
- swing phase



توصیف دقیق قدم‌زنی

- چرخه راه رفتن
- زمان چرخه
- stance phase
- swing phase



مراحل و فازهای قدم‌زنی گربه

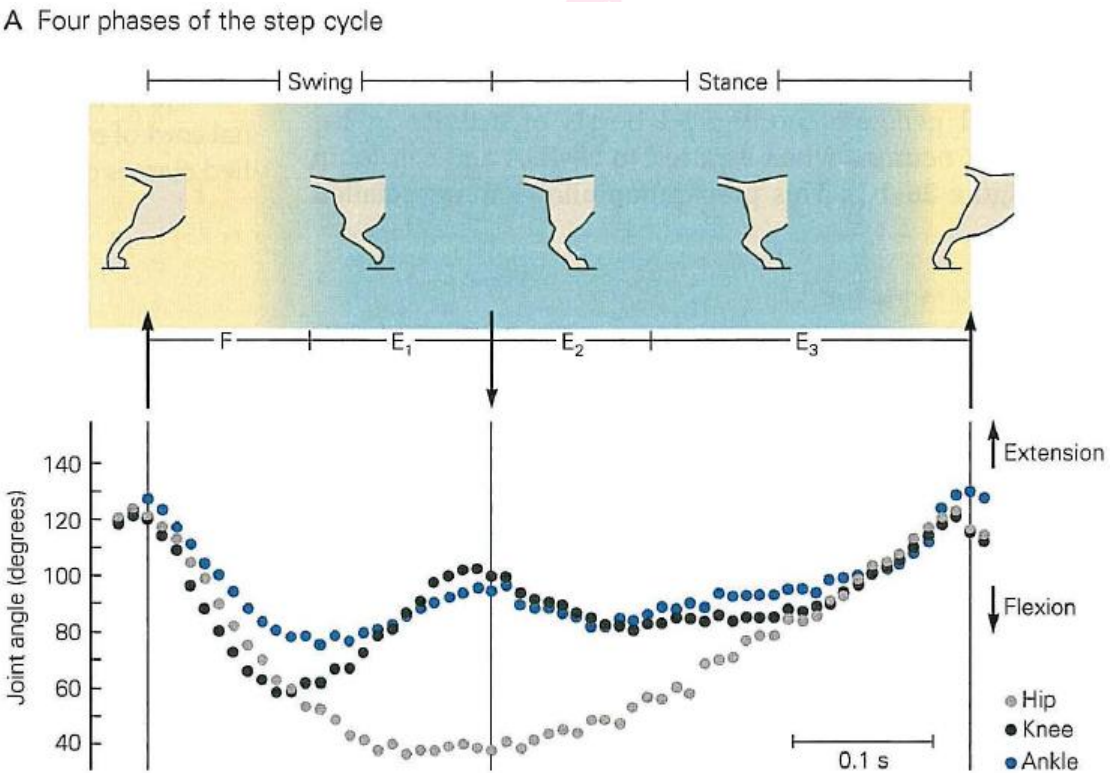


Figure 36-2 Stepping is produced by complex patterns of contractions in leg muscles.
A. The step cycle is divided into four phases: the flexion (F) and first extension (E1) phases occur during swing, when the foot is off the ground, whereas second extension (E2) and third extension (E3) occur during stance, when the foot contacts the ground. Second extension is characterized by flexion at the knee and ankle as the leg begins to bear the animal's weight. The contracting knee and ankle extensor muscles lengthen during this phase. (Adapted, with permission, from Engberg and Lundberg 1969.)

فعالیت عضلات در قدم‌زنی گربه

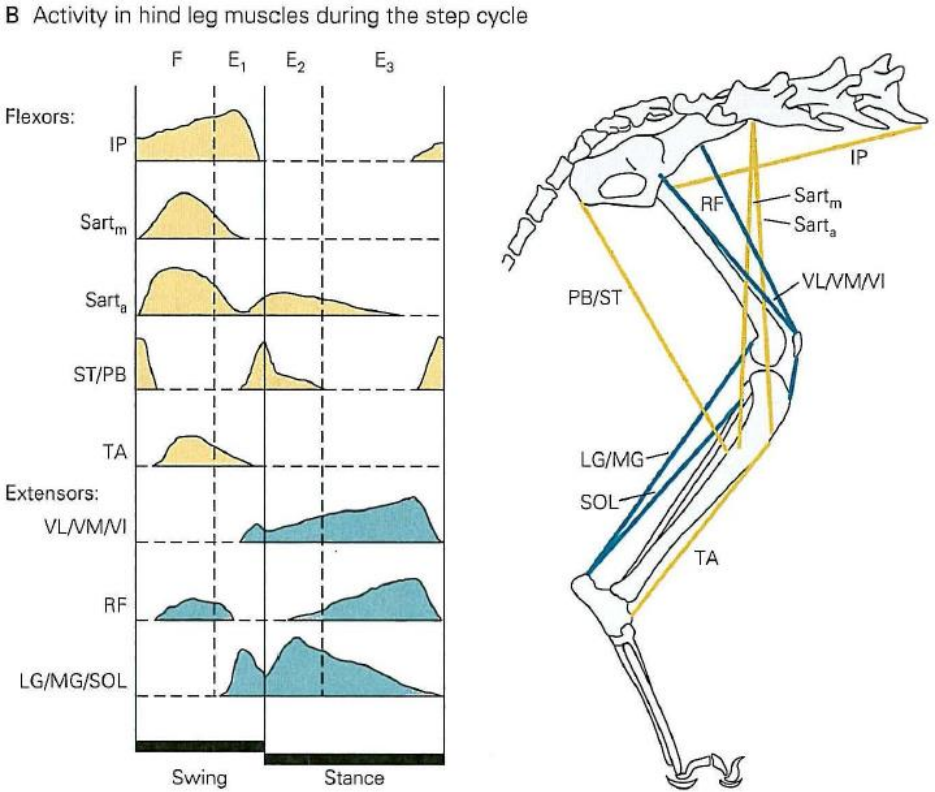


Figure 36-2 Stepping is produced by complex patterns of contractions in leg muscles.

B. Profiles of electrical activity in some of the hind leg flexor and extensor muscles in the cat during stepping. Although flexor and extensor muscles are generally active during swing and stance, respectively, the overall pattern of activity is complex in both timing and amplitude. (IP, iliopsoas; LG and MG, lateral and medial gastrocnemius; PB, posterior biceps; RF, rectus femoris; Sartm and Sart,, medial and anterior sartorius; SOL, soleus; ST, semitendinosus; TA, tibialis anterior; VL, VM, and VI, vastus lateralis, medialis, and intermedialis.)

فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- ✓ توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

سوالات اساسی!

- الگوهای جابجایی (locomotion) کجا شکل می‌گیرند؟
- الگوهای جابجایی چگونه شکل می‌گیرند؟
- نقش حس‌های عمقی (proprioceptors) چیست؟
- نقش حس‌های تنی (somatosensory) چیست؟
- نقش مراکزی نظیر ساقه مغز و مخچه چیست؟
- نقش بینایی و حافظه‌ی کاری چیست؟

فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- ✓ توصیف دقیق قدم‌زنی
- ✓ سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها

- آماده‌سازی قطع نخاع (spinal preparation)
- آماده‌سازی حذف مخ (decerebrated preparation)
- آماده‌سازی حذف آوران (deafferented preparation)
- آماده‌سازی فلج‌سازی (Immobilized preparation)
- آماده‌سازی جونده نوزاد (Neonatal Rodent Preparation)

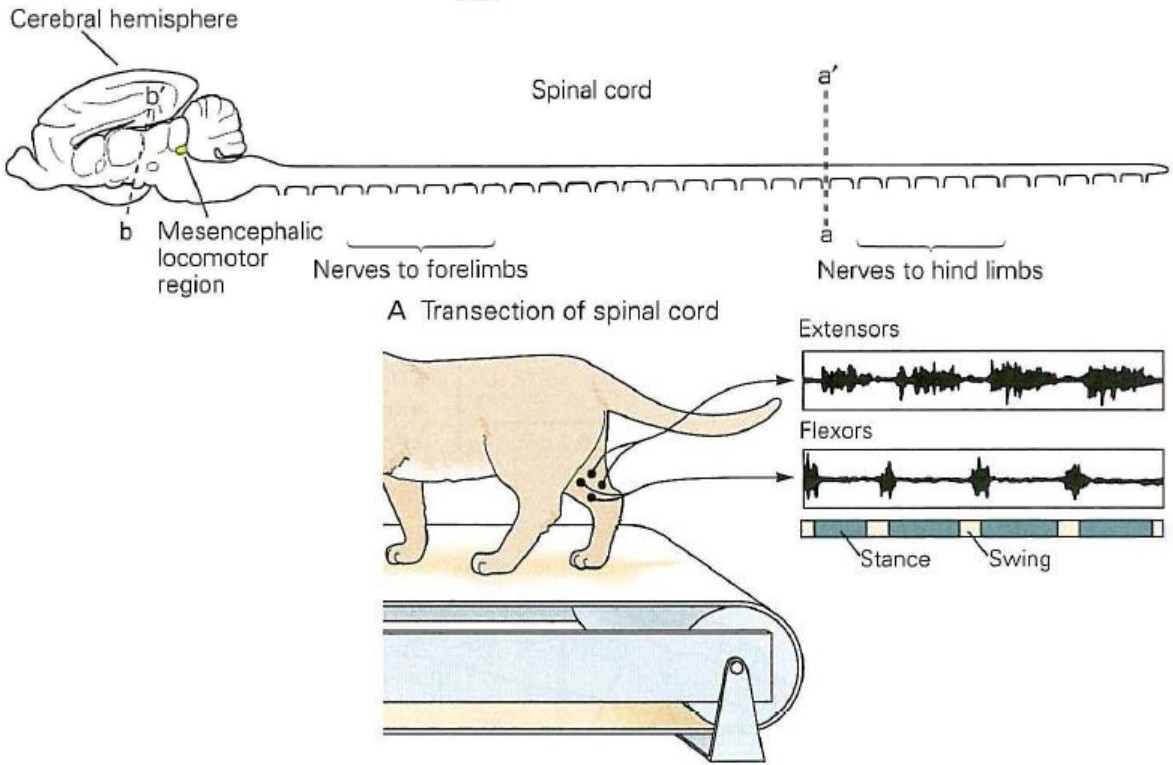


Figure 36-1 Preparations Used to Study the Neural Control of Stepping.
A. Transection of the spinal cord of a cat at the level a-a' isolates the segments of the cord with nerves that project to the hind limbs. The hind limbs are still able to step on a treadmill either immediately after recovery from surgery if adrenergic drugs are administered or a few weeks after surgery if the animal is exercised regularly on the treadmill. Transection of the brain stem at the level b-b' isolates the spinal cord and lower brain stem from the cerebral hemispheres.

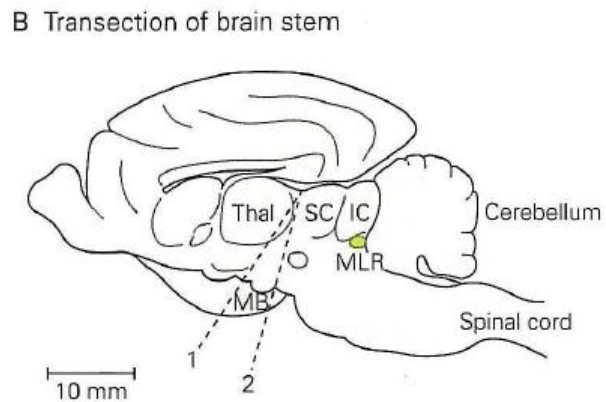


Figure 36-1 Preparations Used to Study the Neural Control of Stepping.
B. Depending on the exact level of the transection of the brain stem, locomotion occurs spontaneously (1) or can be initiated by electrical stimulation of the mesencephalic locomotor region (MLR) (2). The mesencephalic locomotor region is a small region of the brain stem close to the cuneiform nucleus approximately 6 mm below the surface of the inferior colliculus (IC). (Thal, thalamus; SC, superior colliculus; MB, mammillary body.)

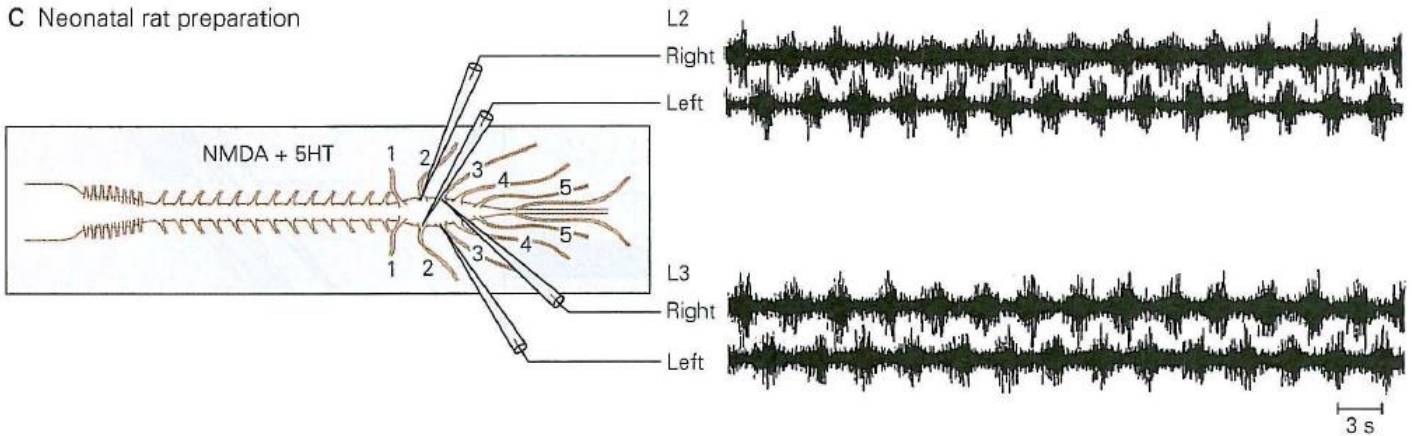


Figure 36-1 Preparations Used to Study the Neural Control of Stepping.
C. The spinal cord is removed from a neonatal rat and placed in a saline bath. Addition of N-methyl-o-aspartate (NMDA) and serotonin (5-hydroxytryptamine, or 5-HT) to the bath elicits rhythmic bursting in the motor neurons supplying leg muscles, as shown in recordings from nerve roots of the second (L2) and third (L3) lumbar segments. Intracellular or tight-seal recordings can also be made from lumbar neurons during periods of rhythmic activity. (Adapted, with permission, from Cazalets, Borde, and Clarac 1995.)

فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- ✓ توصیف دقیق قدم‌زنی
- ✓ سوالات اساسی!
- ✓ شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

مولد الگوی مرکزی (CPG)

شبکه‌های نورونی نخاعی که می‌توانند در نبود ورودی ریتمیک از گیرنده‌های محیطی، فعالیت حرکتی ریتمیک تولید کنند.

فعالیت ریتمیک CPG به سه عامل بستگی دارد:

- **ویژگی‌های سلولی هر نورون در شبکه نورونی**
- **ویژگی‌های اتصالات سیناپسی بین نورون‌ها**
- **ساختار ارتباطات بین نورون‌ها**

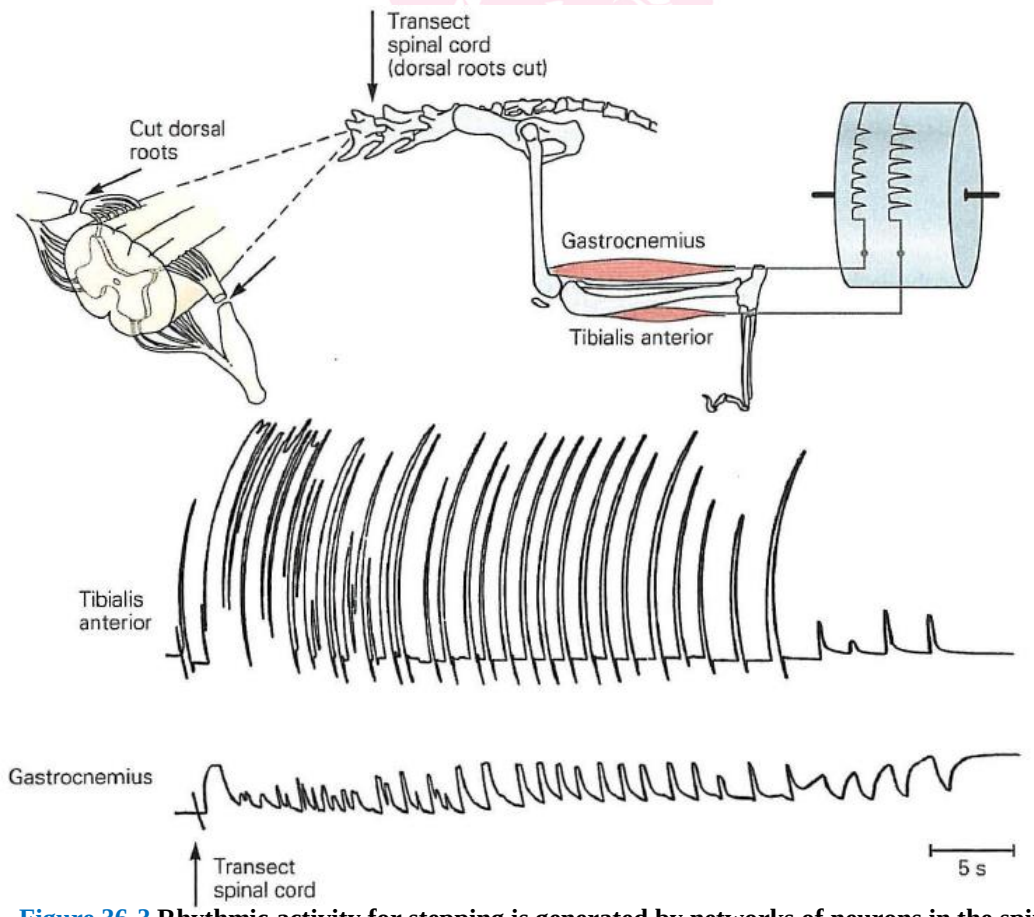


Figure 36-3 Rhythmic activity for stepping is generated by networks of neurons in the spinal cord.

The existence of such spinal networks was first demonstrated by Thomas Graham Brown in 1911. Graham Brown developed an experimental preparation system in which dorsal roots were cut so that sensory information from the limbs could not reach the spinal cord. An original record from Graham Brown's study shows that rhythmic alternating contractions of ankle flexor (tibialis anterior) and extensor (gastrocnemius) muscles begin immediately after transection of the spinal cord.

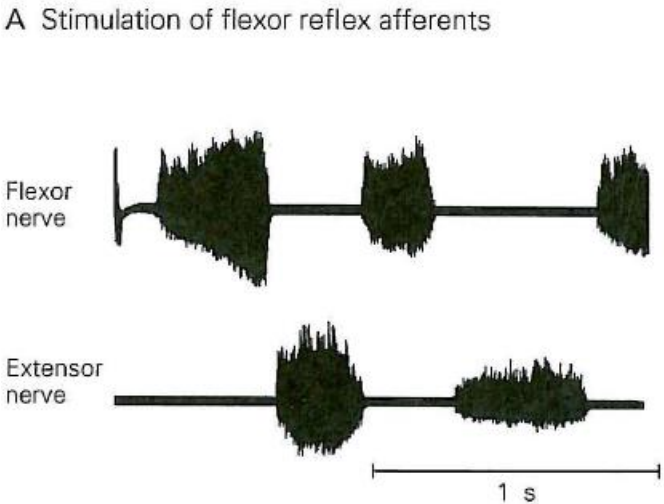


Figure 36-4 Reciprocal activity in flexor and extensor motor neurons.
A. High-threshold cutaneous and muscle afferents called flexor reflex afferents (FRA) were electrically stimulated in spinal cats treated with L-DOPA (L-dihydroxyphenylalanine) and nialamide. Brief stimulation of ipsilateral FRAs evoked a short sequence of rhythmic activity in flexor and extensor motor neurons. (Adapted, with permission, from Jankowska et al. 1967a.)

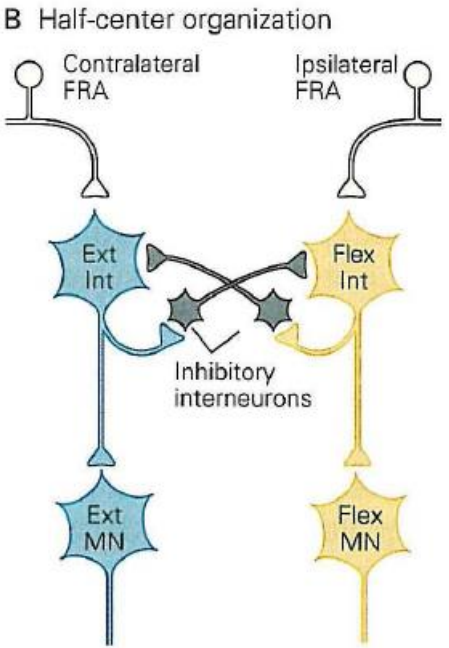


Figure 36-4 Reciprocal activity in flexor and extensor motor neurons.
B. lnterneurons in the pathways mediating long-latency reflexes from the ipsilateral and contralateral FRAs mutually inhibit one another. This "half-center" organization of the flexor and extensor interneurons likely mediates rhythmic stepping.

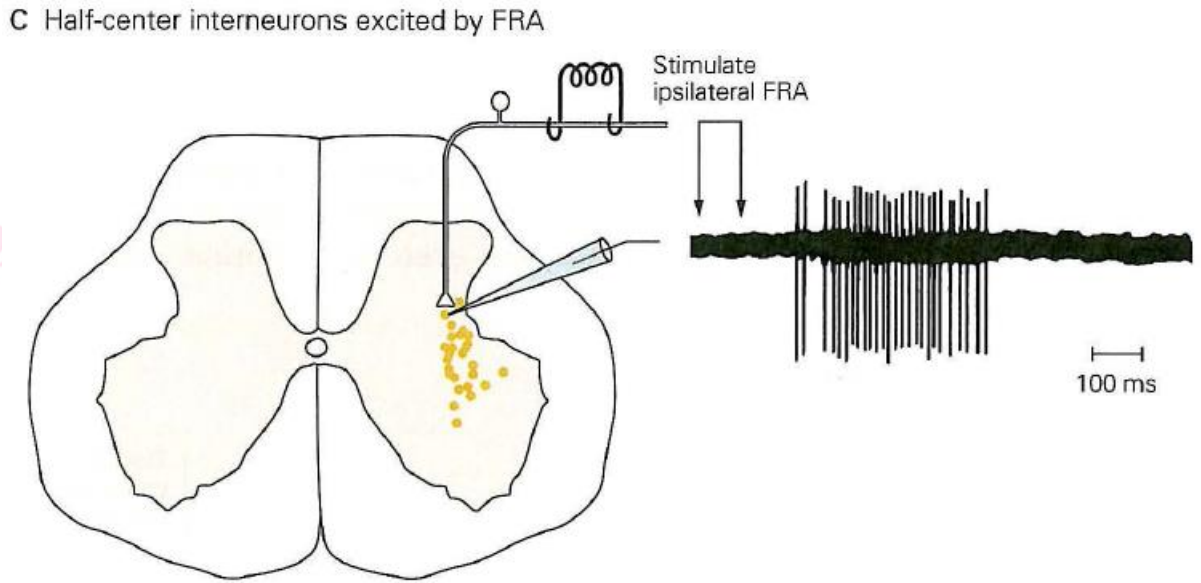


Figure 36-4 Reciprocal activity in flexor and extensor motor neurons.
C. Stimulation of the ipsilateral FRA evokes a delayed, long-lasting burst of activity in the half-center interneurons located in the intermediate region of the gray matter. (Adapted, with permission, from Jankowska et al. 1967b.)

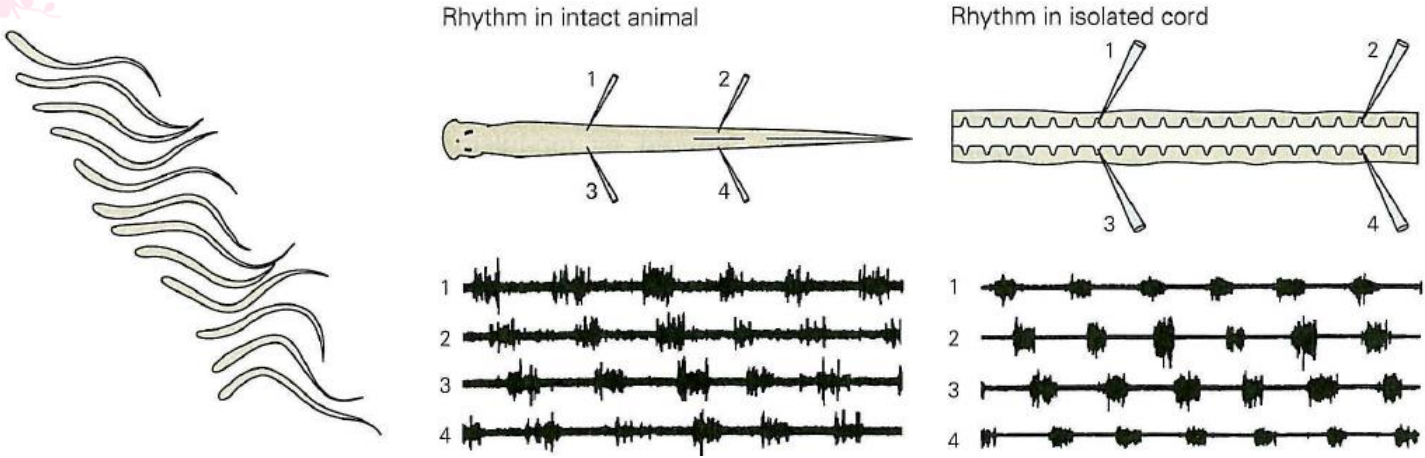
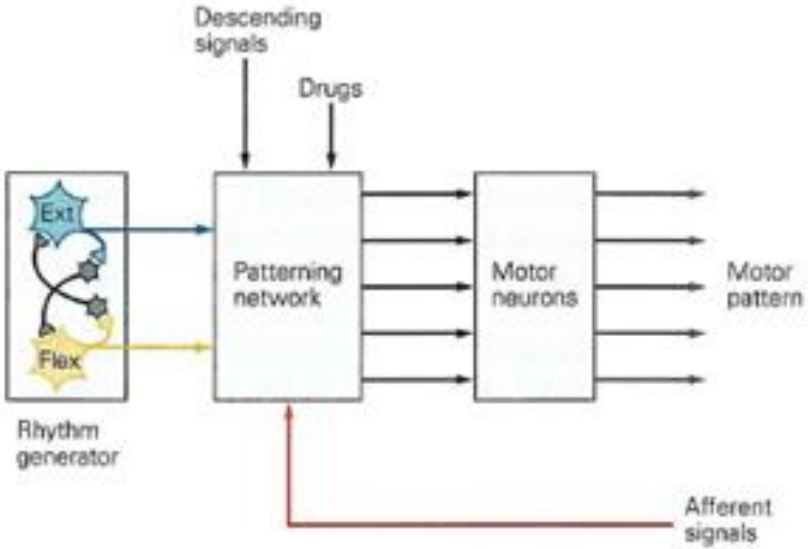


Figure 36-5 The lamprey swims by means of a wave of muscle contractions traveling down one side of the body 180 degrees out of phase with a similar traveling wave on the opposite side.

This pattern is evident in electromyogram recordings from four locations along the animal during normal swimming. A similar pattern is recorded from four spinal roots in an isolated cord. (Adapted, with permission, from Grillner et al. 1987.)


Descending signals
Drugs
Ext
Flex
Patterning network
Motor neurons
Motor pattern
Rhythm generator
Afferent signals

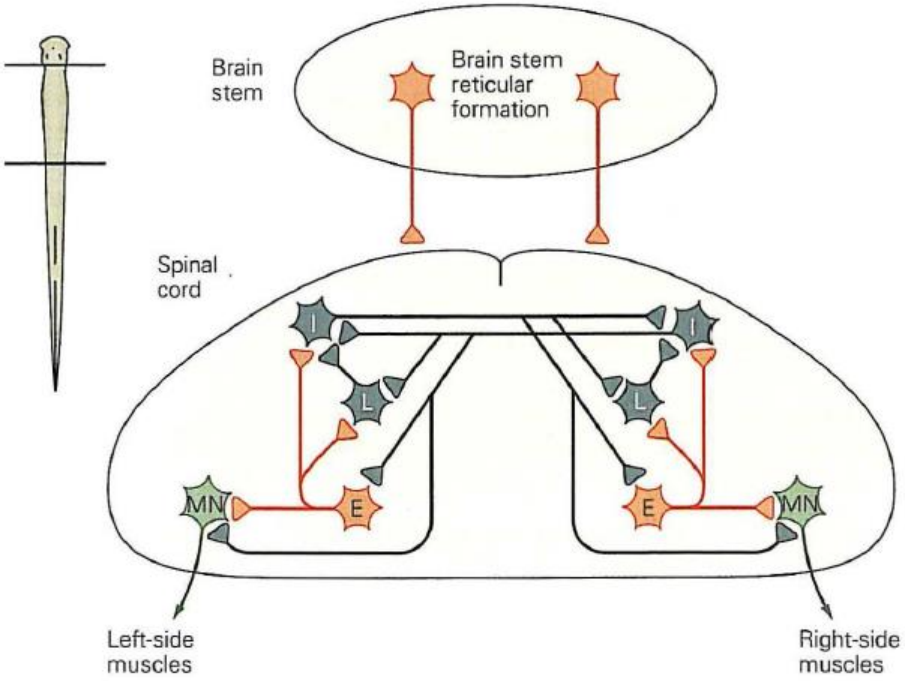


Figure 36-6 Each body segment of the lamprey contains a neuronal network responsible for the motor pattern in that segment.

Activity in each segmental network is initiated by activity in glutamatergic axons descending from the brain stem reticular formation. The reticulospinal neurons increase the excitability of all neurons in a segmental network by activation of both NMDA-type and non-NMDA-type glutamate receptors. On each side of the network excitatory interneurons (E) drive the motor neurons (MN) and two classes of inhibitory interneurons, commissural (I) and local (L). (Adapted, with permission, from Grillner et al. 1995.)

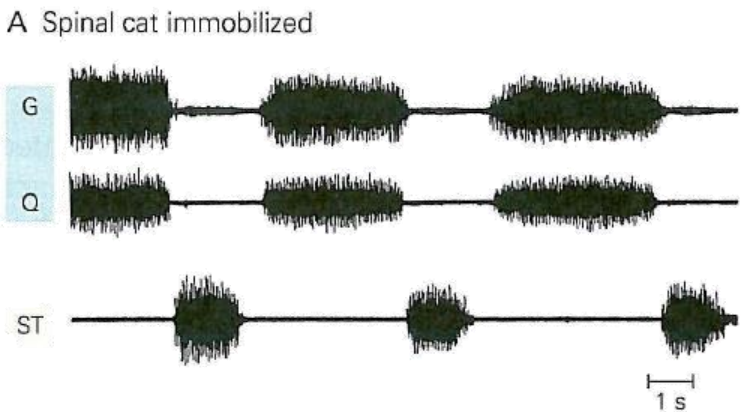


Figure 36-7 A variety of motor patterns can be generated without phasic sensory input.
A. A reciprocal pattern of activity in nerves innervating flexor and extensor muscles is seen in an immobilized spinal cat treated with L-DOPA and nialamide. (G, gastrocnemius; Q, quadriceps; ST, semitendinosus.) (Adapted, with permission, from Edgerton et al. 1976.)

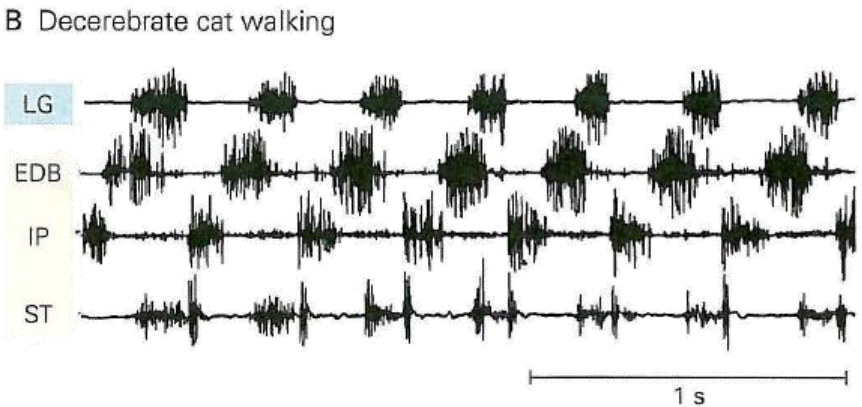


Figure 36-7 A variety of motor patterns can be generated without phasic sensory input.
B. lnterneurons in the pathways mediating long-latency reflexes from the ipsilateral and contralateral FRAs mutually inhibit one another. This "half-center" organization of the flexor and extensor interneurons likely mediates rhythmic stepping.

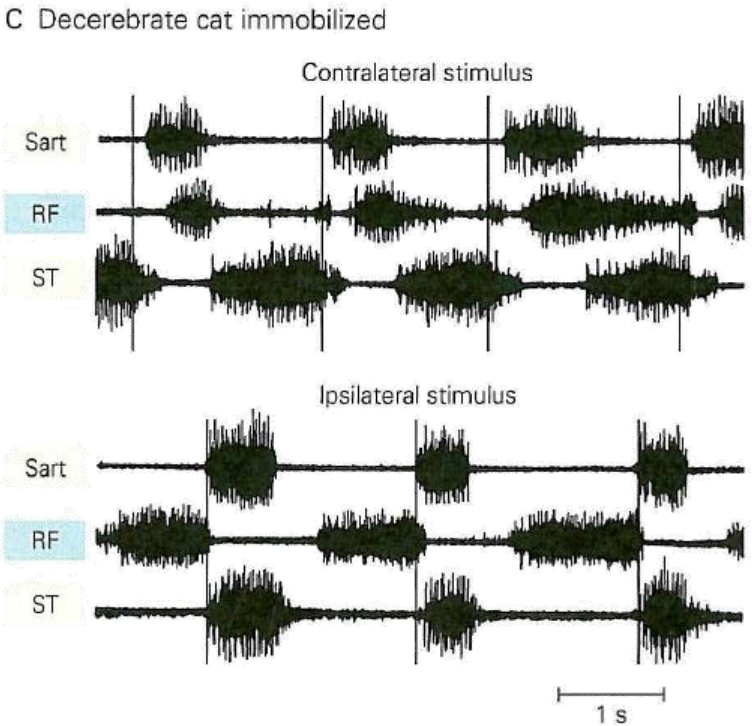


Figure 36-7 A variety of motor patterns can be generated without phasic sensory input.
C. Stimulation of the ipsilateral FRA evokes a delayed, long-lasting burst of activity in the half-center interneurons located in the intermediate region of the gray matter. (Adapted, with permission, from Jankowska et al. 1967b.)

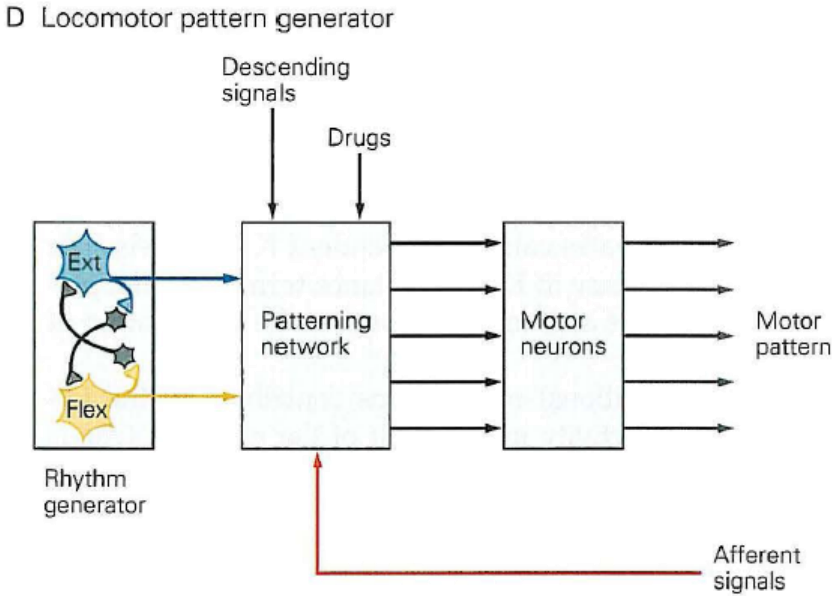
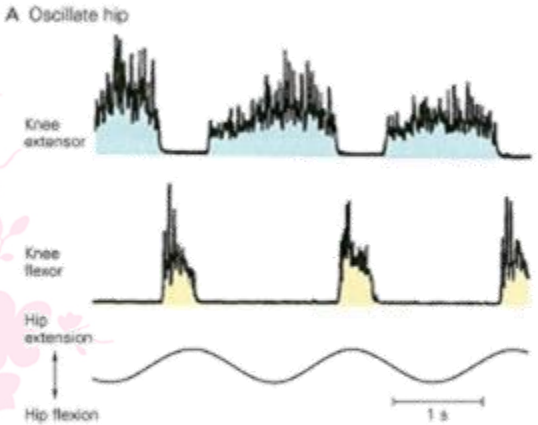


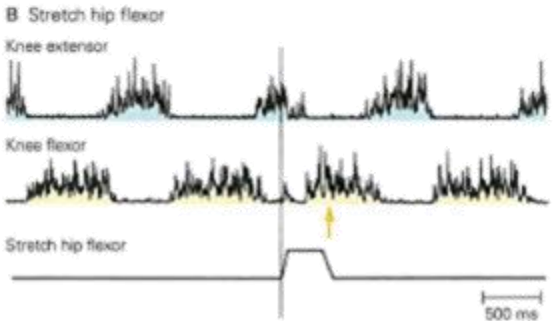
Figure 36-7 A variety of motor patterns can be generated without phasic sensory input.
D. Stimulation of the ipsilateral FRA evokes a delayed, long-lasting burst of activity in the half-center interneurons located in the intermediate region of the gray matter. (Adapted, with permission, from Jankowska et al. 1967b.)

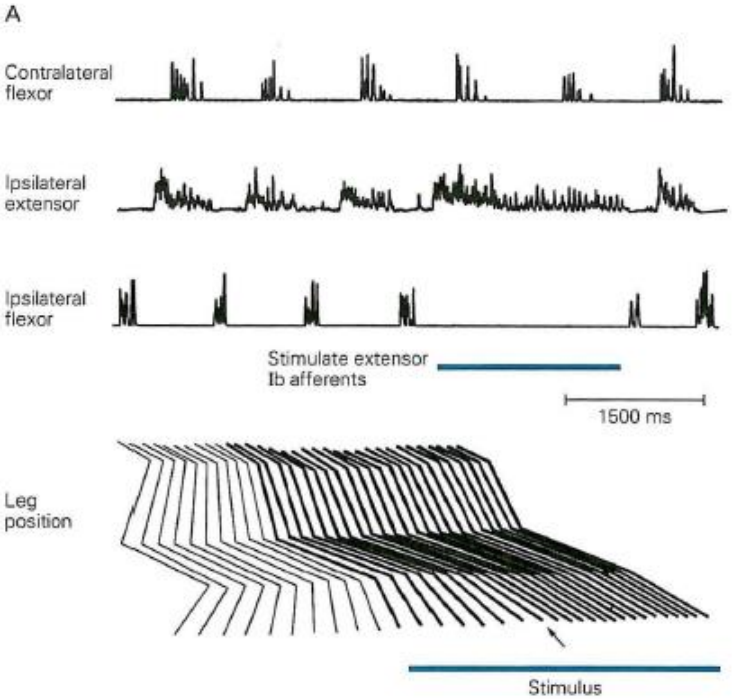
فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- ✓ توصیف دقیق قدم‌زنی
- ✓ سوالات اساسی!
- ✓ شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- ✓ محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

نقش حس‌های عمقی






A
Contralateral flexor
Ipsilateral extensor
Ipsilateral flexor
Stimulate extensor Ib afferents
1500 ms
Leg position
Stimulus
B
Ext Int
Flex Int
Ext MN
Flex MN
1
2
3
Ib fibers
Ia fibers
Extensors
Stance
Swing

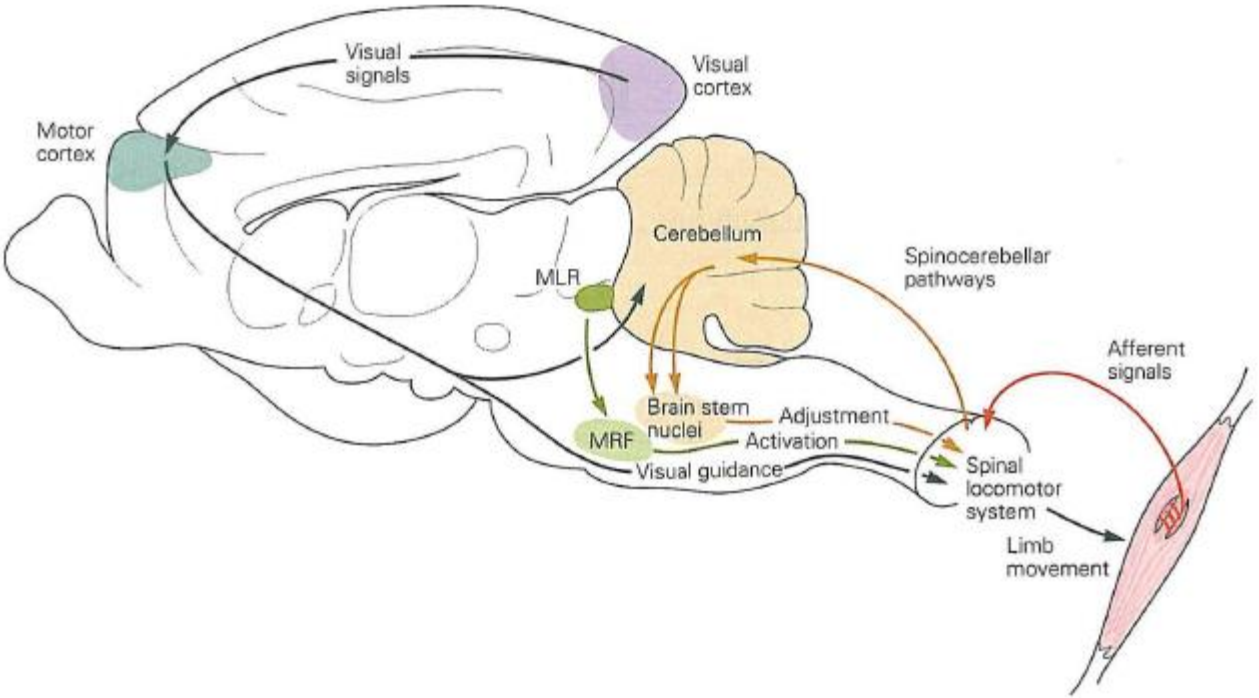
فهرست مطالب:

- ✓ مفاهیم جابجایی (locomotion)
- ✓ توصیف دقیق قدم‌زنی
- ✓ سوالات اساسی!
- ✓ شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- ✓ محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- ✓ نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

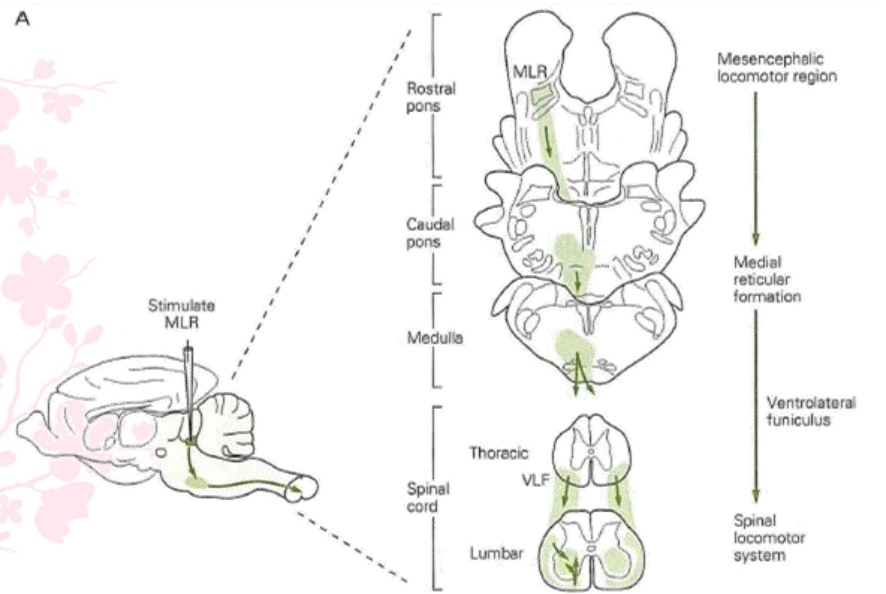
فهرست مطالب:

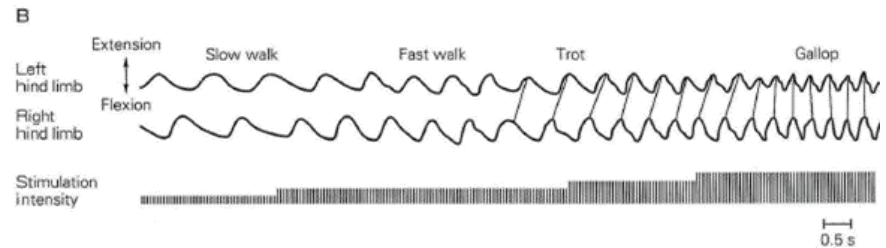
- مفاهیم جابجایی (locomotion)
- توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

نقش مراکز بالاتر CNS

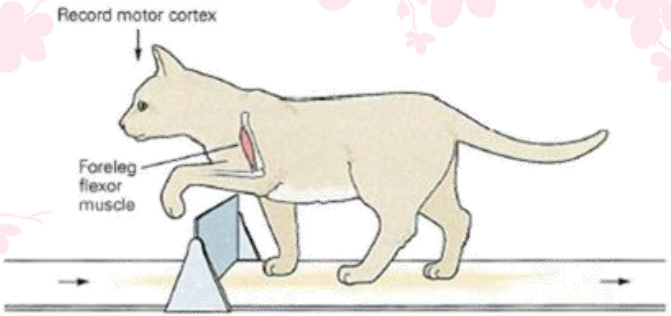


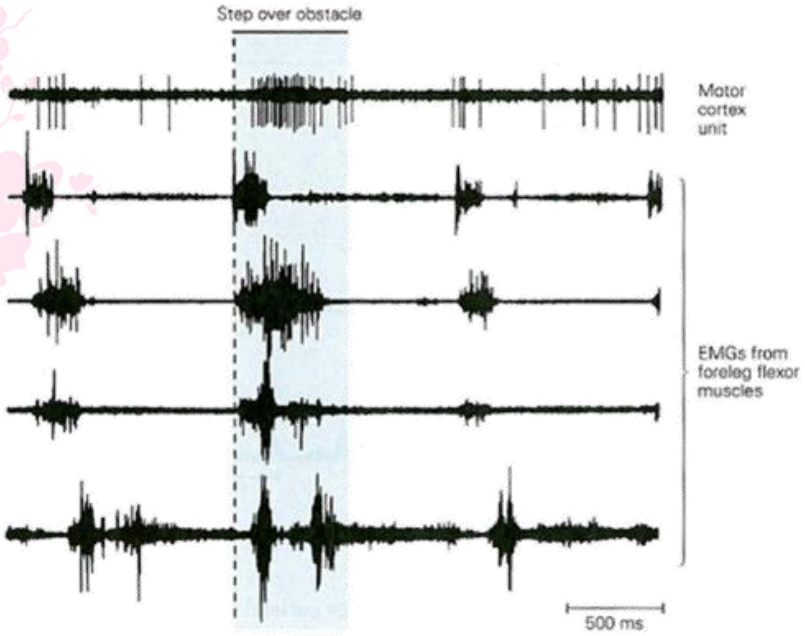
نقش MLR در ساقه مغز

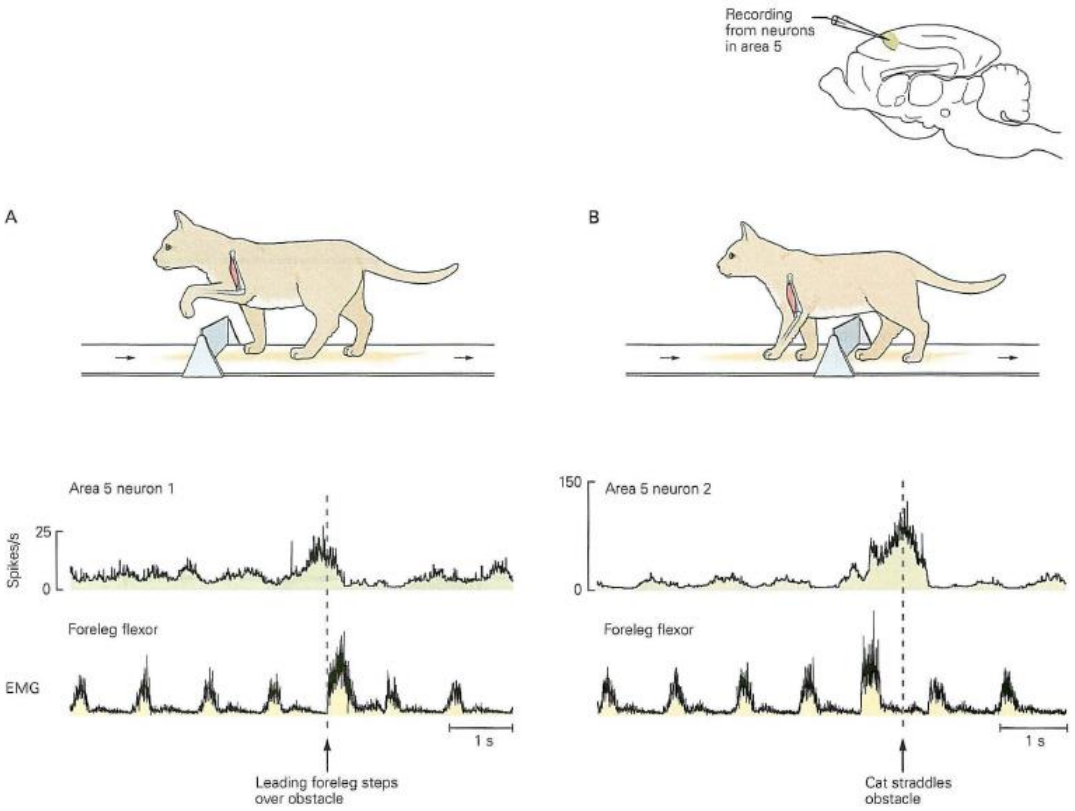




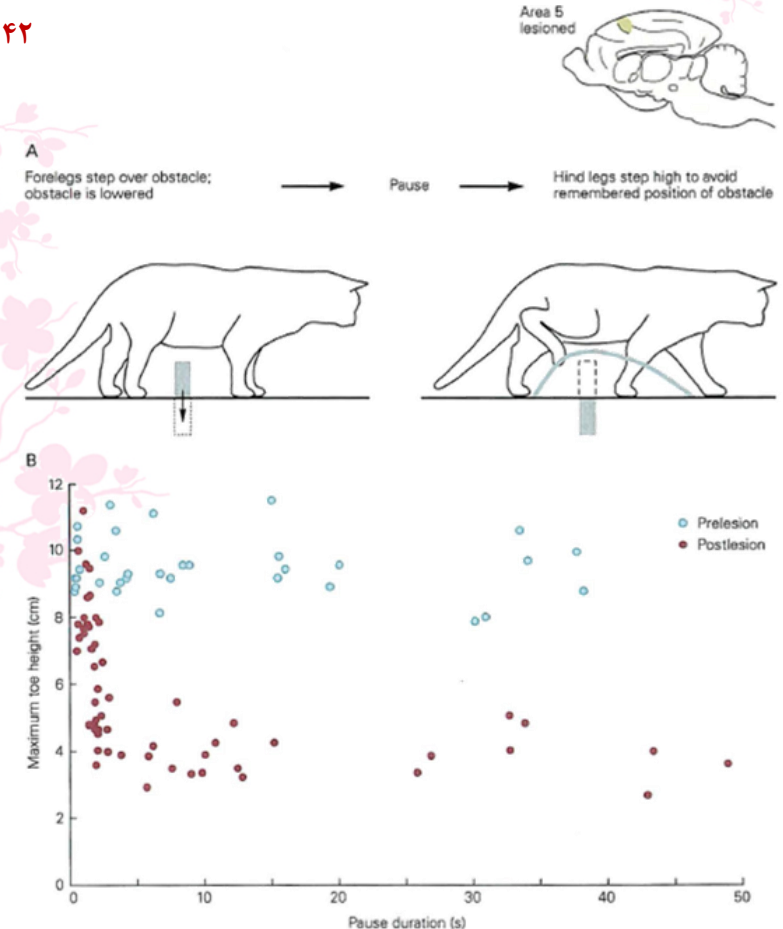
نقش فیدبک بینایی





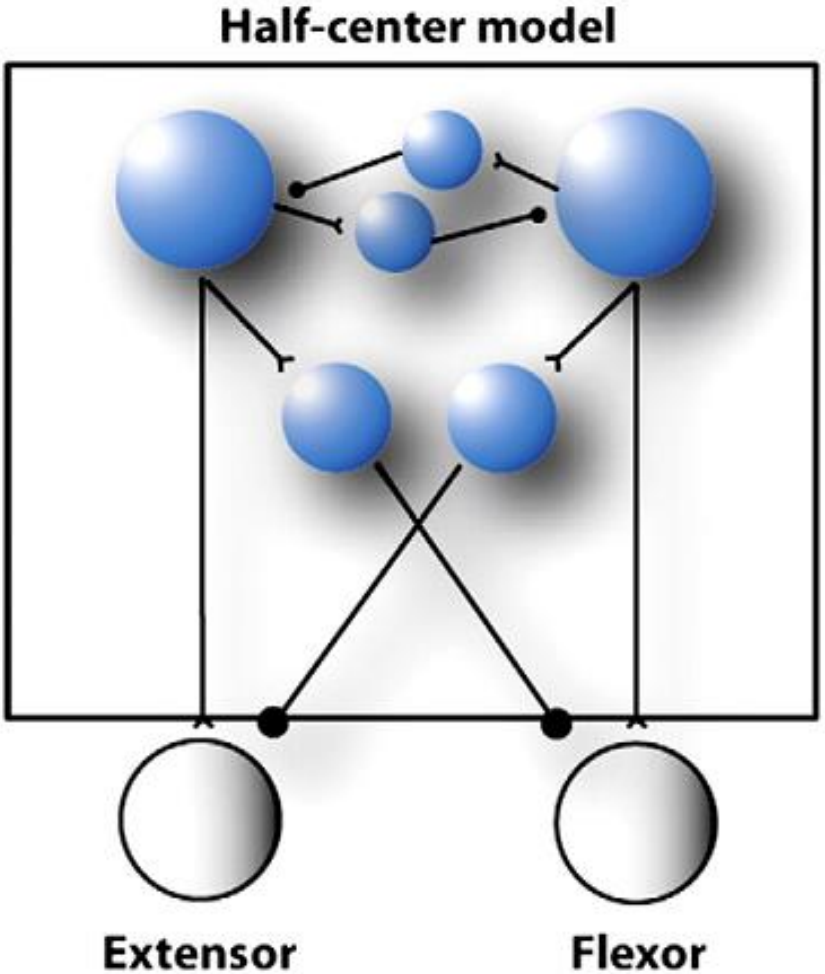

Recording
from neurons
in area 5
A
B
Area 5 neuron 1
Spikes/s
25
0
Foreleg flexor
EMG
1 s
Leading foreleg steps
over obstacle
150
Area 5 neuron 2
0
Foreleg flexor
1 s
Cat straddles
obstacle

نقش حافظه کاری



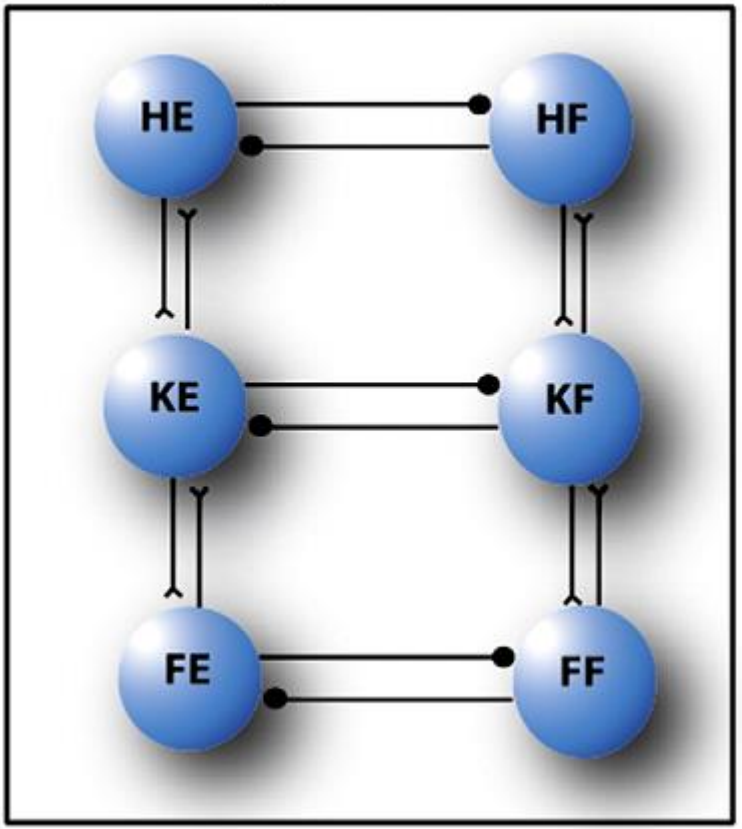
فهرست مطالب:

- مفاهیم جابجایی (locomotion)
- توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

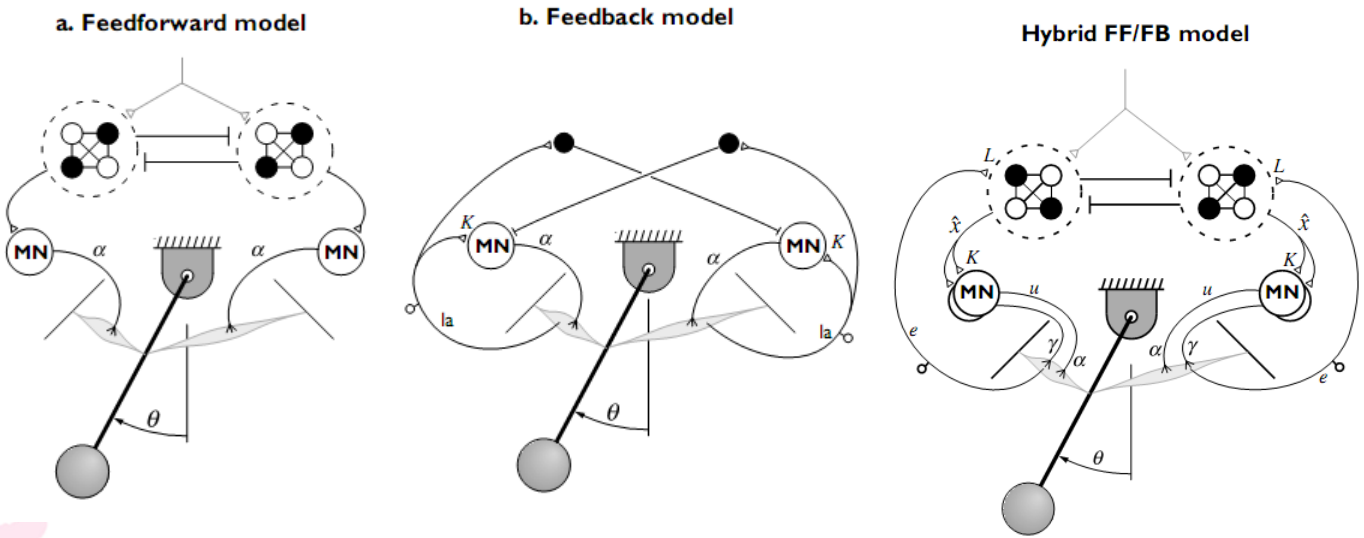


Guertin P.A., The mammalian central pattern generator for locomotion, Brain Research Reviews, No. 62, pp. 45-56, 2009.

Unit burst generator CPG model



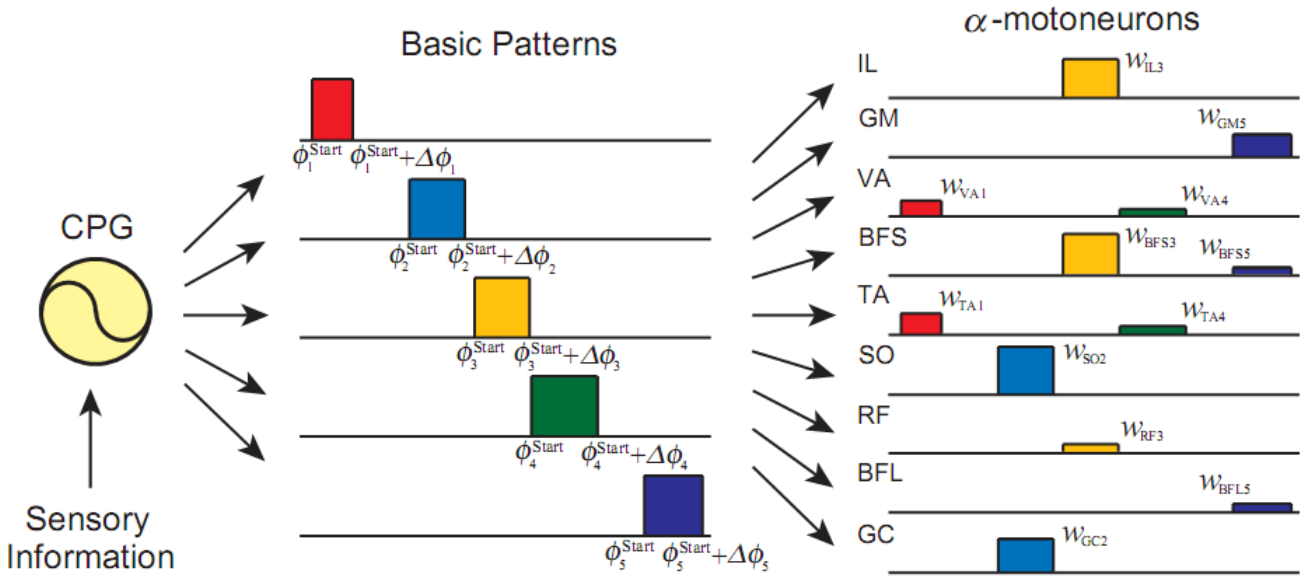
Guertin P.A., The mammalian central pattern generator for locomotion, Brain Research Reviews, No. 62, pp. 45-56, 2009.



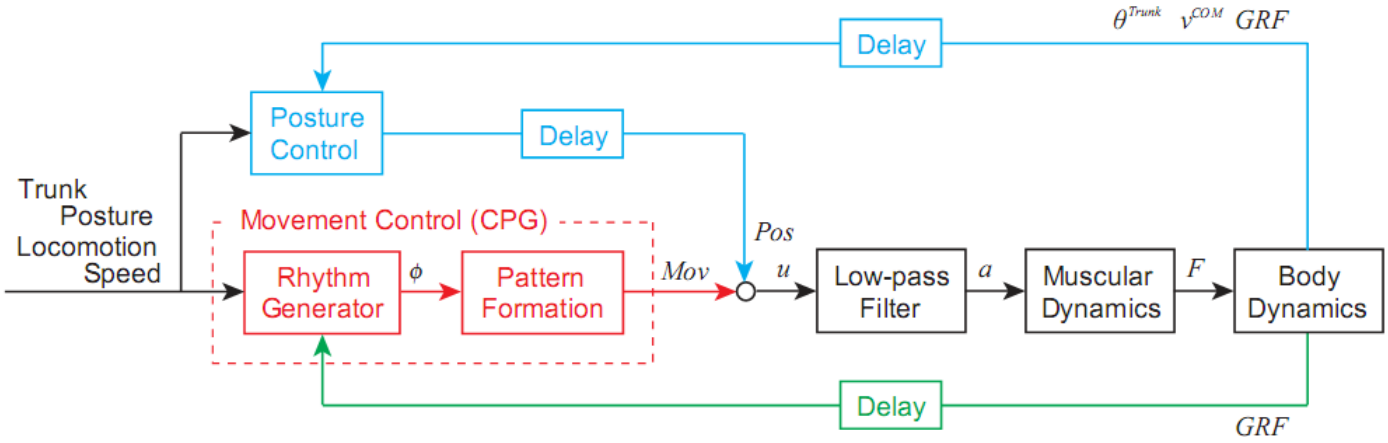
مدل جلوسو، در حضور اغتشاشات غیرمنتظره خوب عمل نمی‌کند.

مدل فیدبک، در صورت نادقیق یا ناکافی بودن اطلاعات حسی، عملکرد ضعیفی دارد.

Kuo A.D., The relative roles of feedforward and feedback in the control of rhythmic movements, Motor Control, No. 6, pp. 129-145, 2002.



Aoi S., Ogihara N., Funato Y. and Tsuchiya K., Evaluating functional roles of phase resetting in generation of adaptive human bipedal walking with a phy siologically-based model of the spinal pattern generator, Biological Cybernetics manuscript, No., pp. -,.


θ^{Trunk} v^{COM} GRF
Delay
Posture Control
Delay
Trunk
Posture
Locomotion
Speed
Movement Control (CPG)
Rhythm Generator
ϕ
Pattern Formation
Mov
Pos
u
Low-pass Filter
a
Muscular Dynamics
F
Body Dynamics
Delay
GRF

فهرست مطالب:

- مفاهیم جابجایی (locomotion)
- توصیف دقیق قدم‌زنی
- سوالات اساسی!
- شرایط آماده‌سازی مختلف برای آزمون‌ها
- محل شکل‌گیری الگوی جابجایی
- نقش حس‌های عمقی
- نقش حس‌های تنی
- نقش مراکز بالاتر CNS
- مدل‌های CPG

الهی...

ما اگر بد کنیم تو را بنده های خوب بسیار است،

تو اگر مدارا نکنی، ما را خدای دیگر کجاست؟