

<姿勢制御と運動学習>

- I. 運動学習
- II. 姿勢制御



北海道大学 大学院保健科学研究院
 機能回復学分野 浅賀 忠義

I. 運動学習

スキーマ理論

Schmidt (1975)

* 規則性の蓄積

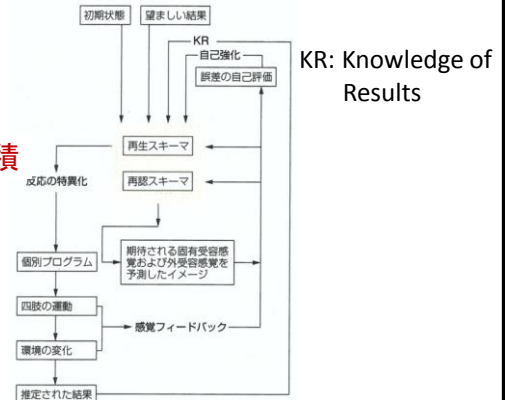
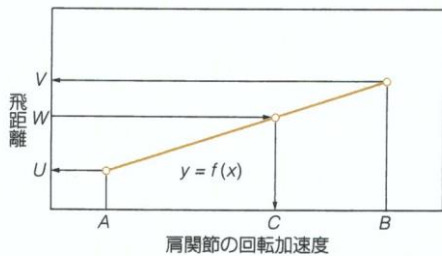


図4 スキーマ理論による運動反応の生成と評価のダイアグラム

一般化された運動プログラム

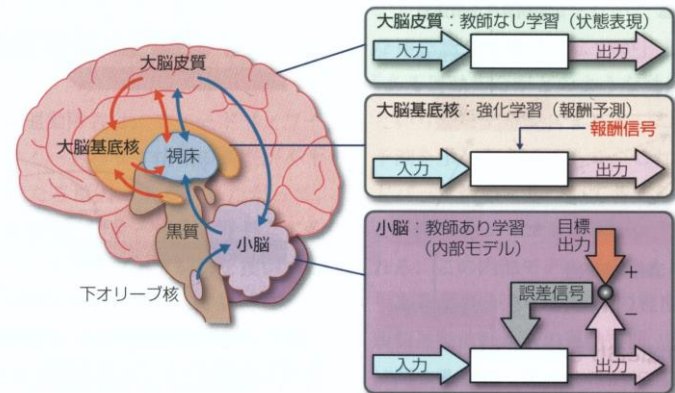
Generalized motor program (GMP)



スキーマによるパラメータの予測

$y = f(x)$ で表される「投球動作」のスキーマ。回転加速度 A に対して飛距離 U 、 B に対して V を得た経験から、未経験の飛距離 W を出すための回転加速度 C を予測することができる。

運動学習の3つの様式



三相説

Fitts and Posner (1967)

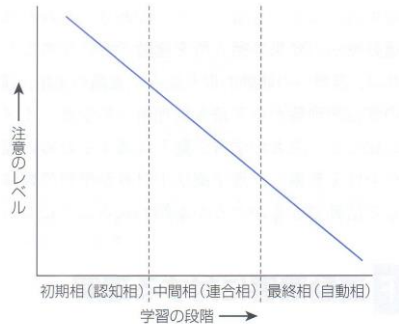
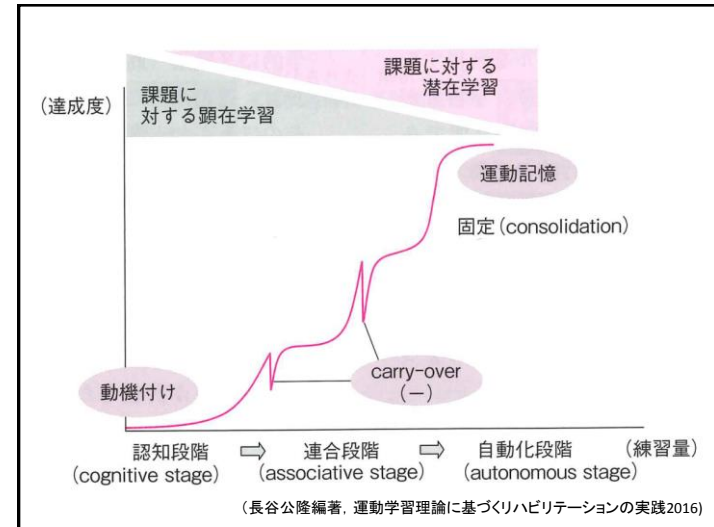


図 25 運動技能の獲得レベルに伴う注意力の変化
〔文献 3 より一部改変〕



(長谷公隆編著, 運動学習理論に基づくリハビリテーションの実践2016)

スクワイアによる長期記憶の分類

宣言的記憶(陳述記憶・顕在記憶)

* ことばで説明することができる記憶

意味記憶(事実の記憶)

エピソード記憶(出来事の記憶)

非宣言的記憶(潜在記憶)

古典的条件付け

手続き記憶(体で覚える技能)

プライミング

<潜在学習を強める方法>

潜在学習の有効性

- ① 巧緻運動を実行した際に、個人内の変動性においてより安定している。
- ② 学習者の知能と関係がない。
- ③ プレッシャーで息が詰まるような状況においても学習効果の脆弱性が弱い。

> dual-task learning (二重課題)

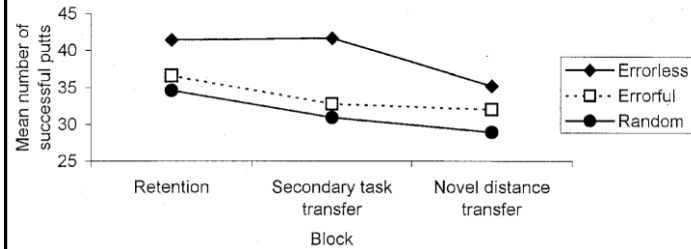
運動学習中に第二の課題に注意を向ける二重課題は、大きなワーキングメモリーの容量を消費する。それ故、運動パフォーマンスに関連する顕在的な知識の獲得を阻害する。顕在学習群ではストレスが加わった時にパフォーマンスが低下する。

> analogy learning (比喩的学習)

運動スキルを学習するための複雑な構造が単純な生体力学的な隠喩に統合されることである。それ故、課題の規則が比喩的に変換され、学習者は顕在的な知識を得ることなくこれらの規則を気づかずに運動スキルを用いることになる。体の動かし方を言葉で指示するときには、比喩的な表現が推奨される。

errorless learning (無誤学習)

エラー頻度が極めて少ない状況から徐々に増加していくように学習環境を設定することによって学習効果を強める方法。



(Maxwell JP, et al, Q J Exp Psychol, 2001)

定常誤差 (constant error: CE)

$$CE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \text{目標値})}{n}$$

x_i : 各試行のデータ
n: 試行数

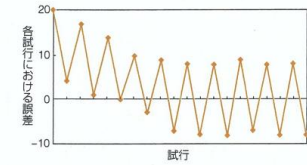


図7 CEのみ低下する例

5試行ごとの試行ブロックで誤差の平均 (CE) を算出すれば、後半の試行では“0”に近づいているが、誤差の標準偏差は減少していない。

変動誤差 (variable error: VE)

$$VE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

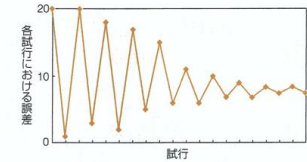
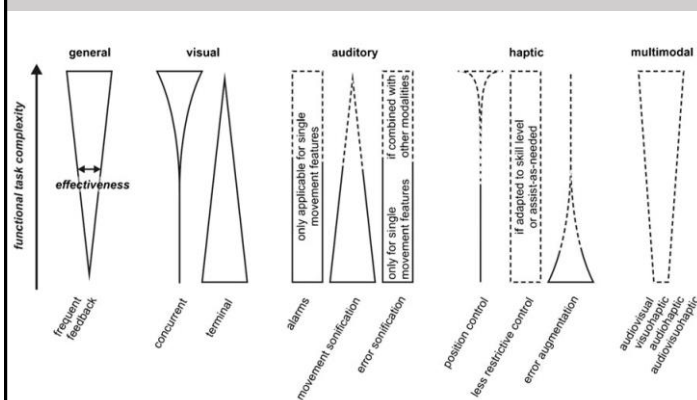


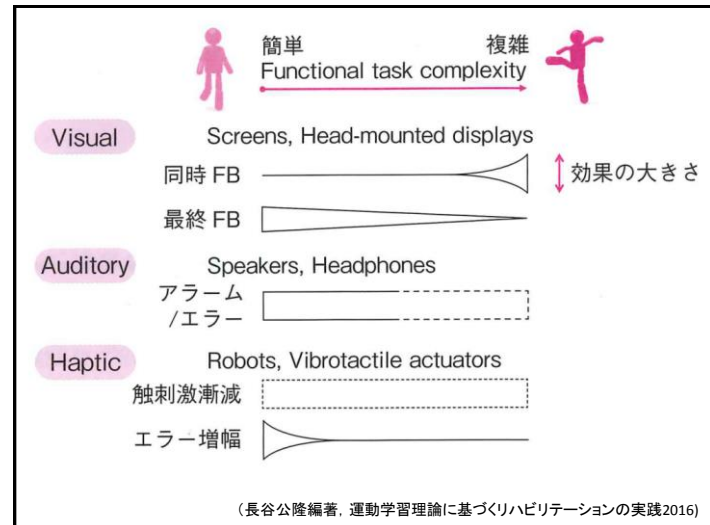
図8 VEのみ低下する例

5試行ごとの試行ブロックで誤差の標準偏差 (VE) を算出すれば、後半の試行では“0”に近づいているが、誤差の平均は減少していない。

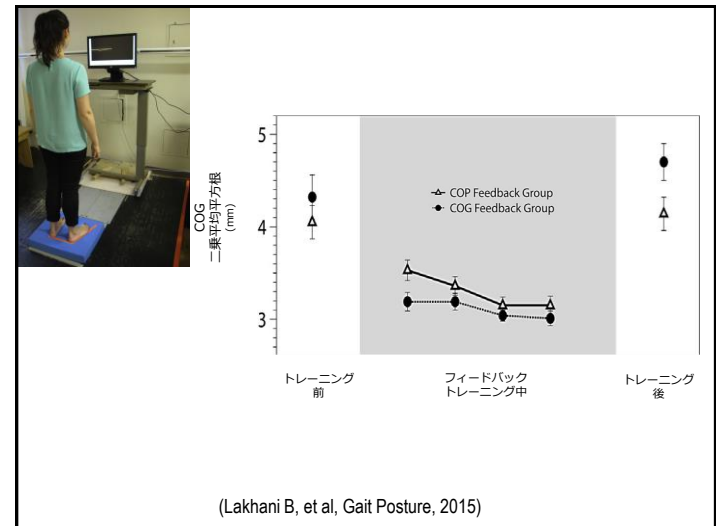
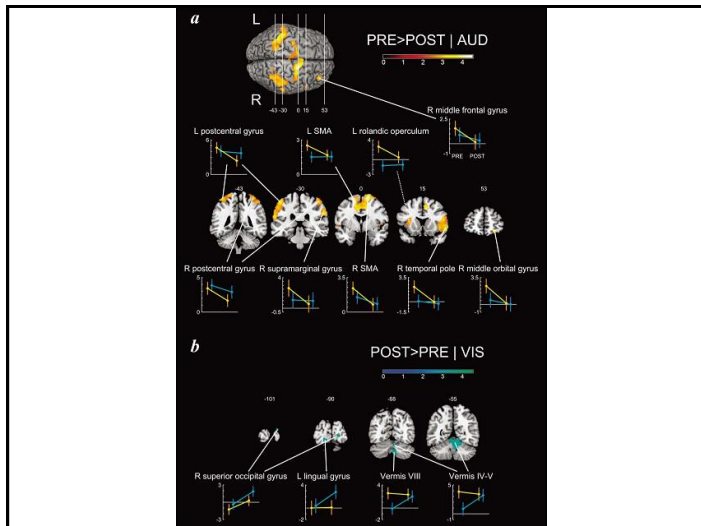
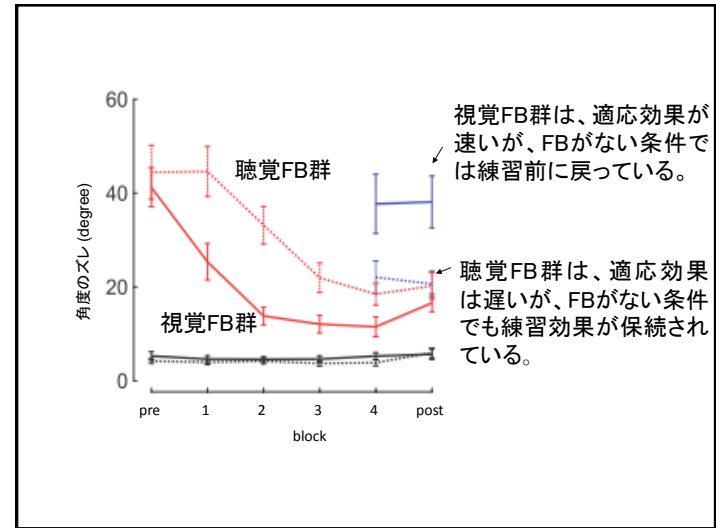
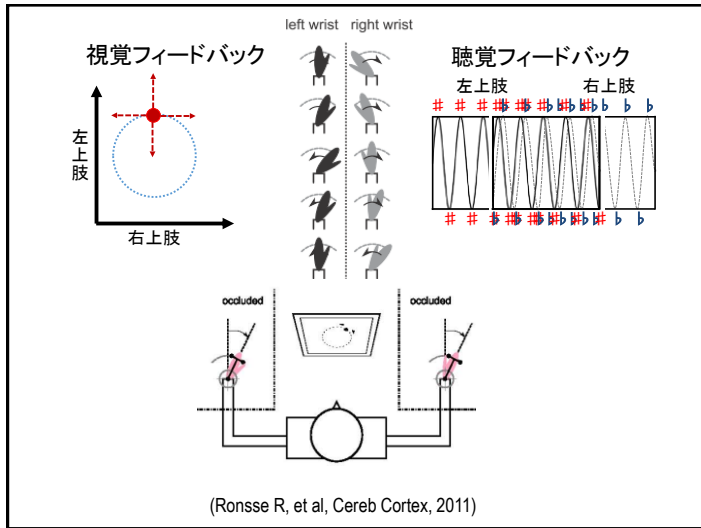
感覚フィードバックの呈示方とその学習効果



(Sigrist R, et al, Psychon Bull Rev, 2013)



(長谷公隆編著, 運動学習理論に基づくリハビリテーションの実践2016)



Contents lists available at ScienceDirect

Gait & Posture

ELSEVIER journal homepage: www.elsevier.com/locate/gaitpost

(Marcos et al., 2013)

Vibrotactile neurofeedback balance training in patients with Parkinson's disease: Reducing the number of falls^{*}


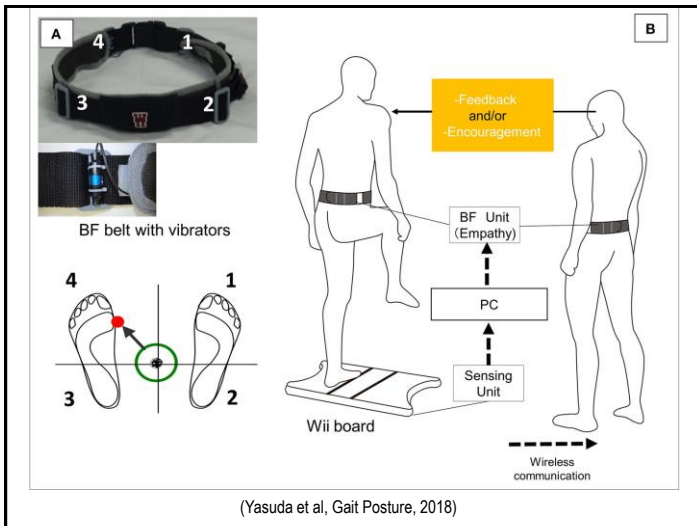
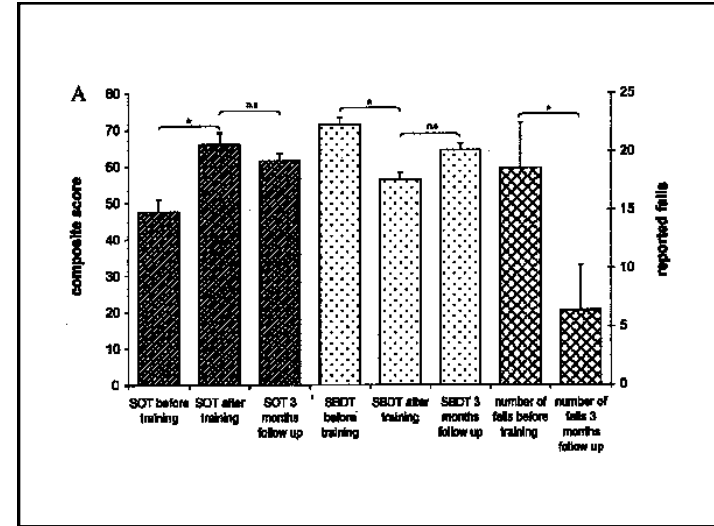


Table 1
Standard balance deficit test (SBDT) consisted of the following tasks.

Tasks

- Standing on two legs with eyes open
- Standing on two legs with eyes closed
- Standing on one leg with eyes open
- Standing on one leg with eyes closed
- Eight: tandem steps with eyes open
- Standing on two legs with eyes open on a foam support surface
- Standing on two legs with eyes closed on a foam support surface
- Standing on one leg on a foam support surface
- Eight: tandem steps with eyes open on a foam support surface
- Walking 3m with eyes open
- Walking 3m with eyes open while rotating head
- Walking 3m with eyes open while vertically pitching the head in rhythm
- Walking 3m forward with eyes closed
- Walking over four barriers



Neurobiology of Aging 35 (2014) 232–239

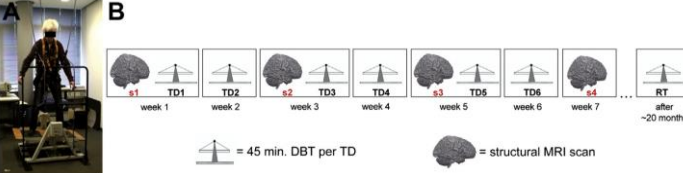
Contents lists available at ScienceDirect

Neurobiology of Aging

ELSEVIER journal homepage: www.elsevier.com/locate/neuaging

Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training

B

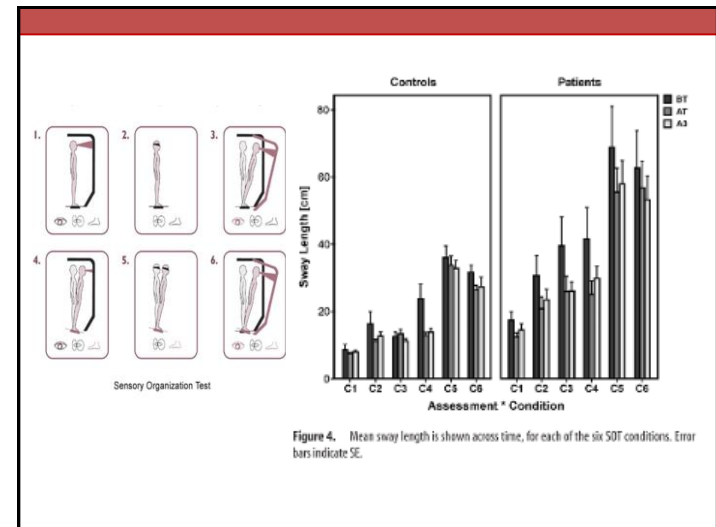
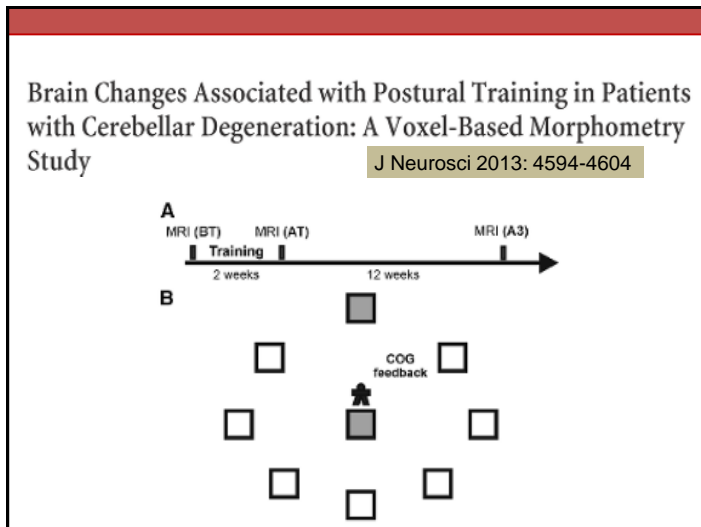
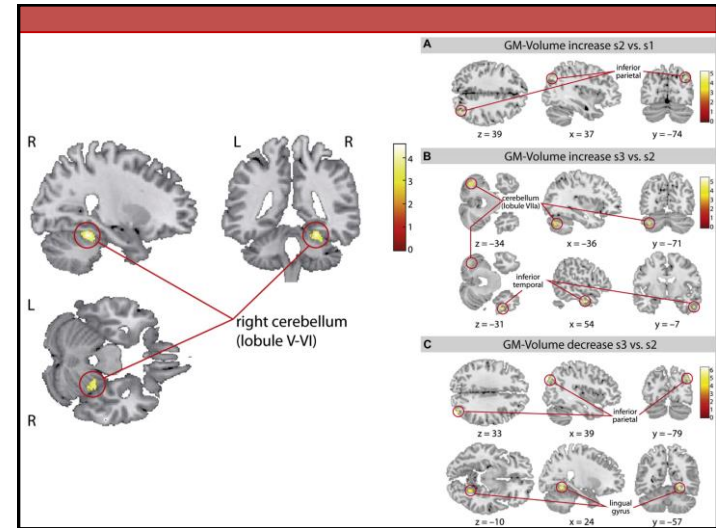
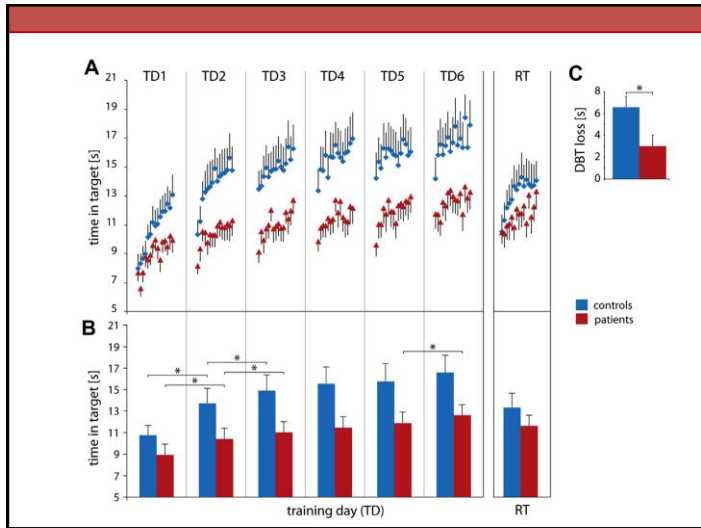


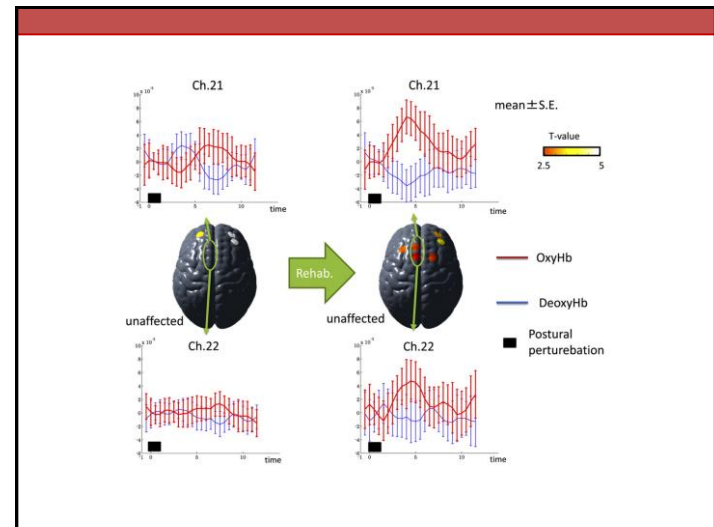
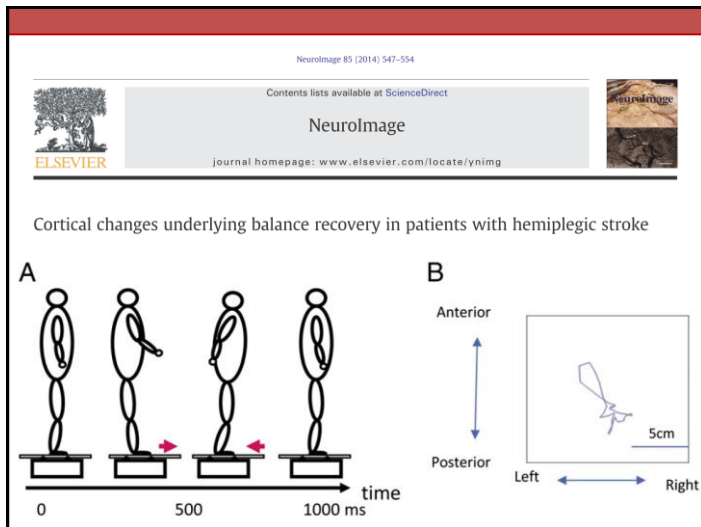
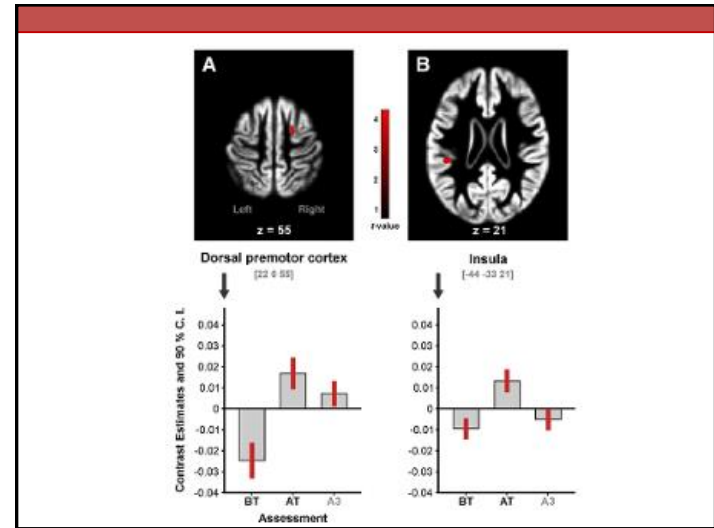
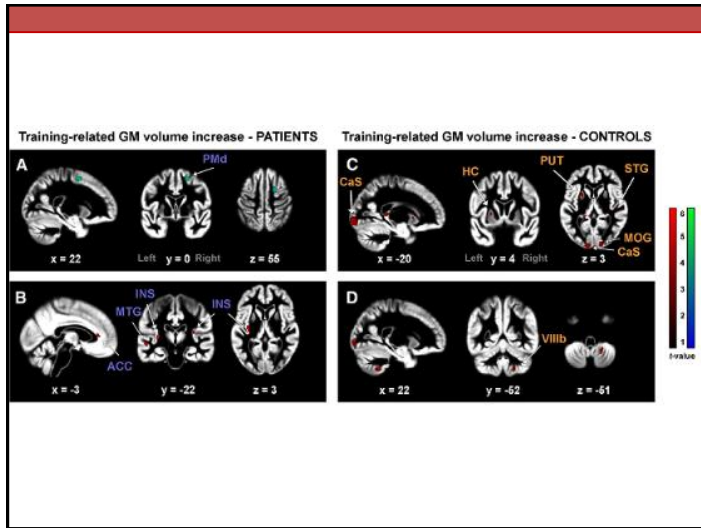
week 1 week 2 week 3 week 4 week 5 week 6 week 7 after ~20 months

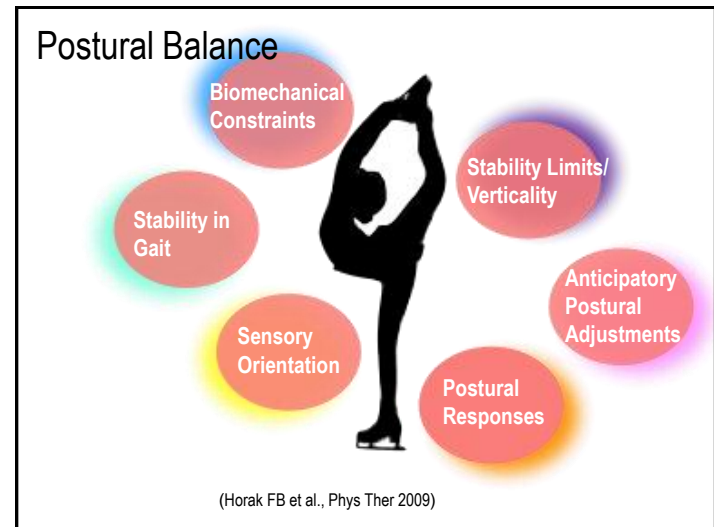
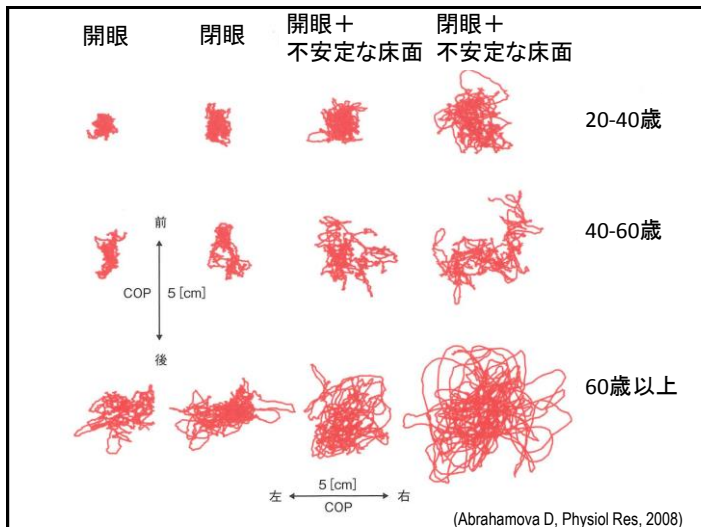
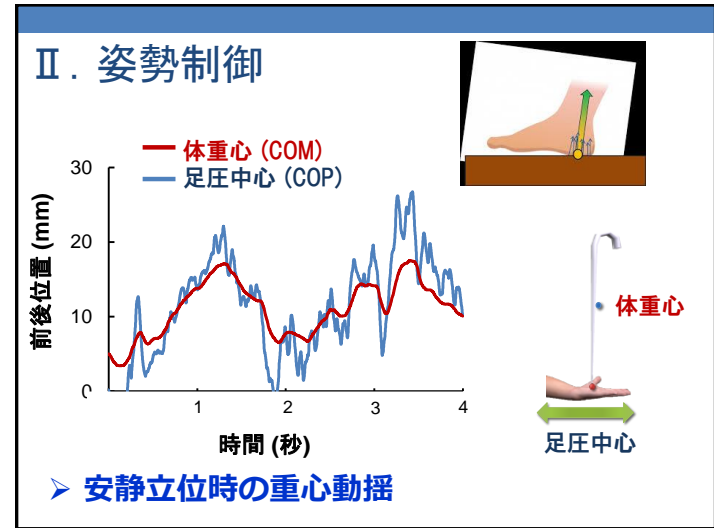
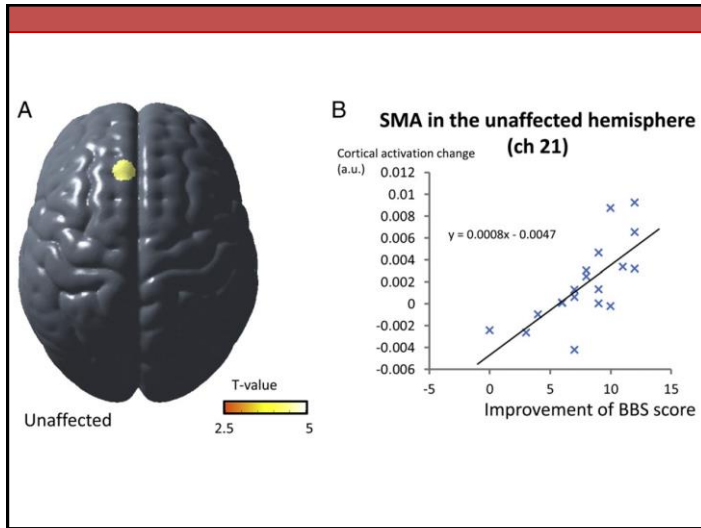
RT

= 45 min. DBT per TD

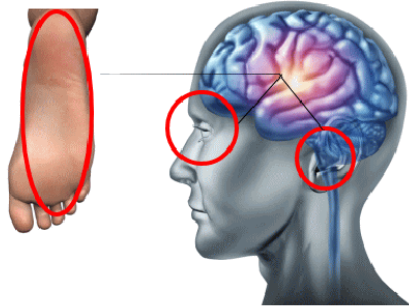
= structural MRI scan







姿勢制御にかかわる感覚入力

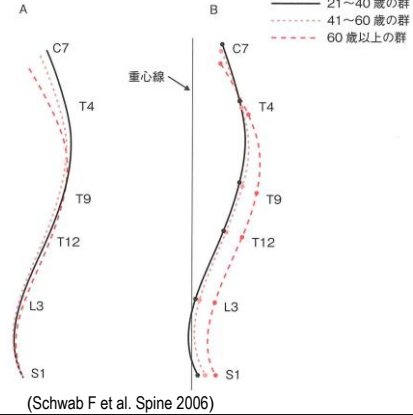


足裏の運動感覚(固有感覚)、視覚、耳の奥にある平衡感覚からの情報をまとめて身の回りの環境の変化に対応している。

*** 加齢に伴い、視覚への依存が強まる。**

加齢による姿勢の変化

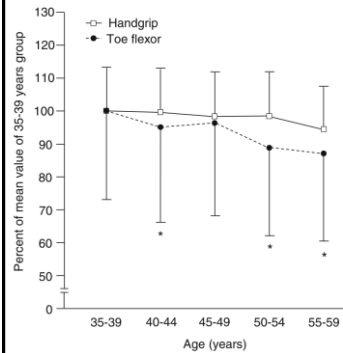
上部胸椎の前屈



膝屈曲

(Schwab F et al. Spine 2006)

<足趾の運動>



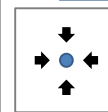
(Suwa et al, J Foot Ankle Res, 2017)



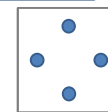
姿勢バランス

□ 支持基底面 ● 身体の質量中心 (Center of Mass: COM)

静的バランス



レベル1



レベル2

動的バランス

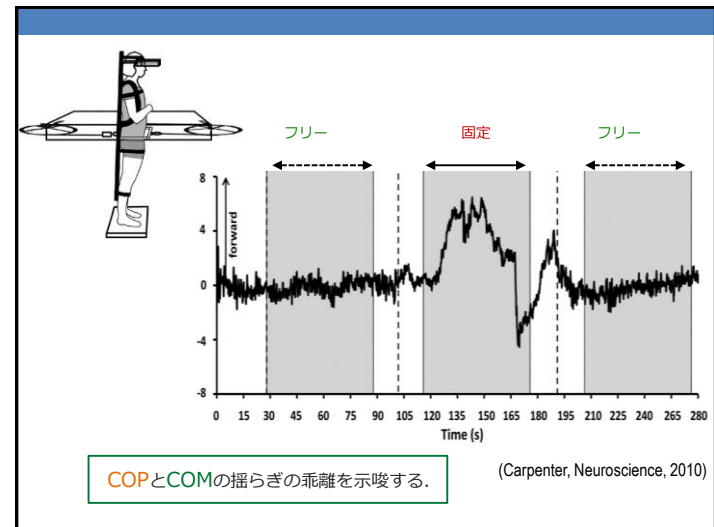
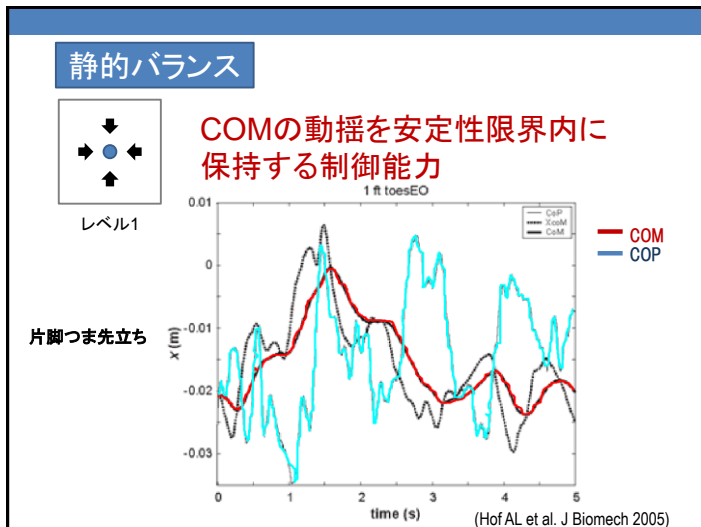
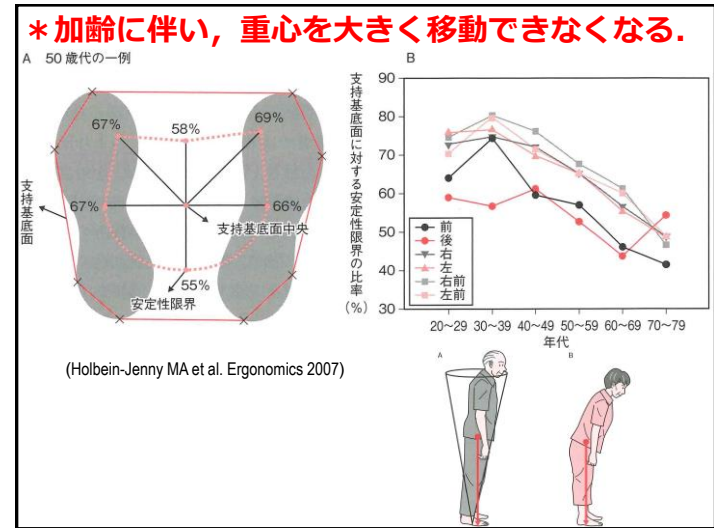
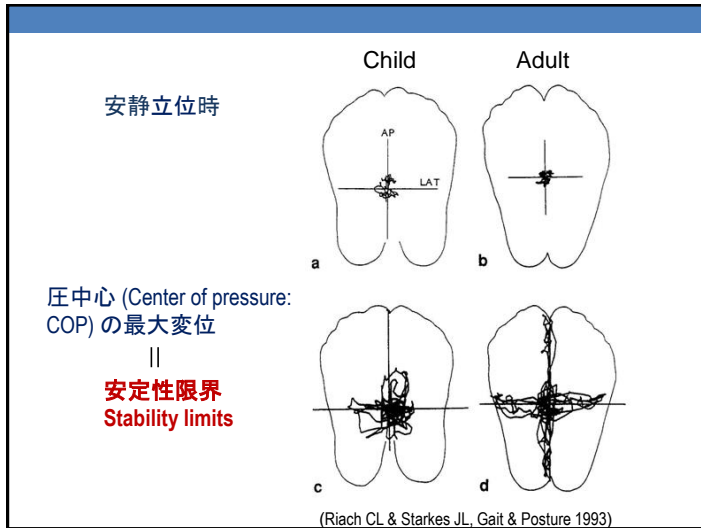


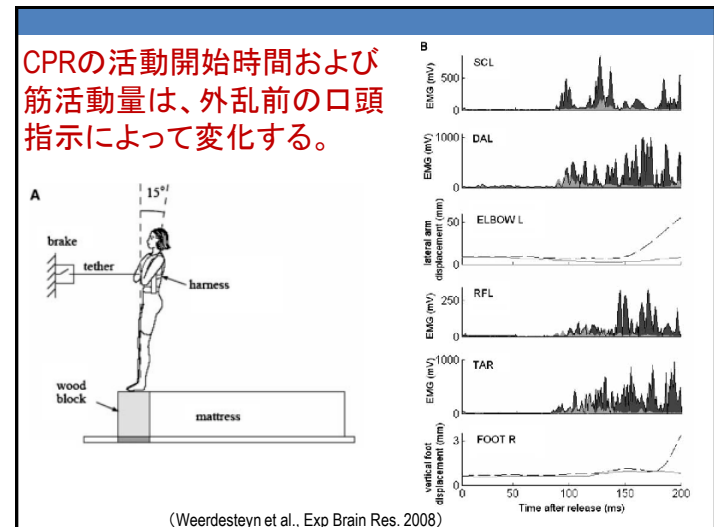
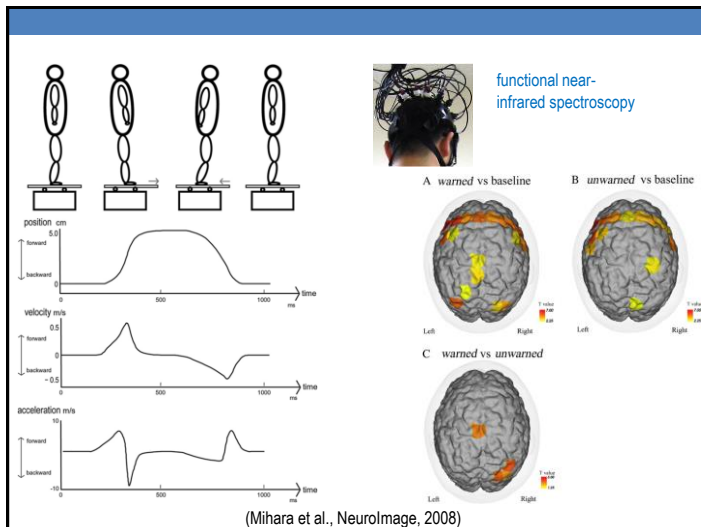
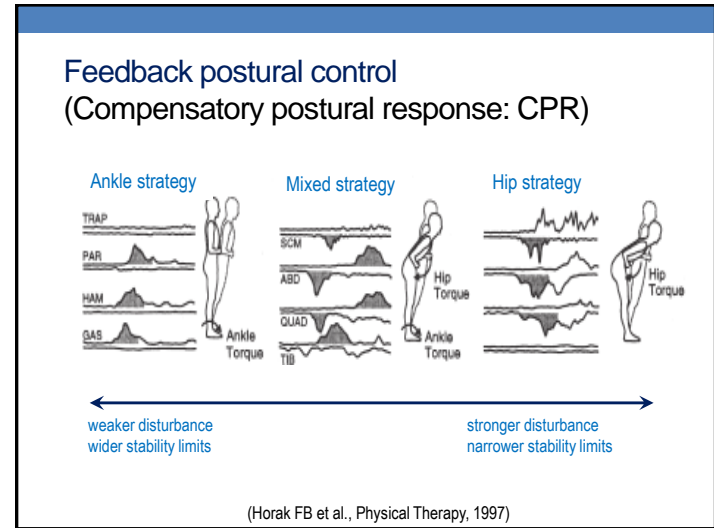
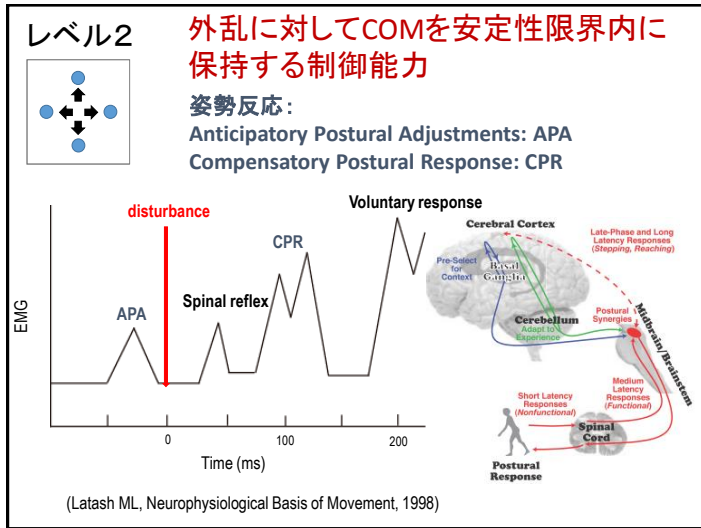
レベル3

レベル4

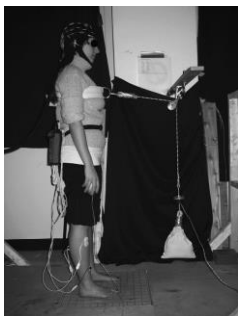
COMの随意的な移動を伴わない

COMの随意的な移動を伴う



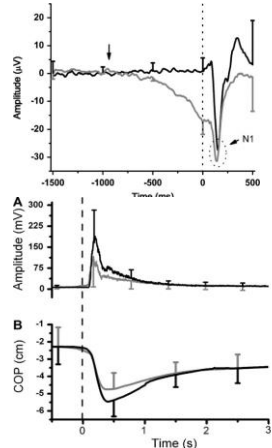


外乱予測によって、脳活動および筋活動は変化する。

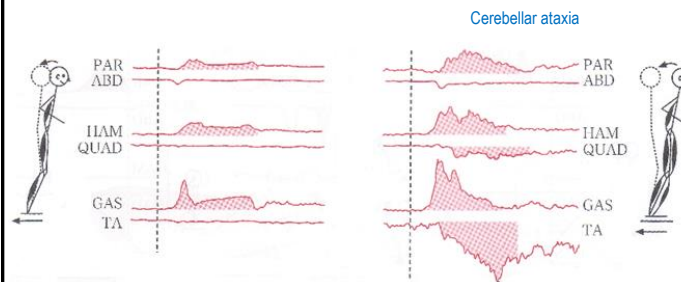


(Mochizuki G et al., Clin Neurophysiol, 2008)

"central set": the setting of CNS state



姿勢不安定によって同時収縮パターンが増加する。

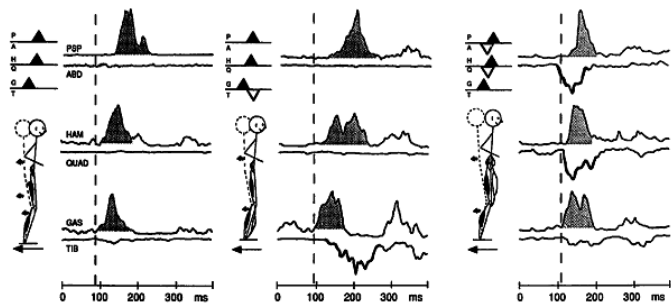


(Horak and Diener, J Neurophysiol, 1994)

A. Young Subject

B. Elderly Subject

C. Parkinsonian Subject

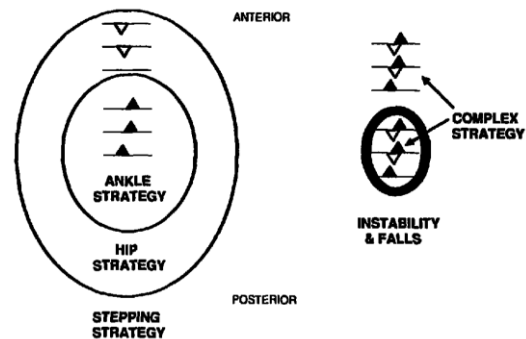


(Horak et al., J Neuro Sci, 1992)

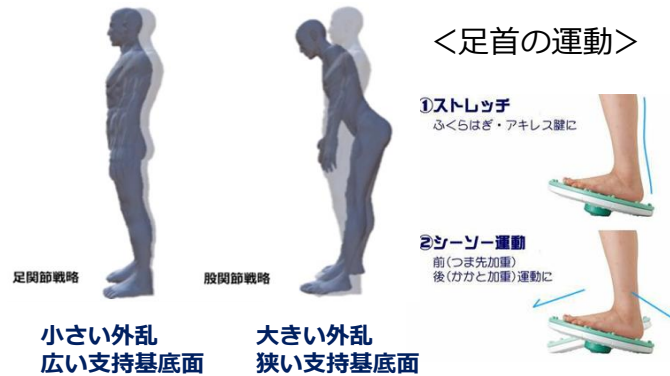
Limits of Stability

A. Young Control

B. Parkinsonian Patient

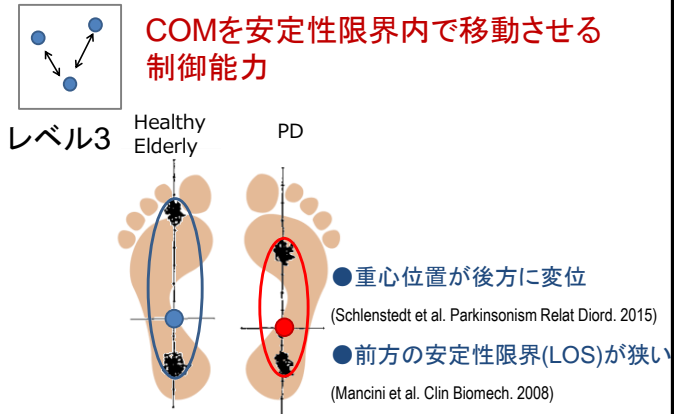


外乱に対する姿勢戦略



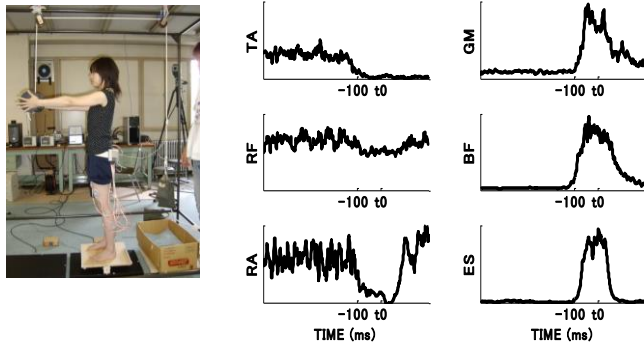
*** 加齢に伴い、股関節戦略が優位になる。**

動的バランス

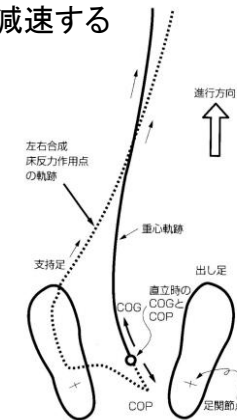


Feed-forward postural control (Anticipatory Postural Adjustments: APA)

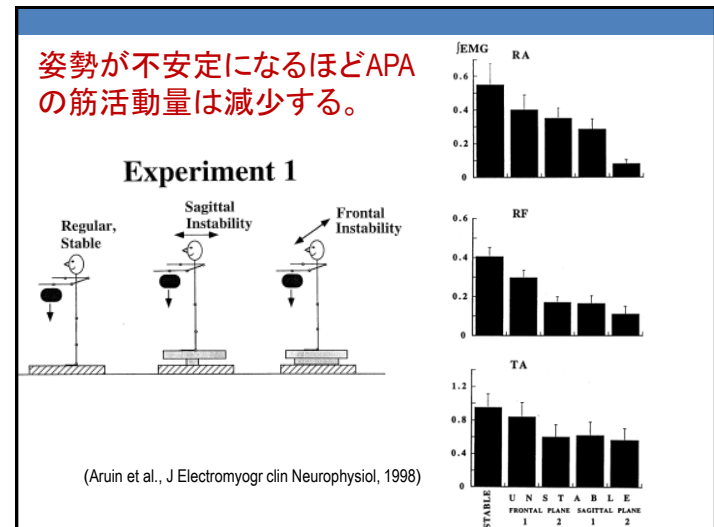
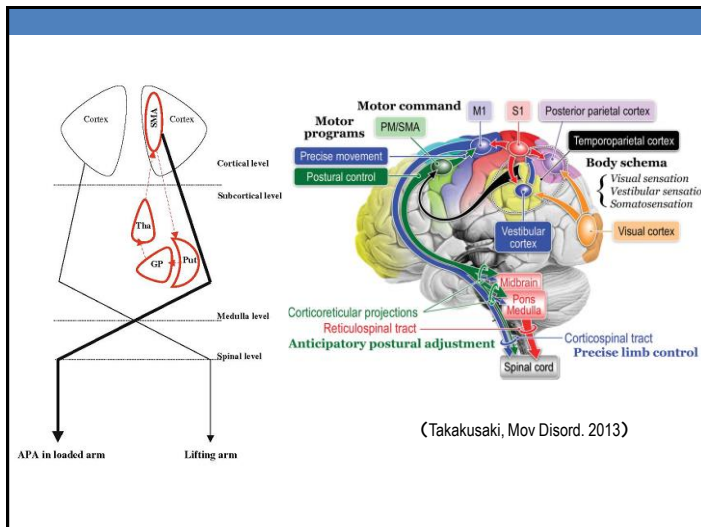
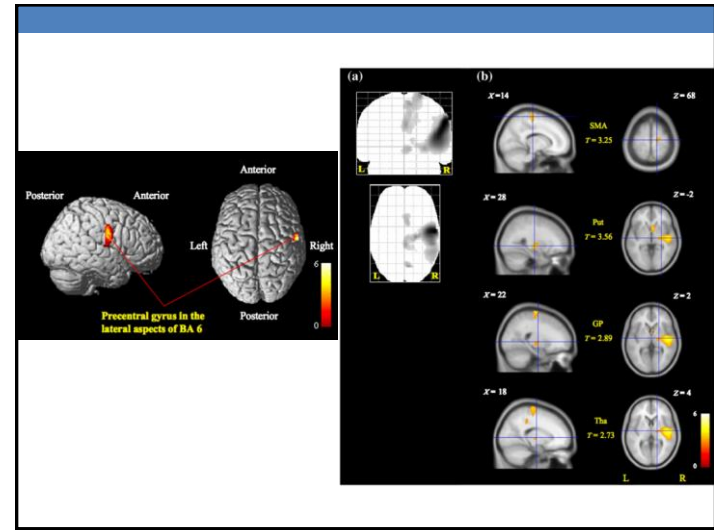
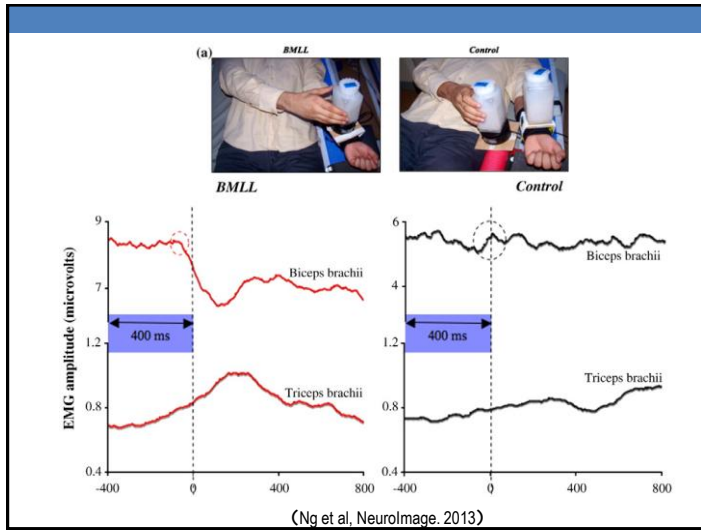
① 予測される姿勢動揺を減弱する



② 重心を加速・減速する



*** 加齢に伴い、予測的姿勢調節が小さくなる。**



姿勢が十分に安定している場合
は、APAは観察されない。

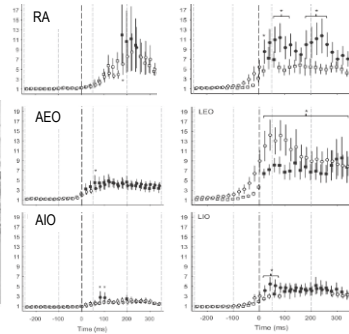
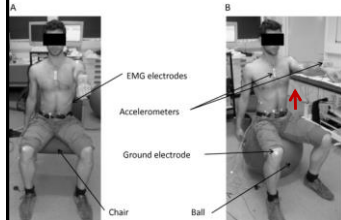
□: Chair
○: Ball

Lifting one hand

Lifting one leg

Sitting on a Chair

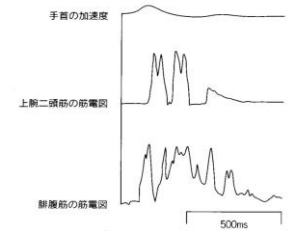
Sitting on a Ball



(Weaver et al., Gait & posture. 2012)

“natural APA” (Kazennikov et I. EBR 2008)

幼児期から既に備わっている予測的姿勢制御



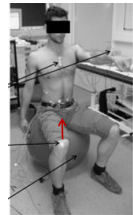
1歳9カ月の幼児が上肢運動を行った場合の三角筋に対する前腹筋の先行活動 (Forsberg & Nashner”)

“learned APA”

新たに学習することによって出現する予測的姿勢制御

予測的姿勢調節を強める運動

→ 安定過ぎず, 不安定過ぎない



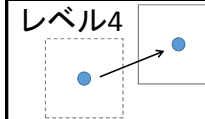
前後ステップ



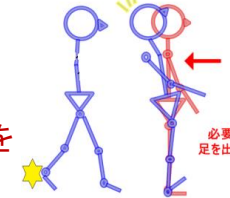
サイドステップ



連続運動が効果的



支持基底面を変化させて姿勢を安定させる制御能力



悪い着地姿勢
複数回ステップ
になり易い姿勢

良い着地姿勢
シングルステップ
の姿勢

➤ ステッピング反応

・加齢に伴い、ステップ長が短く、ステップ高さは低く、ステップ速度は遅くなる。

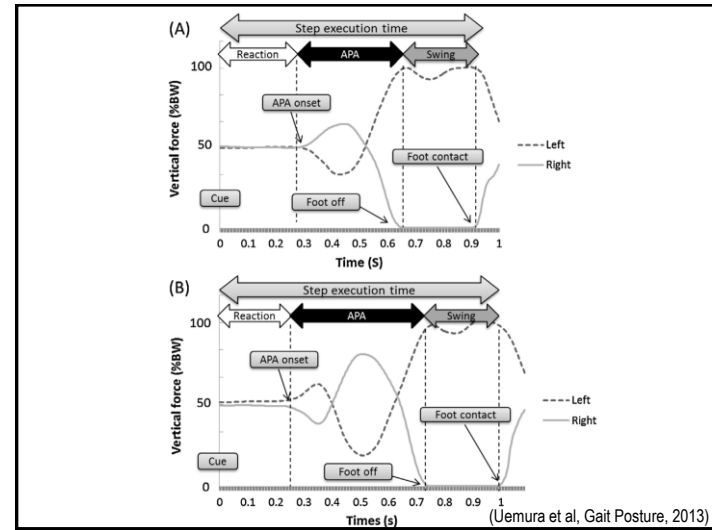
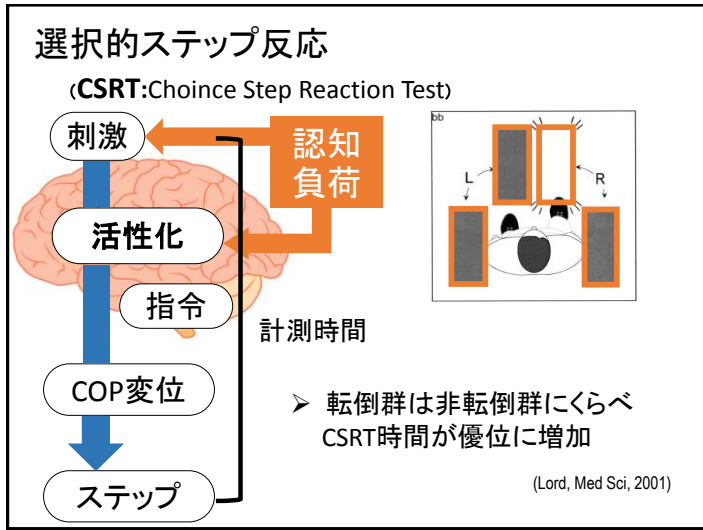


体幹前傾 ↑
一歩長 ↓



体幹前傾 ↓
一歩長 ↑

➔ 複数回ステップが多くなる。



様々なタイプの姿勢障害

国立障害者リハビリテーションセンター 研究所 運動機能系障害研究部
河島 則天

脊髄小脳変性症	脊髄不全損傷	胸椎圧迫骨折	純粋無動症
小脳失調由来の早い揺れ	顕著な後方重心 立位時の重心動揺	胸腰髄の可動性減少 重心が後方で停滞	重心が前方で停滞 上肢帯・体幹の過緊張
	下肢支持性の低下 + 痛性麻痺の回避		

大 小

重心動揺量

