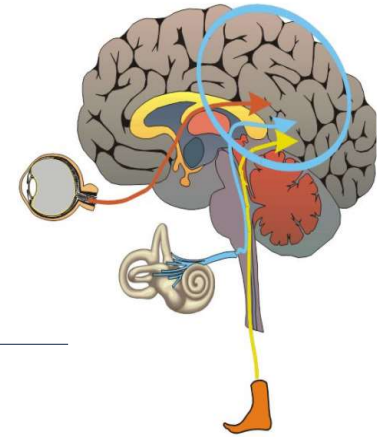




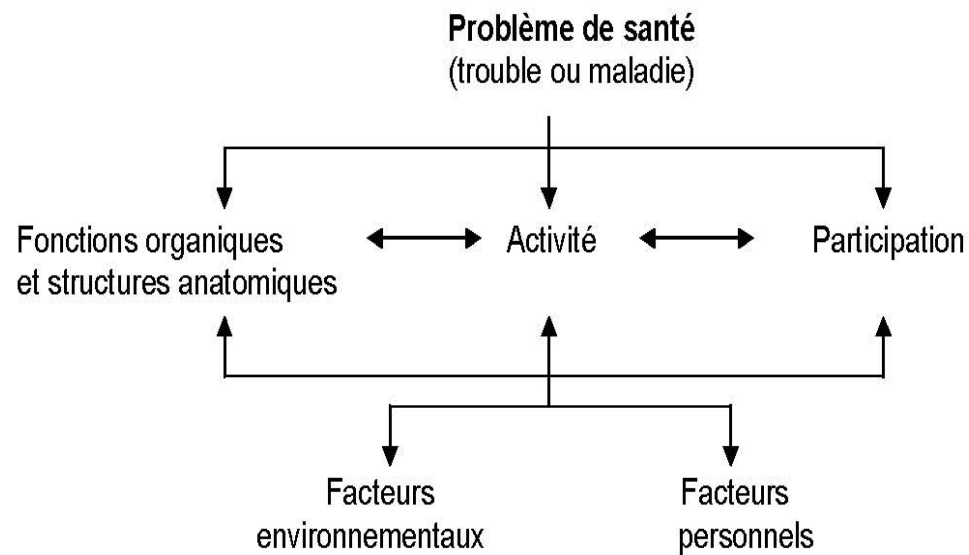
Physiopatho et analyse sémiologique des troubles de l'équilibre (mobilité)

Prof Dominic Pérennou

Department of NeuroRehabilitation and Lab CNRS Neurocognition

Grenoble-Alpes University Hospital and University Grenoble-Alpes, France

Classification internationale du fonctionnement et du Handicap: Domaine de la mobilité



d4 Mobility

Changing and maintaining body position **d410-d429**

Carrying, moving and handling objects **d430-d449**

Walking and moving **d450-d469**

Moving around using transportation **d470-d489**

Mobility, other specified **d498**

Mobility, unspecified **d499**

Interaction avec
environnement



Approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche

Mobilité

Verticalisation (posture érigée)

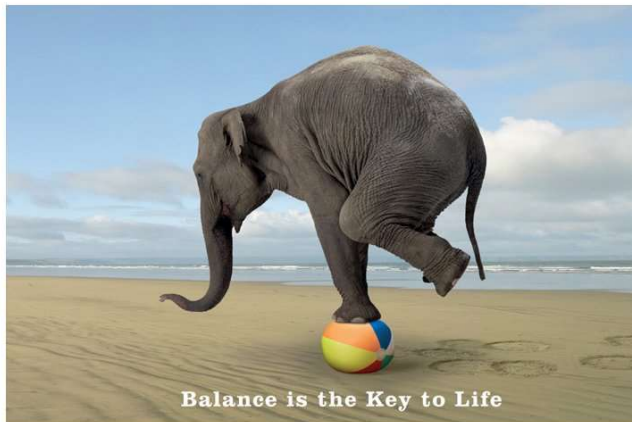
Orientation verticale

Stabilisation

Propulsion

Navigation

L'équilibre est assuré lorsque



La projection au sol du centre de masse peut être maintenue à l'intérieur de la surface d'appui.

Le contrôle de l'équilibre prend en compte



- **Contraintes internes:**

 - masses et géométries corporelles**

- **Contraintes externes:**

 - gravité**

 - stabilité des appuis sur un support**

 - perturbations éventuelles**

Prérequis

Information efférente

Muscles posturaux

Motricité holocinéétique

Innervation ipsi et contralatérale du tronc

Anatomie et physiologie des capteurs et voies afférentes

Vision : périphérique

Vestibulaire : otoliths, canaux semi-circulaires **Proprioception : Ia, Ib, II**

Haptique

Graviception somesthésique

Interface sensoriel-moteur

**Comparaison copie afférente- mouvement effectué
pour correction éventuelle (cervelet)**

Notion de modèle interne: synthèse sensorielle, résolution de conflits, transformation
vecteur sensoriel en moteur, prédiction



Le contrôle de l'équilibre sert à
Fournir une base stabilisée à l'action

Le contrôle de la posture participe à
L'élaboration des représentations spatiales

Approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche

Mobilité

Verticalisation

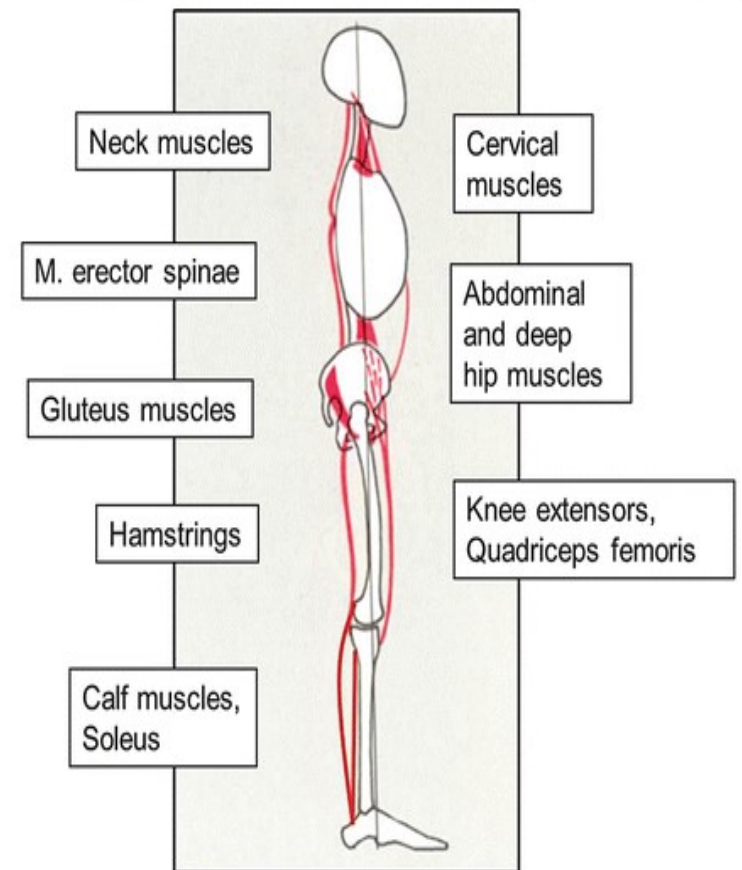
Orientation

Stabilisation

Propulsion

Navigation

Anti-Gravity-Muscles of the Human Body (Postural Muscles)



Posture érigée chez l'homme : rôle majeur du tonus

Tonus des muscles extenseurs, artisan principal de la posture érigée

Régulation du tonus (tronc cérébral et moelle épinière)

-- > mécanismes élémentaires de contrôle postural

Contrôle de l'équilibre debout statique, chez le sujet sain en conditions clémentes

Tonus anormal → trouble de verticalisation



Hypotonie

Effet indépendant sur l'équilibre si importante

Hypertonie spastique

Peu d'effet indépendant pour équilibre statique, conditions clémentes
Impact sur équilibre dynamique avec besoin de coordination posturale
Membres supérieur et inférieur

Hypertonie extrapyramidale

Les troubles de l'équilibre chez les parkinsoniens ont une autre origine

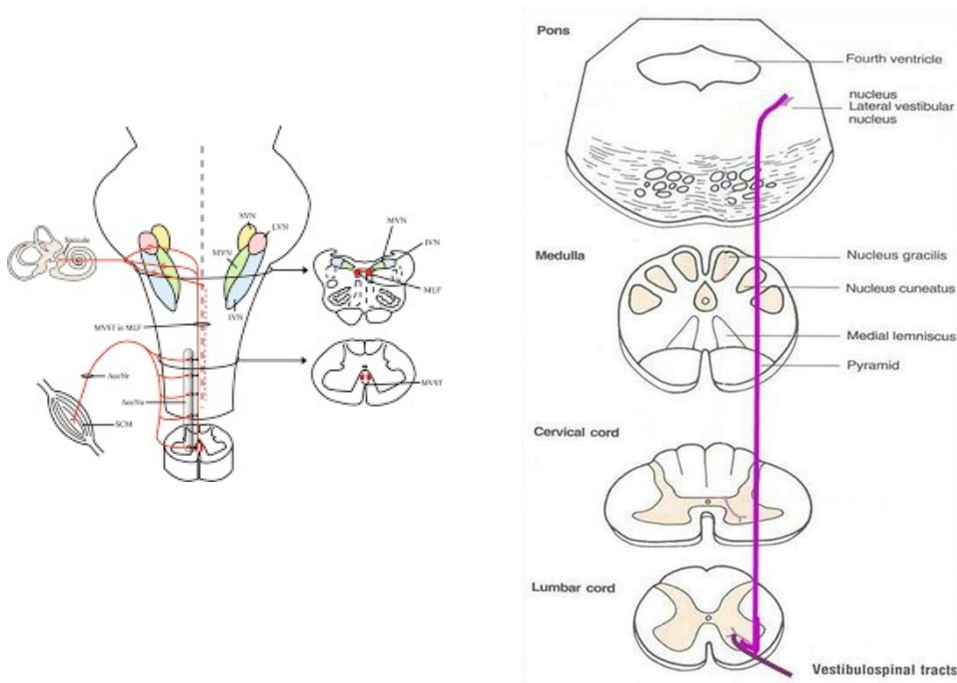
Pb (excitation) sur voies vestibulo-spinales → déficit d'orientation verticale

Symétrique bilatérale : rétropulsion

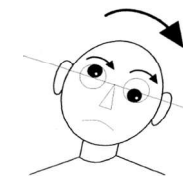
Asymétrie Droite/Gauche : latéropulsion dont le modèle est la latéropulsion dans le syndrome de Wallenberg par atteinte des noyaux vestibulaires dans la fossette latérale du bulbe

Pb: exploration difficile des voies vestibulo-spinales

Hypertonie unilatérale des muscles extenseurs par excitation/désinhibition voie vestibulo-spinales droite ou gauche (syndrome de wallenberg)



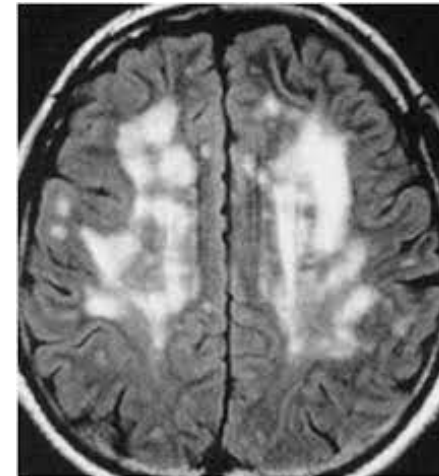
Latéropulsion ipsilésionnelle qui peut être associée (Wallenberg) à des troubles vestibulo-oculaires



Hypertonie bilatérale des muscles extenseurs par excitation/désinhibition voies vestibulo-spinales (lésion encéphaliques diffuses/bilatérales)



rétopulsion

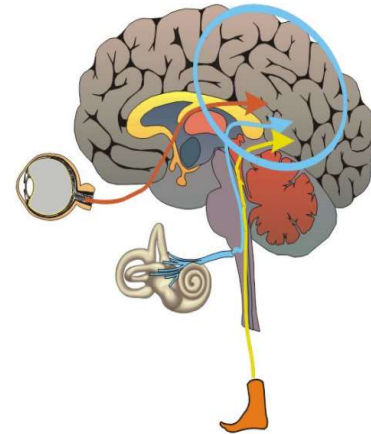


Leuco-encephalopathie
stade 3 Fazekas

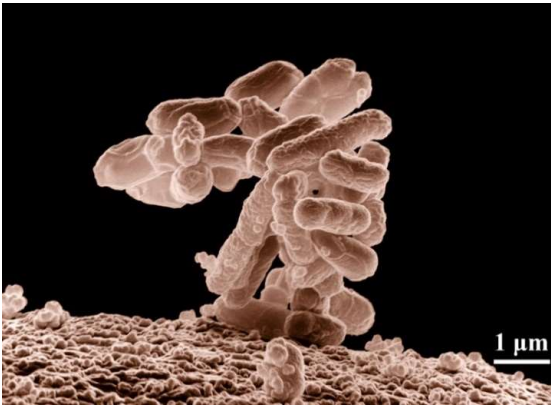
Nouvelles approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche en pathologie neurologique

Mobilité

Verticalisation
Orientation verticale
Stabilisation
Propulsion
Navigation



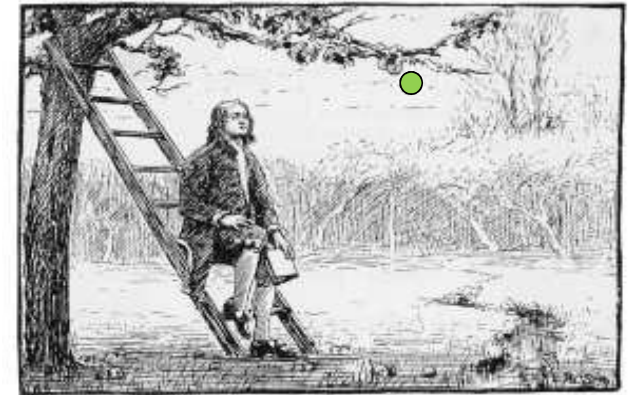
Gravity sensing is universal on Earth



Unicellular organs
Vestibular like gravity sensing



Plants
Proprioception like gravity sensing



Animals and Humans
Polymodal sense of upright

A neuronal support in animals

nature communications



Article

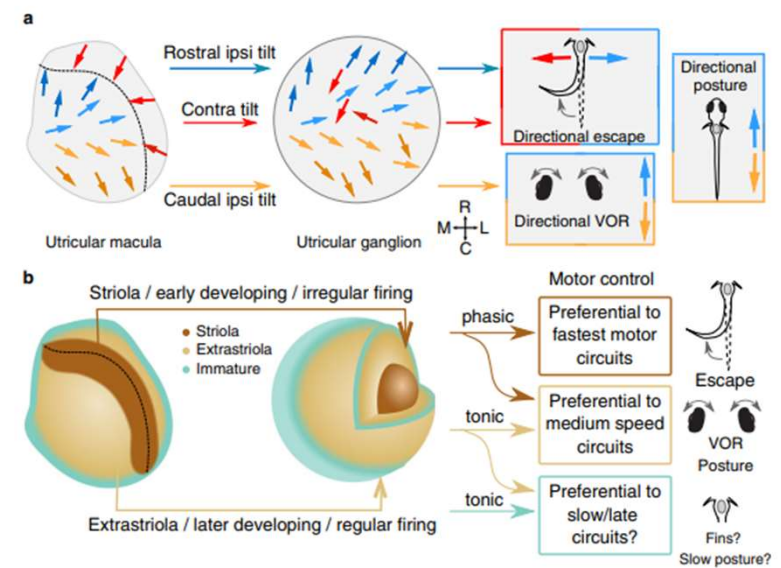
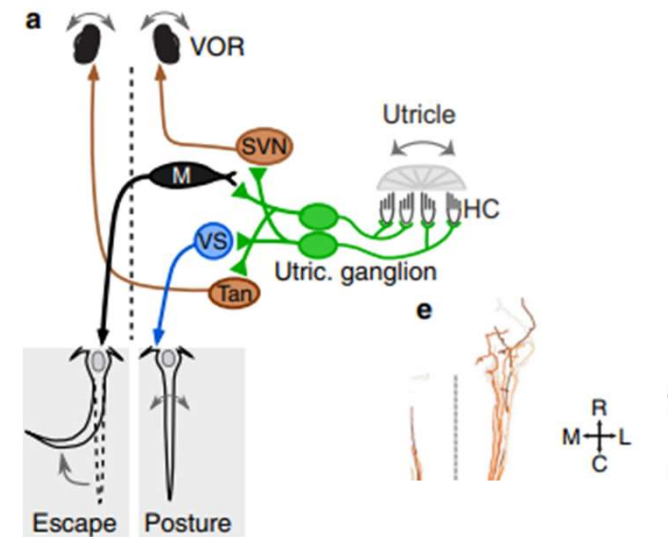
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-32824-w>

Organization of the gravity-sensing system in zebrafish

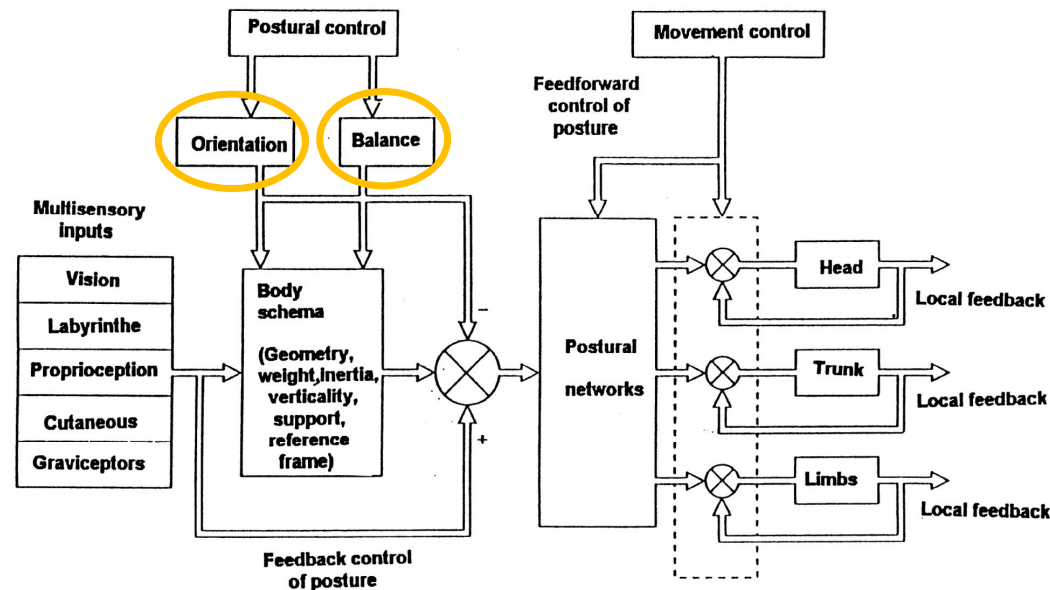
Received: 11 October 2021

Zhikai Liu¹, David G. C. Hildebrand², Joshua L. Morgan³, Yizhen Jia¹,
Nicholas Stimmon¹ & Martha W. Bagnall¹✉

Accepted: 18 August 2022



Un cadre théorique ancien remis d'actualité



Jean Massion – plusieurs articles conceptuels de 1992 à 1998

Postural Orientation and Equilibrium

Supplement 29. Handbook of Physiology, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems

Fay B. Horak, Jane M. Macpherson

Published online: 1 January 2011 | <https://doi.org/10.1002/cphy.cp120107> | Citations: 82



[Comprehensive Physiology](#)

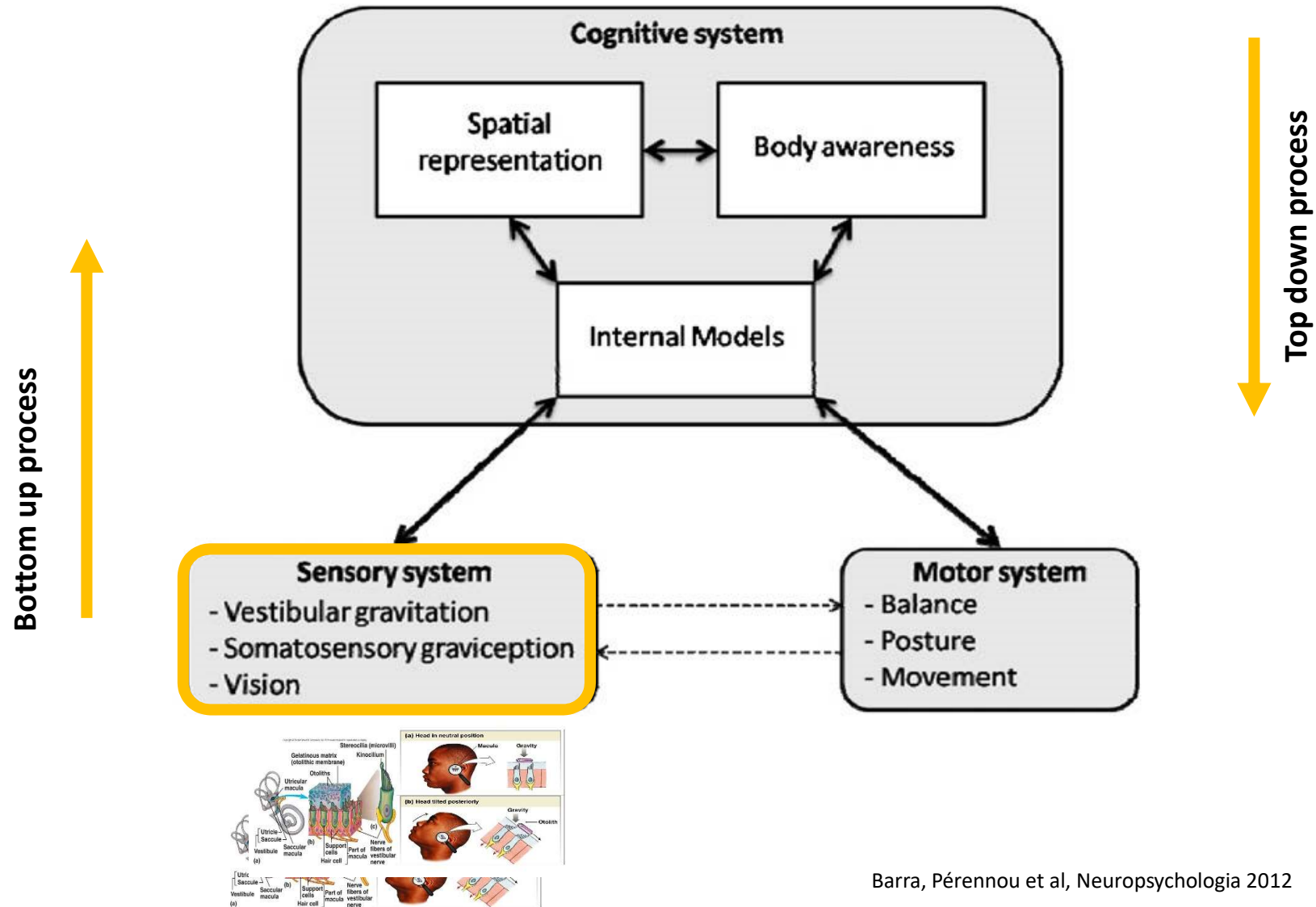
Browse other articles of this reference work:

[BROWSE TABLE OF CONTENTS >](#)

[BROWSE BY TOPIC >](#)

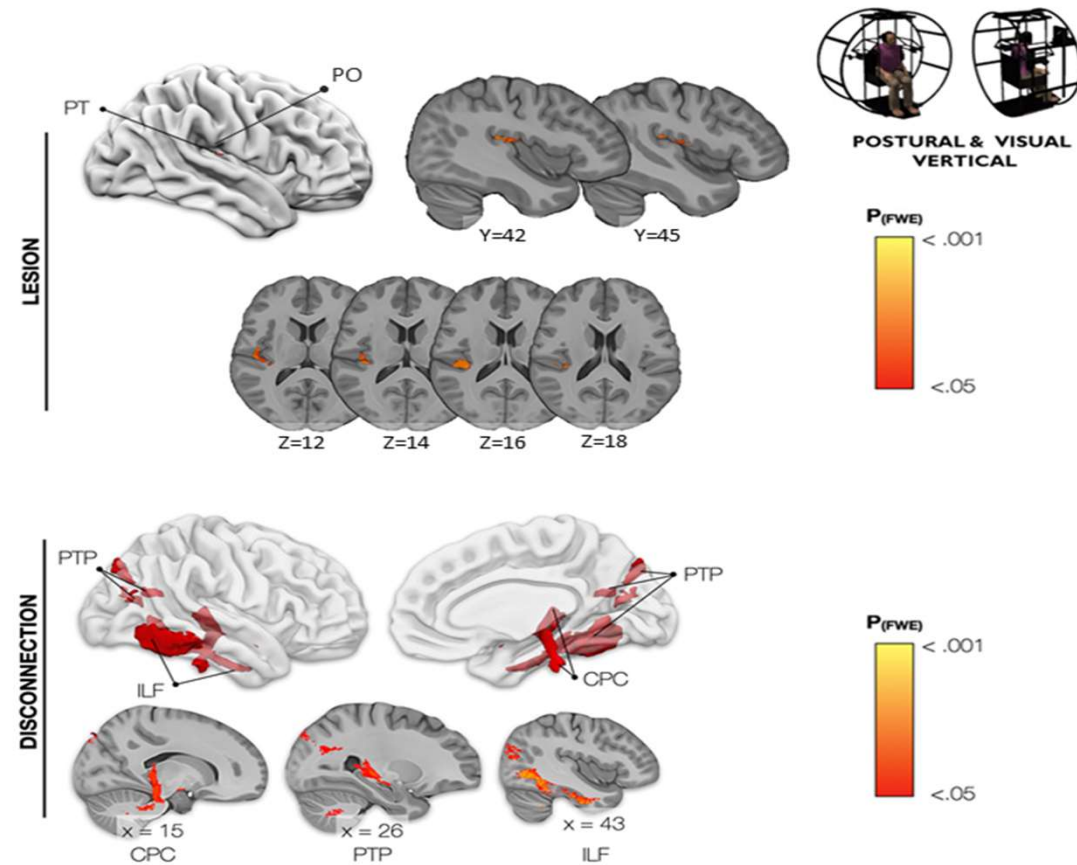
[BROWSE A-Z >](#)

Integrated model of the sense of upright



Le cœur du modèle interne de verticalité Situé dans la jonction pariéto-temporale droite

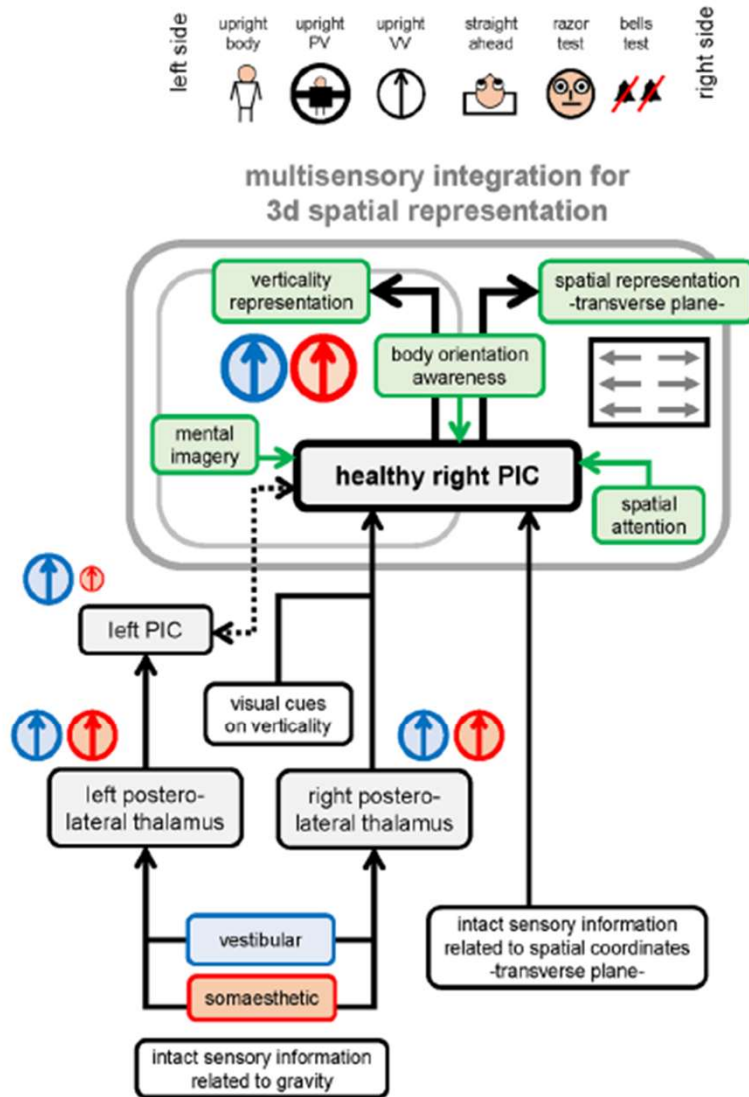
PT planum temporal
PO parietal operculum



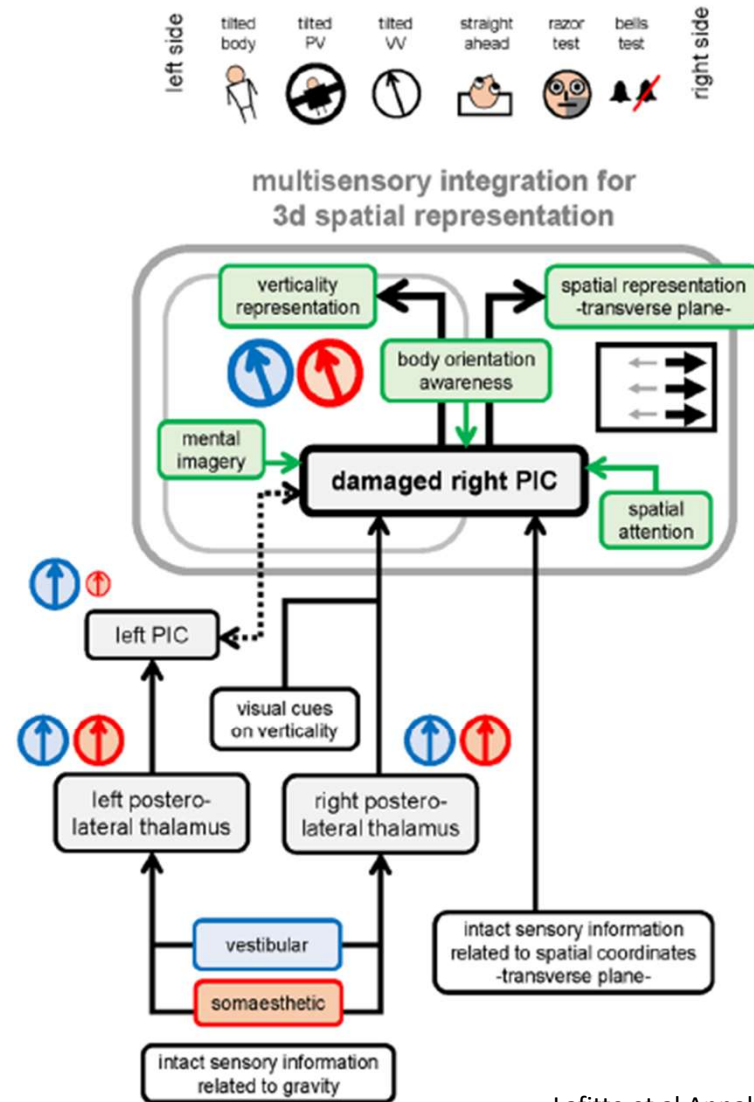
Piscicelli et al en préparation

Confirme observations de Brandt et Dieterich, Annals Neurol 1994

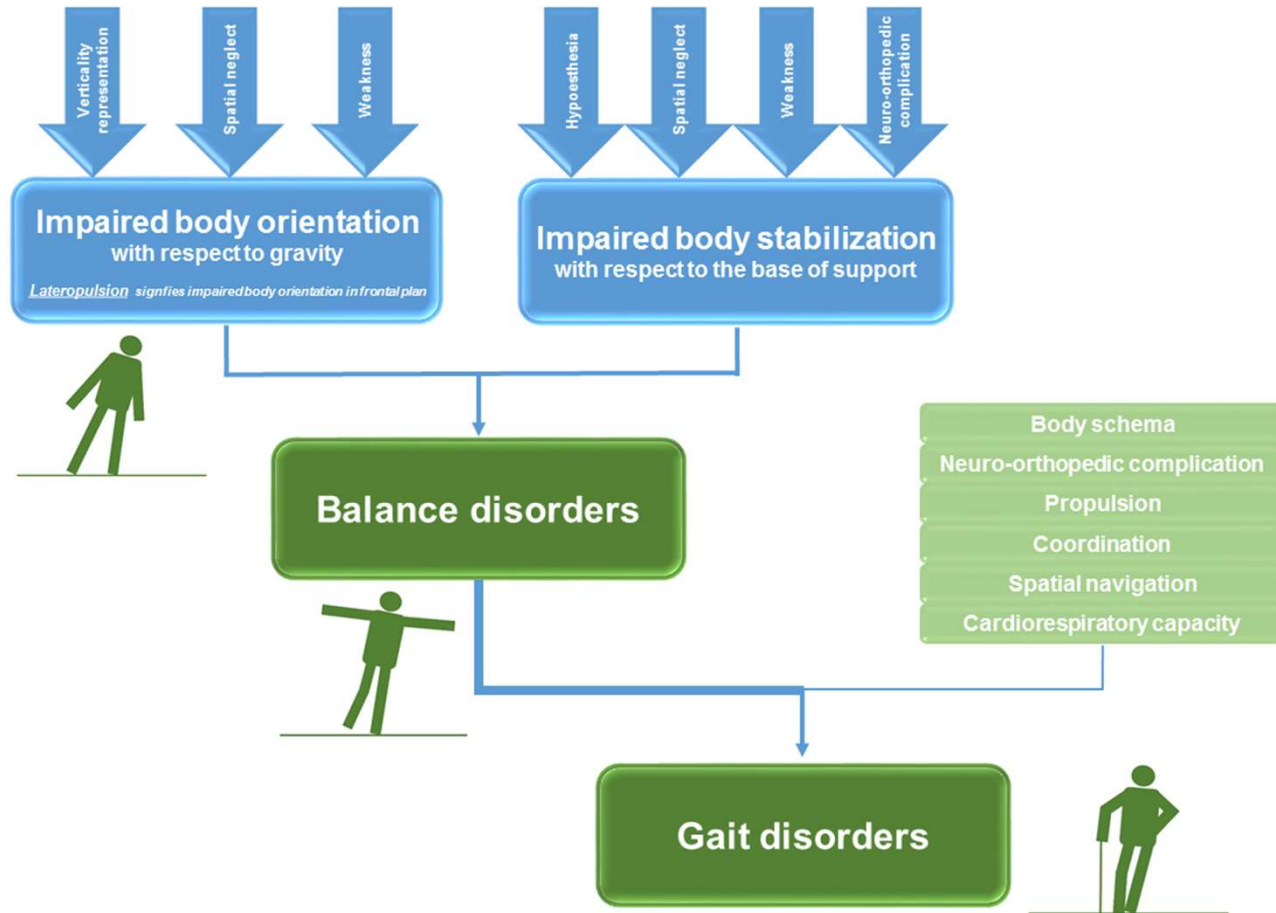
(A) Healthy brain



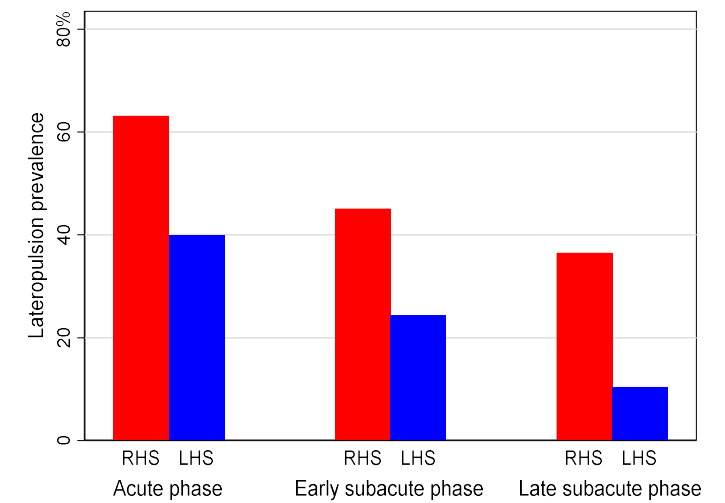
(B) Right hemisphere stroke



Un modèle de troubles de mobilité post AVC (subaigu)



AVC: modèle humain de déficit d'orientation verticale (plan coronal)



Dai et al Neurology 2022

Avec vision



Sans vision



Latéropulsion amplifiée sans la vision



Détection des formes légères



Souvent les patients n'ont pas conscience
de leur inclinaison latérale

Lateropulsion, a major determinant of fall risk after a right hemisphere stroke



Patients assessed at D30 post-stroke

Followed 2 years

Logistic regression to predict fallers for right hemisphere strokes

Lateropulsion : OR=8.1; 95% IC [2.2-29.8]; p=0.002

Incontinence: OR=5.7; 95% IC [1.3-24.3];p=0.019

➡ **Fall prevention +++**

Score for Contraversive Pushing (SCP), Karnath et al Neurology 2000



Table 1 Clinical assessment scale for contraversive pushing*

(A) Posture (symmetry of spontaneous posture)	Sitting	Standing
Score 1 = severe contraversive tilt with falling to the contralesional side	☐	☐
Score 0.75 = severe contraversive tilt without falling	☐	☐
Score 0.25 = mild contraversive tilt without falling	☐	☐
Score 0 = no tilt / upright body orientation	☐	☐
Total (max = 2):		
(B) Extension (use of the arm/leg to extend the area of physical contact to the ground)		
Score 1 = performed already in rest	☐	☐
Score 0.5 = performed not until position is changed	☐	☐
Score 0 = no extension	☐	☐
Total (max = 2):		
(C) Resistance (resistance to passive correction of posture to an upright position)		
Score 1 = resistance is shown	☐	☐
Score 0 = resistance is not shown	☐	☐
Total (max = 2):		

* Translated from Karnath H-O, Brötz D, Götz A. Clinical symptoms, origin, and therapy of the "pusher syndrome." Nervenarzt: In press.

SCALA Expert Panel

Abe Hiroaki, PT
Tohoku University, Sendai, Japan

Babyar Sue, PT
Hunter College, New-York, USA

Benaim Charles, PMR
University Lausanne, Switzerland

Bergmann Jeannine, Movementscientist
Schön Klinik, Munich, Germany

Bonan Isabelle, PMR
CHU Rennes, France

Danells Cynthia, PT
Toronto Rehabilitation Institute, Canada

Gandolfi Maria Luisa, PMR
University of Verona, Italy

Geurts Alexander, PMR
Radboud University, Nijmegen, Netherlands

Guglielmetti Simone, PT
Università Novare, Italy

Jahn Klaus, Neurologist
Schön Klinik, Munich, Germany

Krewer Carmen, Movementscientist
Schön Klinik, Munich, Germany

Leddy Abigail, PT
Honolulu, Hawaii, USA

Mansfield Avril, Neuroscientist
Toronto Rehabilitation Institute, Canada

Nardone Antonio, PMR
Università Pavia, Italy

Punt David, Neuroscientist
University of Birmingham, UK

Rode Gilles, PMR
CHU Lyon, France

Santos-Pontelli Taiza, PT
University Sao Paulo, Brasilia

Smania Nicola, Neurologist
University of Verona, Italy

Vaes Nathalie, Neuropsychologist
Rehabilitation Hospital, Edegem, Belgium

Van Geel Karin, PT
Radboud University, Nijmegen, Netherlands

Yelnik Alain, PMR
Hôpital Fernand-Widal, Paris, France



Steering committee

Jean Luc Bosson (MD, PhD)
Alexandre Moreau-Gaudry (MD, PhD)
Bastien Moineau (PT, PhD)
Dominic Pérennou (MD, PhD), PI
Carole Vuillerot (MD, PhD)

Project management

Anais Odin (PT, MS), coordination
Emilie Chipon (CRA, PhD)
Maud Barbado (CRA, PhD)
Emmanuelle Clarac (PT, MS)
Andrea Kistner (CRA, PhD)

Statistics

Maud Medici
Lise Giorgis Allemand (PhD)

Clinical Team

Patrice Davoine (MD), Anne Crispin (MD), Marie Jaeger (MD), Adelaide Marquer (MD), Céline Piscicelli (Neuropsychologist, PhD), Shen-Hao Dai (MD), Nicolas Leroux (PT), Alba Otero (PT)

Contact:

dperennou@chu-grenoble.fr



The scale for lateropulsion

International Delphi survey for content Validation

Measuring verticality perception: VV and PV



Visual vertical (VV)

Witkin et Asch , 1948
Normality from -2.5° to $+2.5^{\circ}$

Vision and otolithic graviception



Postural vertical (PV)

Clark and Graybiel, 1963
Normality from -2.5° to $+2.5^{\circ}$

Somaesthetic graviception



Visceral graviceptors
Proprioception
Cutaneous pressure

Perception de la verticale par le corps (verticale posturale)

Noir complet

Tête, tronc, membres tenus

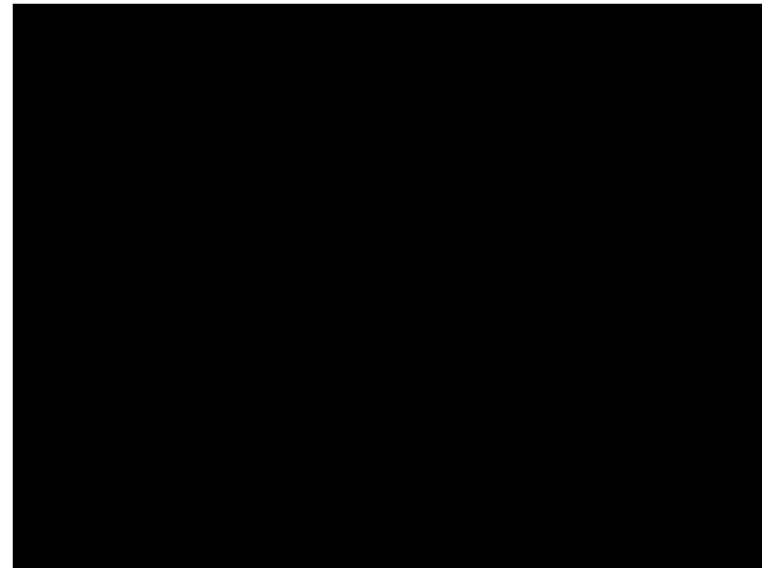
Sujet aléatoirement incliné (15-45°), puis ramené dans la direction opposée jusqu'à se percevoir vertical.

Vitesse lente (1.5°/s) et constante pour réduire stimulation canaux semicirculaires

Inclinaison mesurée avec inclinomètre

VP teste les informations somesthésiques relatives à la gravité

gravicepteurs viscéraux, proprioception, pression cutanée

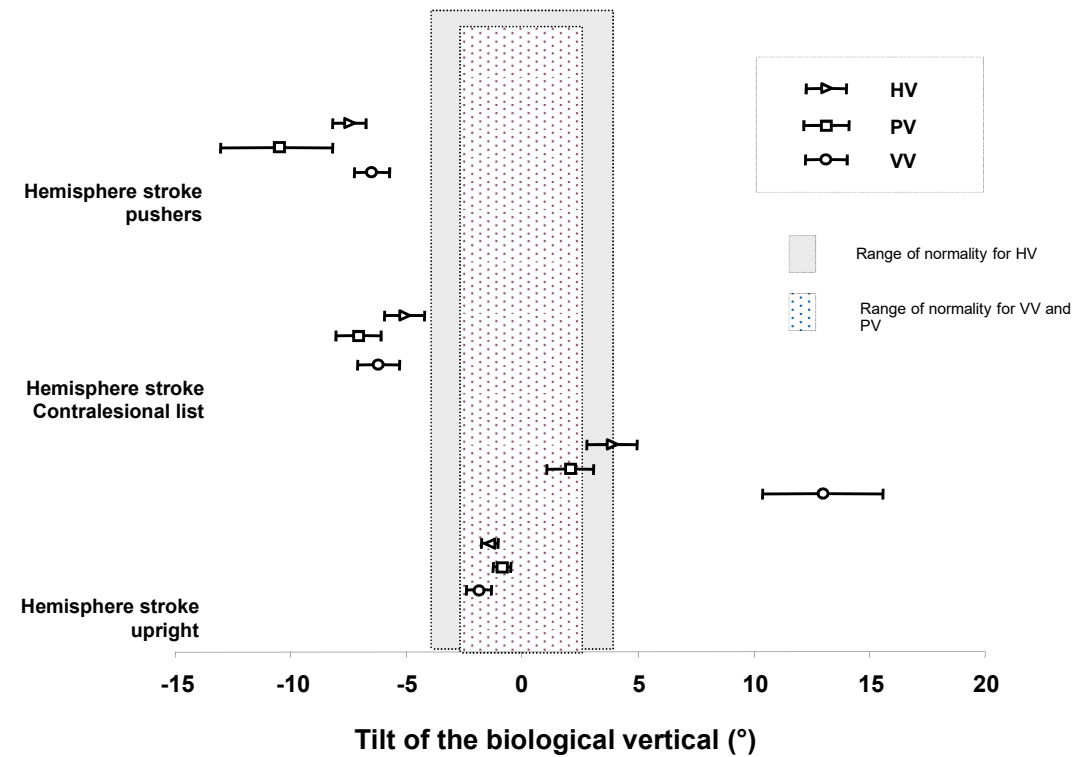
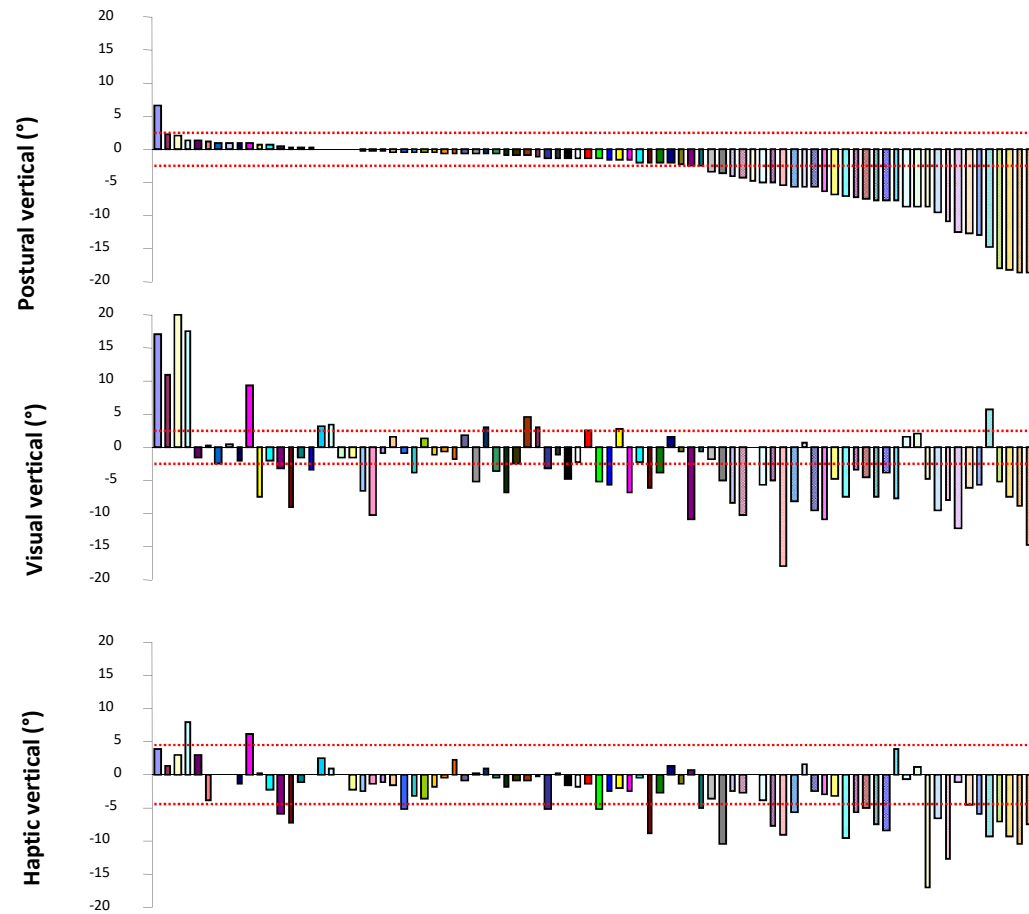


Dites "stop" lorsque vous êtes vertical

Sujets normaux réalisent cette tâche très précisément, limites de normalité -2.5° à +2.5°
Valeurs positives pour inclinaisons droites (normaux) or ipsilesionnelles (patients)

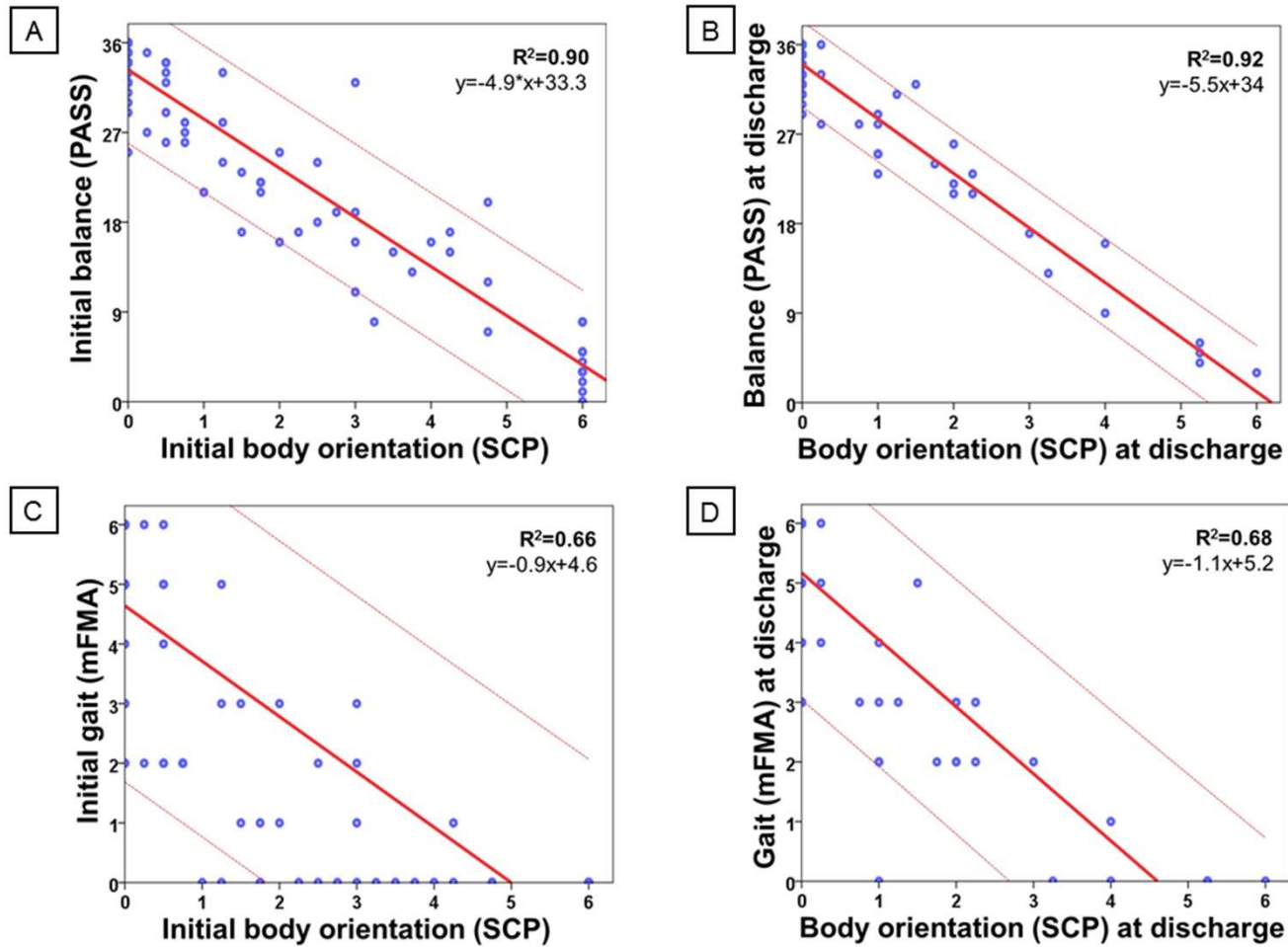
Pérennou et al Brain 2008

Strong relation perception – action with respect to gravity

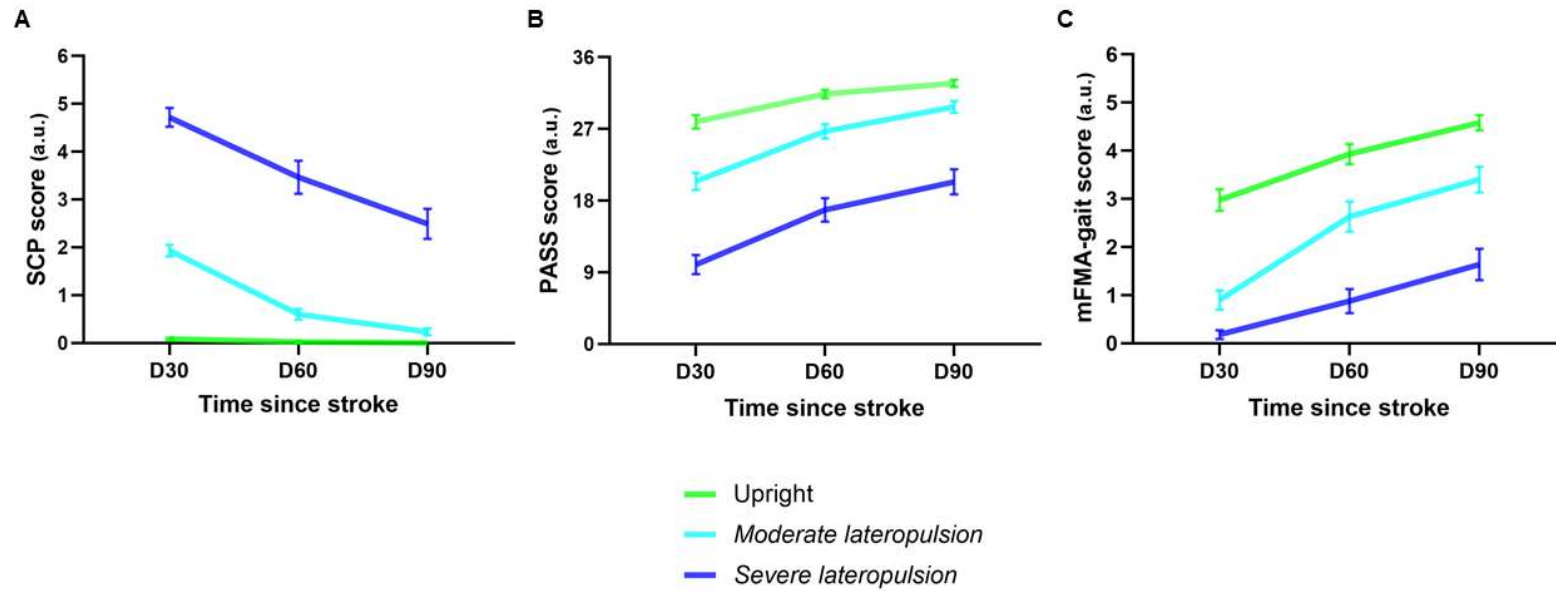


Pérennou et al., Brain 2008

Les troubles de l'équilibre et de la marche en post-AVC sont essentiellement due à la lateropulsion en phases aigue et subaigue (surtout si AVC hémisphère droit)



Dai et al Neurology 2021



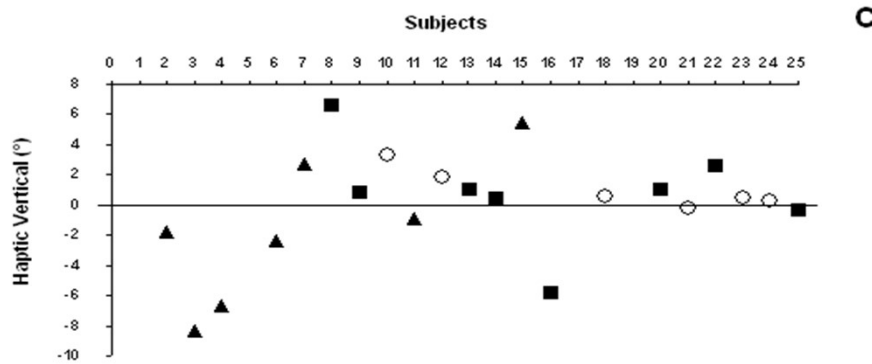
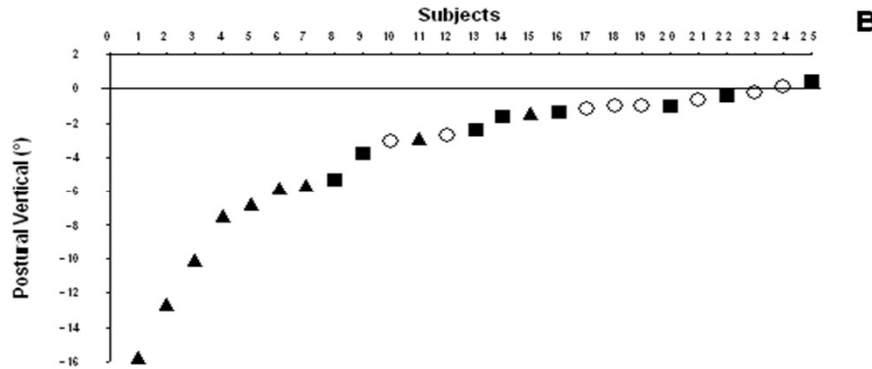
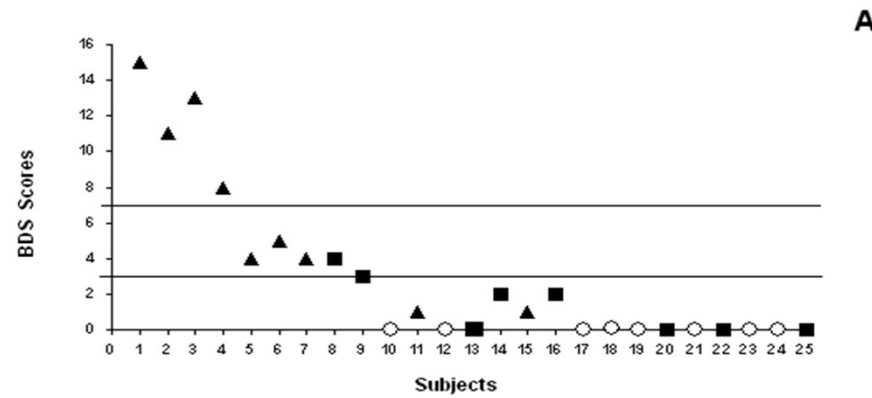
40% of balance recovery explained by lateropulsion attenuation, before D60 ++

Balance may recover without lateropulsion recovery

What about the orientation in sagittal plane ?



Retropulsion in elderly



Manckoundia et al 2007

Déficit d'orientation verticale

Latéropulsion, atteinte unilatérale (prédominance)

Par asymétrie de tonus, Ipsilésionnel

Par biais dans le modèle interne de verticalité, contralesionnel

Rétropulsion, atteinte bilatérale

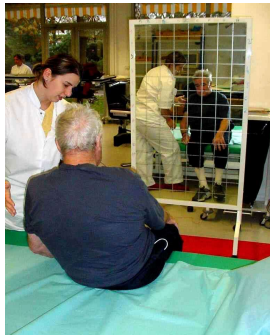
Par asymétrie de tonus,

Par atteinte du modèle interne de verticalité

Incertitude sur la direction de la verticale, en roll ou pitch

Atteinte bilatérale, diffuse, centrale ou périphérique

Toward a specific rehabilitation of the sense of upright to attenuate lateropulsion,
especially in patients with a right hemisphere stroke



External cues of verticality

Neuromodulation / recalibration coordinate system referred to the vertical

Nouvelles approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche en pathologie neurologique

Mobilité

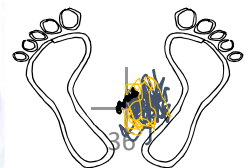
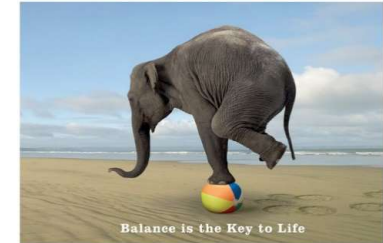
Verticalisation

Orientation

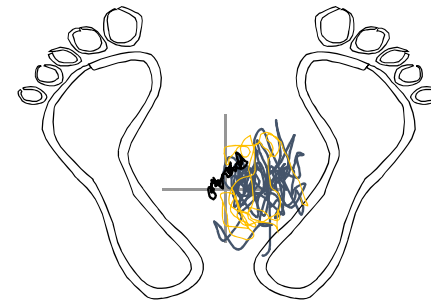
Stabilisation

Propulsion

Navigation



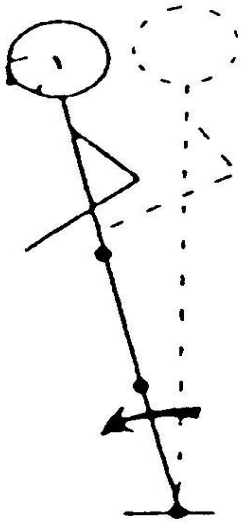
Postural stabilisation



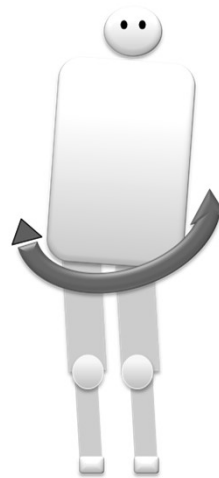
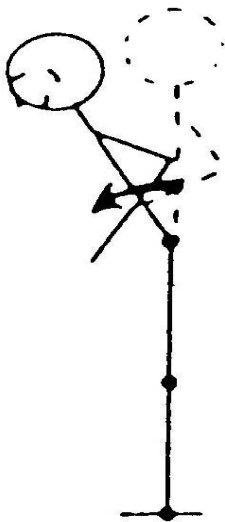
Lesion of

Frontal and Rolando cortex (motor cortex)
Temporo-Parietal cortex (body schema)
Corticospinal tract
Cerebellum (postural coordination)
Basal Ganglia

Mécanismes de Stabilisation posturale



Plan sagittal: cheville ou hanche

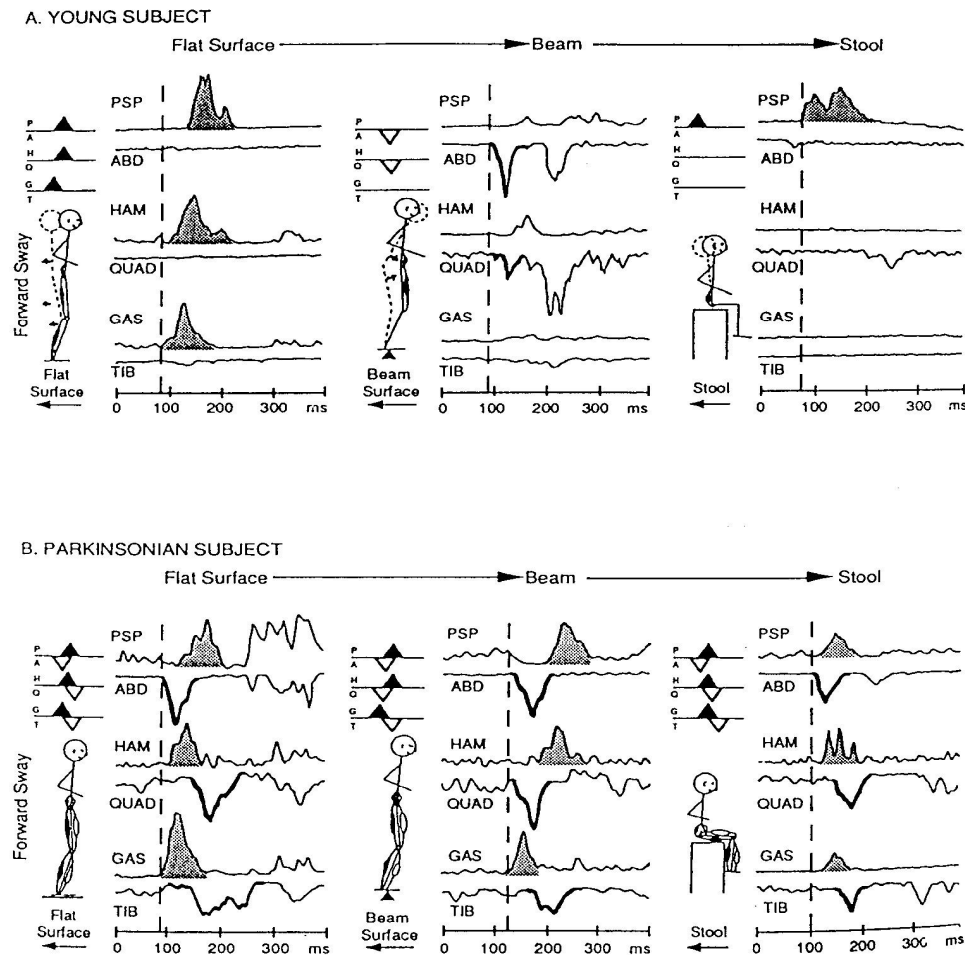


Plan latéral
Charge- Décharge



Abaissement du centre de masse

Rôle crucial des ganglions de la base dans la flexibilité du répertoire de stratégies posturales



D'après Horak et al
J Neurol Sci 1992

Rôle crucial du cervelet dans la coordination posturale

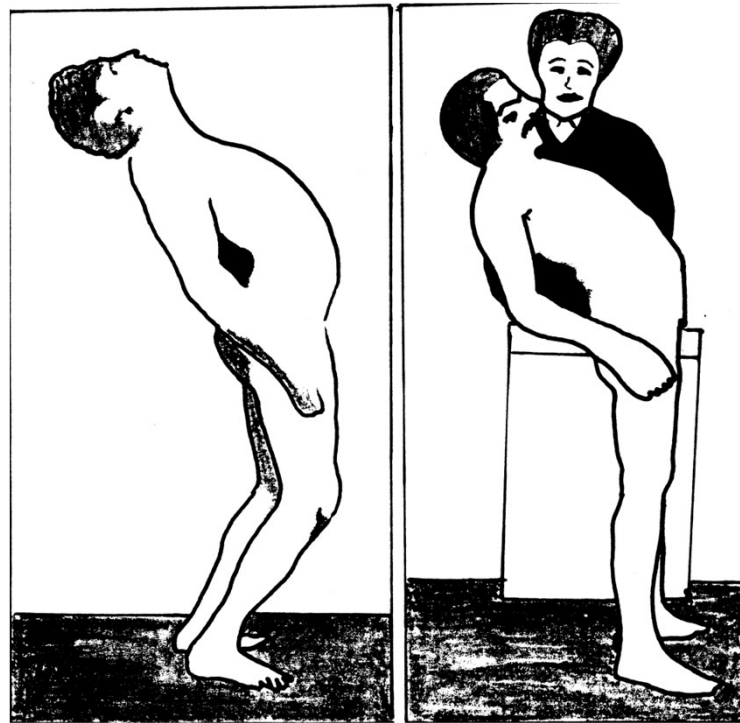
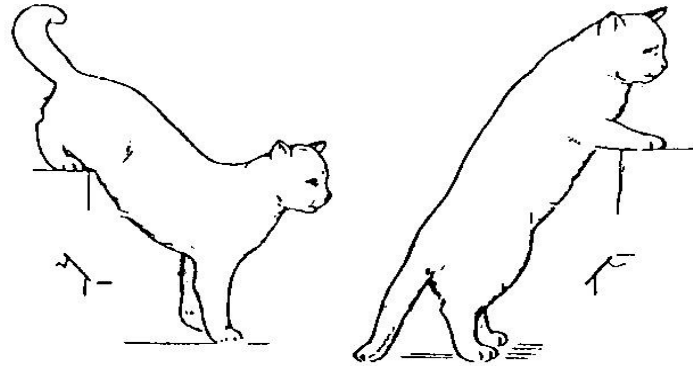
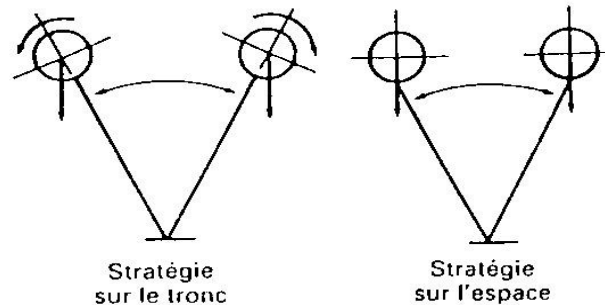


Illustration de l'asynergie cérébelleuse
D'après Babinski, Rev Neurol 1899

Sélection d'un référentiel stabilisé



a



b

Stratégies de stabilisation de la tête. A) stabilisation de la tête en tangage chez le chat (reflexes du cou). B) deux stratégies de stabilisation de la tête en roulis décrites chez l'homme. D'après Massion, 1997.

Rôle des informations sensorielles

Sélection de la stratégie de stabilisation

Stabilisation de la Tête: **vision et vestibulaire +++**

Stabilisation du tronc: proprioception ++

Stabilisation du centre de masse: modèle interne ++

Stratégie de cheville: somesthésie ++

Stratégie de hanche: vestibulaire ++

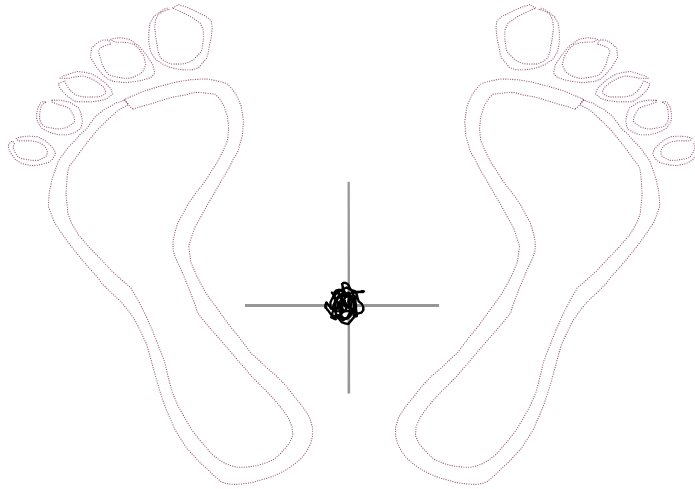
Réduire amplitudes oscillations posturales

Vision périphérique

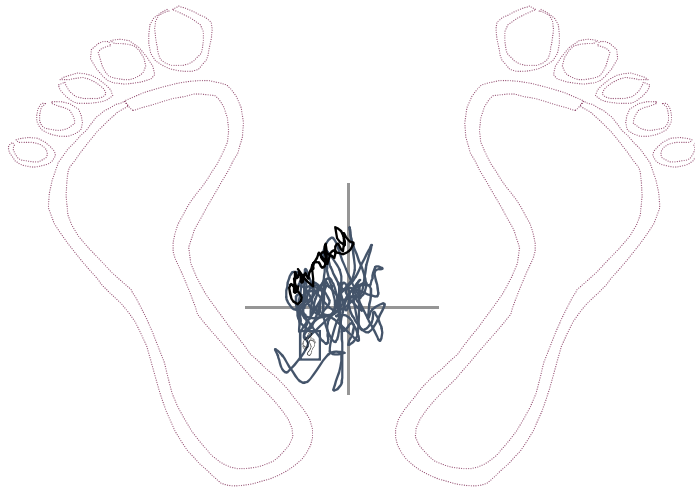
Proprioception

Vestibulaire : canaux semi-circulaires

Elaboration modèles internes (centre de masse)

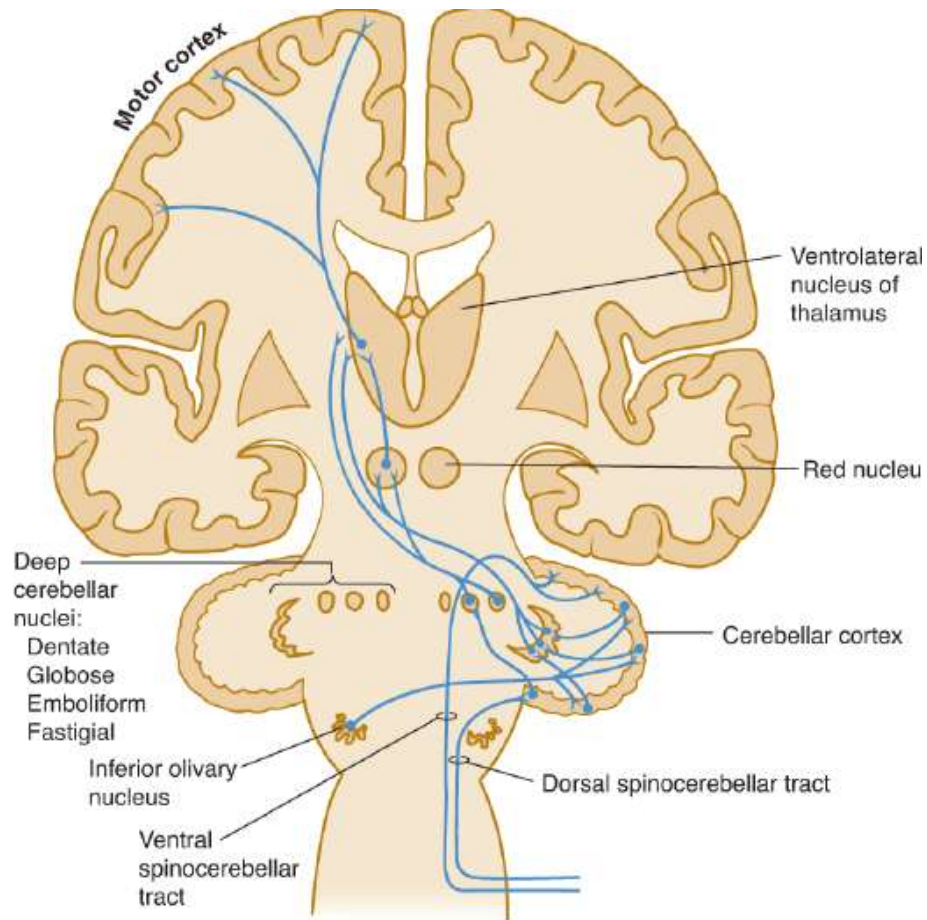


**Posturographie
avec la vision**



**Posturographie
sans la vision**

Modèle humain de trouble de la stabilisation: pathologie cérébelleuse



Impaired corrections of postural oscillations

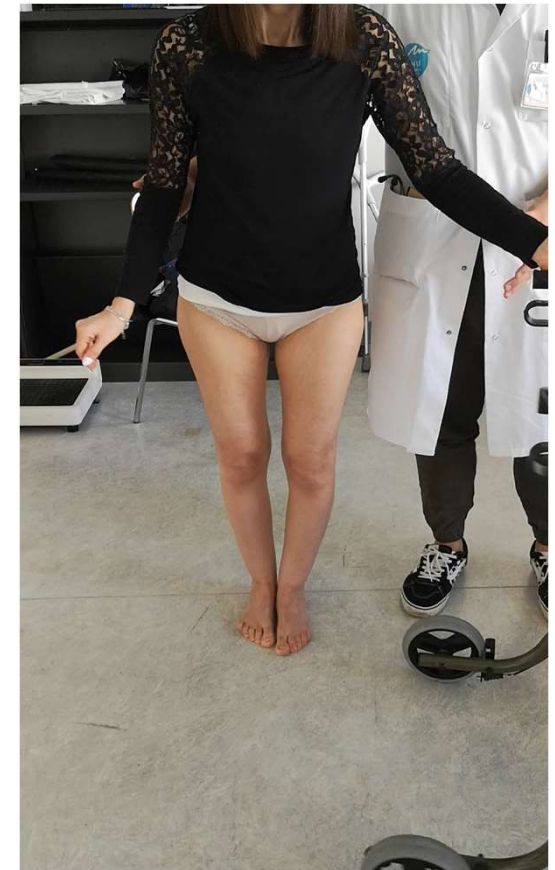
Impaired intersegmental coordination



Feet apart



Feet together



Without vision

Value of the Romberg sign?

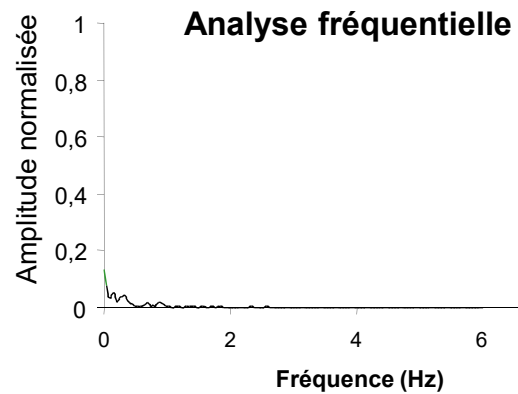
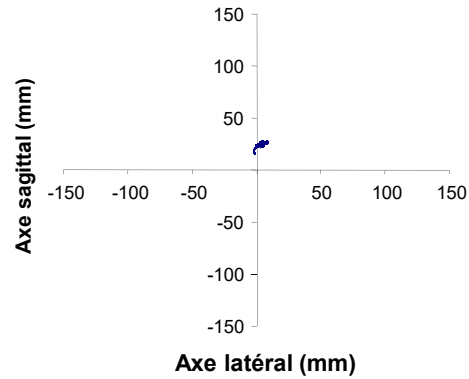
Female 36 yrs, SCA type 7, Starting 2007-2008, diagnosis in 2015, several falls / yr
Video this week



Posturographie

Sujet normal

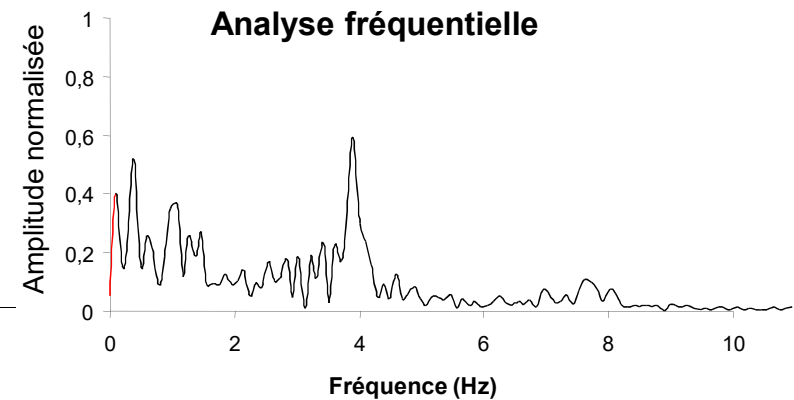
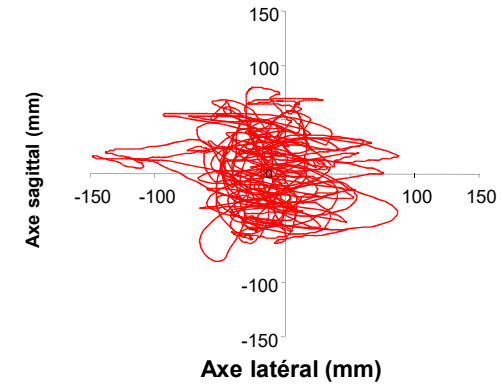
Trajectoires du centre de pression plantaire



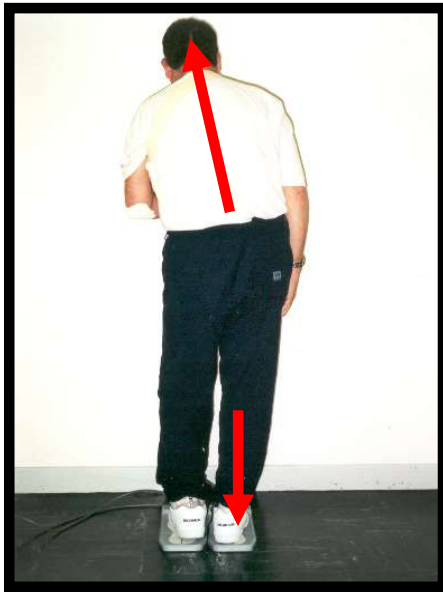
Valeur du signe
de Romberg ?

*Patient avec une atrophie
cérébelleuse évoluée*

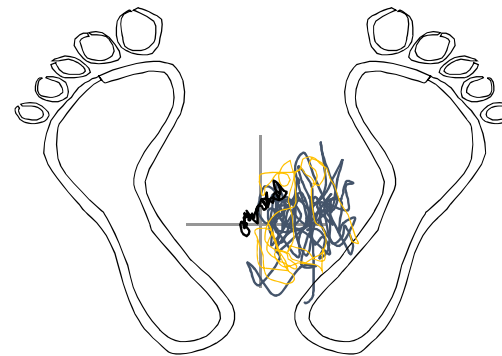
Trajectoires du centre de pression plantaire



Compromis Orientation vs Stabilisation après AVC



Compromis entre déficits
d'orientation et de stabilisation

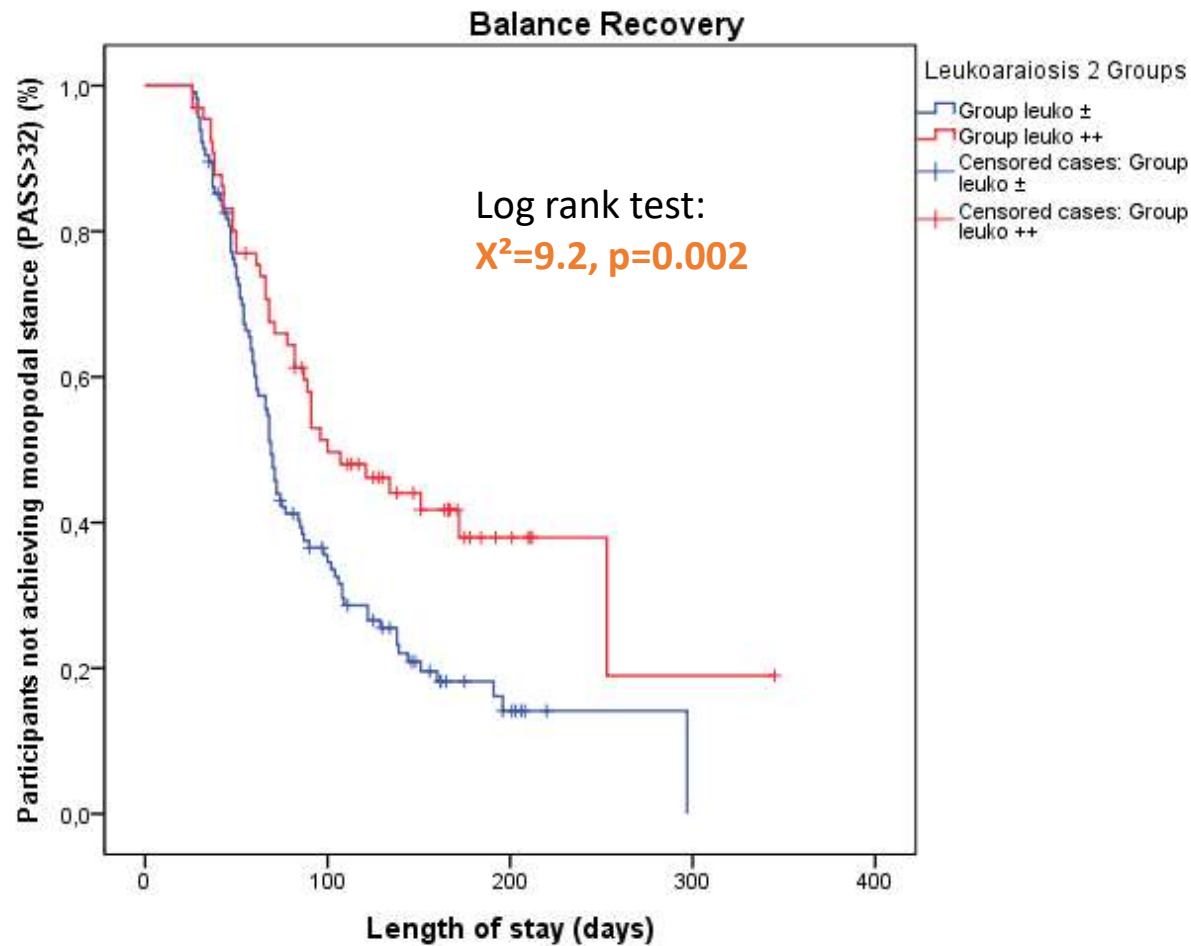


Posturographie: importantes
oscillations du centre de pression

Causes d'instabilité posturale lors de la marche



Balance recovery: inability to recover the monopodal stance



Cox regression on the recovery of the monopodal stance, with Hazard ratio (HR)
Best model obtained with age and leuko

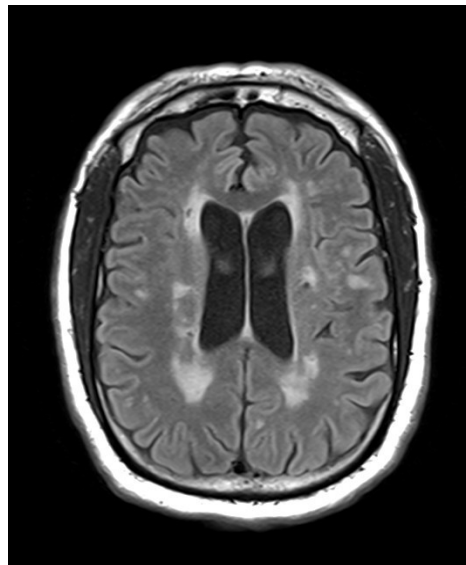
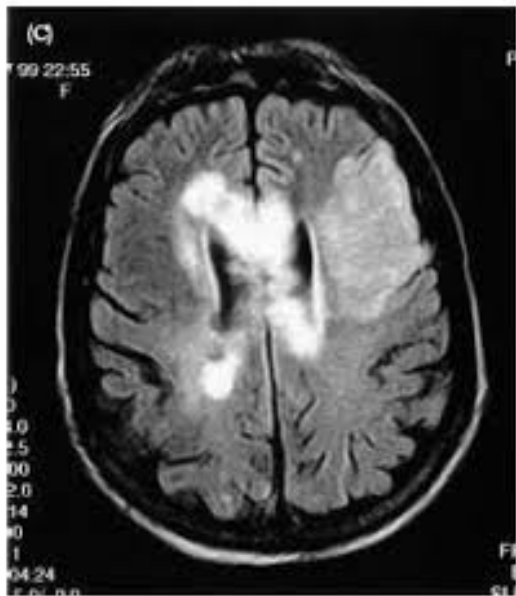
Age: HR=0.98 (95% CI 0.97-0.99); $p=0.007$

Rate of achievement (monopodal stance) decreased 2% per year.

Leukoaraiosis: HR=0.64 (95% CI 0.43-0.95); $p=0.026$ indicating approximately 0.64 less times chance of achieving monopodal stance if Leuko ++

**Intérêt de bien analyser l'imagerie cérébrale
pour la rééducation**

**Stroke with Leukaraiosis:
microvascular alterations in the white matter**



Brain atrophy



Nouvelles approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche en pathologie neurologique

Mobilité

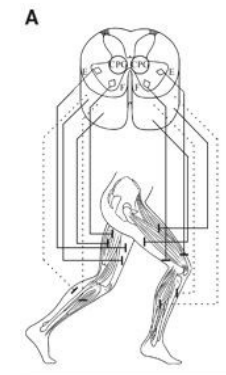
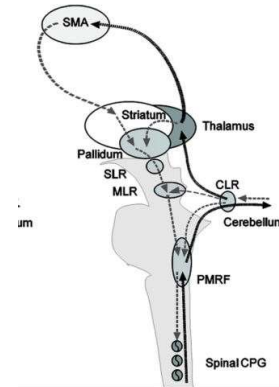
Verticalisation

Orientation

Stabilisation

Propulsion

Navigation



Frontal cortex (motor cortex)

Parietal cortex

Cerebellum (coordination)

Basal Ganglia (automaticity)

Other ganglia of the Brain stem

And even the spinal cord which elicits rhythmic movements

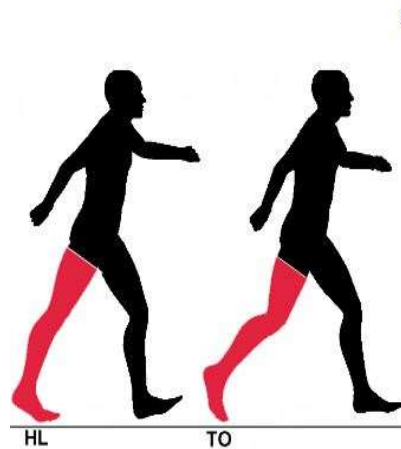


Improving gait: what is the goal ?

**Improving gait
via a better balance ?**



**Improving gait (velocity)
via a better propulsion ?**



**Improving gait via a
better coordination ?**



**Fall
prevention ?**



Nouvelles approches conceptuelles des troubles d'équilibre et de marche en pathologie neurologique

Mobilité

Verticalisation

Orientation

Stabilisation

Propulsion

Navigation



Détection du risque

vision, audition, cognition spatiale, schéma corporel

Fonctions cognitives adaptées

Alerte, fonctions attentionnelles

Mise en place stratégie adaptée

fonctions exécutives etc..

Modification paramètres du pas, direction

Réactions posturales : boucles transcorticales > 120 ms

Quels sont les objectifs de rééducation ?

Verticalisation ?

Orientation verticale ?

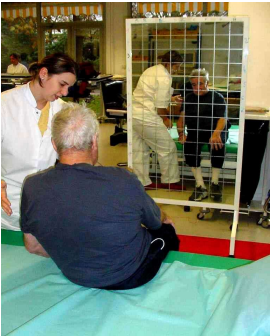
Stabilisation posturale ?

Propulsion ?

Navigation ?

Prévention des chutes ?

Quelles techniques de rééducation des troubles de l'équilibre?



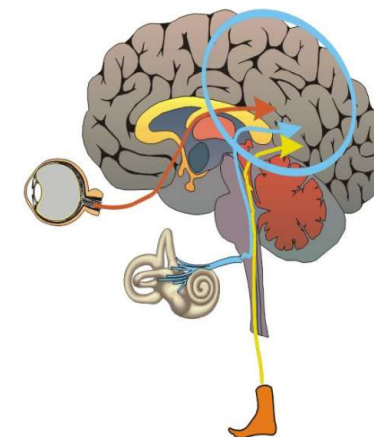
La plupart des méta-analyses des techniques de rééducation de l'équilibre et de la marche ne conclue pas positivement

- Cadre théorique insuffisant
- Critères d'inclusion dans RCT insuffisamment appropriés
- Outcome non satisfaisant
- RCT pour tester une technique et non un programme
- Effectifs limités

- Pb de l'aveugle en rééducation
- Risque de biais insuffisamment maîtrisés



Recommandations difficiles
Prendre en compte nouveaux concepts
Programmes et non plus techniques



Merci de votre attention