

L'analyse acoustique de la dysprosodie

التقييم الأكوستيكي لاضطراب عسر النغمة

¹Dr Kaddour Ali, ²Bouamer Hassiba ³Dr Ferrat Kamel

¹ Dr Kaddour Ali, Maitre de conférences A, kaddour.ali@cu-tipaza.dz Centre Universitaire de Tipaza.

² Bouamer Hassiba, Maitre de conférences B, bouamer.hassiba@cu-tipaza.dz Centre universitaire de Tipaza

³ Dr Ferrat Kamel, Directeur de Recherche, kamelferrat@yahoo.fr Centre de Recherche Scientifique et technique pour le développement de la langue arabe CRTDLA.

Received: 17-06-2025

Accepted: 01-10-2025

Résumé :

La dysarthrie est un trouble de la parole causé par des lésions neurologiques qui affectent les muscles impliqués dans la production de la parole. Les troubles prosodiques, tels que les altérations du rythme, de l'intonation et de l'accentuation, sont courants chez les patients atteints de dysarthrie spastique. Différentes méthodes et paramètres acoustiques sont utilisés pour évaluer les troubles prosodiques, tels que le taux de syllabes, la variation de la fréquence fondamentale et l'amplitude des contours intonatifs. Ces mesures fournissent des informations précieuses sur les altérations prosodiques spécifiques chez chaque patient, ce qui permet d'adapter le traitement orthophonique de manière individualisée.

Dans cet article, nous avons illustré l'utilisation des mesures acoustiques comme outil de diagnostic et d'évaluation des troubles prosodiques chez le

patient atteint de dysarthrie spastique. Les résultats obtenus démontrent une grande pertinence des mesures étudiées.

Mots clés : Dysarthrie ; Dysarthrie spastique; mesures acoustiques ; Diagnostic ; Logiciel Praat®.

Abstract :

Dysarthria refers to a speech impairment originating from neurological damage that impacts the muscles involved in speaking. Individuals with spastic dysarthria often experience prosodic disorders, which encompass changes in rhythm, intonation, and emphasis in speech.

Various methods and acoustic parameters are employed to evaluate prosodic disorders, including syllable rate, variations in fundamental frequency, and the intensity of intonation patterns. These measurements yield valuable insights into specific prosodic changes in each patient, enabling customized speech therapy.

In this article, we have illustrated the use of acoustic measurements as a tool for diagnosis and assessment of prosodic disorders in patients with spastic dysarthria. The obtained results demonstrate the high relevance of the studied measures.

Keywords : Dysarthria; Spastic dysarthria; Acoustic measurements; Diagnostic ; Praat® software.

الملخص:

يشير عسر التلفظ إلى ضعف الكلام الناجم عن تلف عصبي يؤثر على العضلات المرتبطة بإنتاج الكلام. غالبا ما يعاني الأفراد المصابون بعسر التلفظ التشنجي من اضطرابات عرضية تشمل تغيرات في الإيقاع و نغمة الكلام..

يتم استخدام طرق وبرمجيات صوتية مختلفة لتقييم الاضطرابات العروضية (الخصائص المرتبطة بنغمة الكلام) ، بما في ذلك معدل المقاطع ، والاختلافات في التردد الأساسي ، وشدة أنماط التنغيم. تعطي هذه القياسات رؤى قيمة حول التغييرات العروضية المحددة في كل مريض ، مما يتيح عملية إعادة التأهيل الأرطفوني.

من خلال هذا المقال، أوضحنا استخدام القياسات الصوتية كأداة لتشخيص وتقييم الاضطرابات النغمية لدى مرضى عسر التلفظ التشنجي. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها الأهمية العالية للمقاييس المدروسة (برمجية برات . Praat®)

الكلمات المفتاحية : عسر التلفظ، عسر التلفظ التشنجي، القياسات الصوتية، تشخيصي، برنامج Praat®.

Corresponding author: kaddour Ali: kaddour.ali@cu-tipaza.dz

1. Introduction :

La dysarthrie spastique est un trouble de la parole qui résulte de difficultés dans le contrôle des mouvements musculaires nécessaires à la production de la parole. Ce trouble peut être causé par des lésions cérébrales, des maladies dégénératives ou des troubles neurologiques, et se caractérise aussi par une altération de la coordination des mouvements involontaires, tels que les mouvements de la mâchoire, de la langue et des lèvres.

Les personnes atteintes de dysarthrie spastique présentent souvent une parole lente, hésitante et difficile à comprendre. Elles peuvent également éprouver des difficultés à contrôler leur déglutition et leur

respiration. Le diagnostic de la dysarthrie spastique repose sur une évaluation clinique approfondie réalisée par un orthophoniste. Cette évaluation peut inclure des tests de la fonction motrice, de la déglutition et de la phonation, ainsi qu'une évaluation instrumentale objective.

Parmi les manifestations cliniques de la dysarthrie spastique, la dysprosodie engendre des difficultés à moduler leur voix, à produire des variations d'intonation appropriées, à respecter les rythmes et les accents de la langue, et à transmettre les émotions à travers leur discours. Ces altérations de la prosodie peuvent rendre la communication difficile et entraîner des problèmes d'interprétation du langage par l'interlocuteur.

La dysprosodie constituerait la marque la plus spécifique de la dysarthrie spastique. Elle se caractérise par une monotonie de la mélodie (diminution de la variation de la fréquence fondamentale F_0), par une monotonie de l'intensité, et par une diminution du nombre de pauses de plus de 60 ms. La dysprosodie serait le résultat d'une diminution de l'amplitude du mouvement du larynx. Pour ce qui concerne les tâches vocales utilisées dans l'évaluation instrumentale de la dysprosodie, le monologue et la lecture de phrases émotionnelles mettent plus en avant la diminution de la variation de la fréquence fondamentale que la lecture de texte. A travers cette étude nous essayons de répondre à la problématique suivante: **quelles sont les mesures acoustiques et les tâches vocales, qui permettent le**

diagnostic et l'évaluation objective de la dysprosodie en rapport avec la dysarthrie spastique?

D'après la littérature scientifique, les mesures suivantes : (Standard Deviation de F_0 : variation de la hauteur (intonation), Standard Deviation de l'Intensité après avoir enlevé les silences de plus de 60ms, Nombre de Pauses par rapport au temps parlé total après avoir enlevé les silences < 60 ms, « Percentage of Disfluent Words » : nombre de disfluences sur nombre total de mots, Mesure de la capacité à reproduire les rythmes d'une lecture après écoute, « Coefficient of Variation » : variation relative du rythme). Ces mesures acoustiques sont les plus adéquates pour effectuer une évaluation instrumentale de la dysprosodie en rapport avec la dysarthrie.

Afin de répondre à notre problématique, nous avons comparé à travers une étude de cas, les valeurs de ces mesures acoustiques citées chez deux individus (une patiente qui présente la dysarthrie spastique et un sujet de contrôle qui ne présente aucun trouble de la parole, ou une atteinte d'ordre neurologique). Les résultats obtenus démontrent la pertinence de ces mesures comme outil de diagnostic et d'évaluation de la dysarthrie spastique chez notre patiente.

2. La Dysarthrie spastique

La dysarthrie est, selon le dictionnaire d'orthophonie, l'ensemble des troubles de l'articulation résultant d'une atteinte du système nerveux central ou périphérique ou d'une ataxie des muscles des organes de la

phonation. La respiration, l'articulation, la phonation, le débit et/ou la prosodie peuvent être affectés. Elle peut être paralytique (d'origine bulbaire ou pseudobulbaire), cérébelleuse (erreurs de coordination des mouvements articulatoires, ton monotone et réduction de l'intensité), parkinsonienne (due à une lésion des noyaux gris centraux : parole sans prosodie, scandée, d'intensité et d'intelligibilité réduites) ou encore mixte où l'on retrouve les troubles paralytiques et cérébelleux. Compte tenu de la lésion, les dysarthries sont donc très fréquentes chez les enfants avec paralysie cérébrale (PC) où on retrouve le plus souvent les dysarthries de type mixtes (El Hassani, 2021, p. 07).

Pour la dysarthrie spastique par atteinte bilatérale du premier neurone moteur, le principal constituant de ce premier neurone moteur est le faisceau pyramidal. La spasticité qui résulte de l'atteinte pyramidale est la composante essentielle et donne donc son nom à ce type de dysarthrie (Auzou & Rolland-Monnoury, 2006, p. 30). La dysarthrie spastique est un trouble de la parole causé par des lésions ou des dysfonctionnements des voies nerveuses qui contrôlent les muscles impliqués dans la parole. Du point de vue acoustique, la dysarthrie spastique se caractérise par des altérations dans la production des sons de la parole, ce qui entraîne une altération de la qualité vocale, de l'intensité, du débit et de la prosodie.

L'altération de la qualité vocale est l'un des principaux symptômes acoustiques de la dysarthrie spastique. Les patients atteints de ce trouble présentent souvent une voix rauque, tremblante ou forcée, due à un

contrôle moteur altéré des plis vocaux. Cela se traduit par une altération de la fréquence fondamentale de la voix, ce qui affecte la qualité perçue de la voix (Enderby, 2013, p. 276).

En ce qui concerne l'intensité, les patients atteints de dysarthrie spastique ont souvent une voix faible et peu modulée. Cela est dû à une diminution de la force musculaire et à une coordination altérée des muscles impliqués dans la phonation. Ces altérations se traduisent par une diminution de l'amplitude des sons produits, ce qui rend la parole moins audible et moins expressive.

Le débit de parole est également affecté chez les personnes atteintes de dysarthrie spastique. Les patients peuvent présenter une parole lente et hachée, due à une difficulté à coordonner les mouvements des muscles impliqués dans la production des sons. Cela se traduit par des pauses fréquentes et une diminution de la fluidité de la parole, ce qui rend la communication plus difficile.

La prosodie, c'est-à-dire l'intonation et le rythme de la parole, est souvent altérée chez les personnes atteintes de dysarthrie spastique. Elles peuvent présenter une intonation monotone, des variations inappropriées du rythme et du débit, ainsi qu'une altération de l'accentuation des mots. Ces altérations prosodiques rendent la communication moins naturelle et peuvent entraîner des difficultés de compréhension pour l'interlocuteur.

Du point de vue acoustique, la dysarthrie spastique se caractérise par des altérations de la qualité vocale, de l'intensité, du débit et de la

prosodie de la parole. Ces altérations rendent la communication plus difficile pour les personnes atteintes de ce trouble et peuvent avoir un impact significatif sur leur qualité de vie. Il est donc essentiel d'évaluer et de prendre en charge ces altérations sur le plan acoustique afin d'améliorer la communication et la qualité de vie des patients atteints de dysarthrie spastique (Kaddour & al., 2025 ; 213 ; Jacinto-Scudeiro & al., 2022, p.119).

3. Analyse acoustique de la dysprosodie

Un grand nombre d'études a été consacré à l'analyse des dysprosodies dans les pathologies neurologiques. De la masse importante de ces travaux, les résultats sont souvent contradictoires et restent aujourd'hui difficiles à interpréter. Tout d'abord, le manque de consensus pourrait s'expliquer par la définition même donnée à la prosodie et les éléments qui la composent et donc, par là, à la dysprosodie neurologique. Les évaluations, qu'elles soient perceptives ou acoustiques, et les mesures effectuées des traits prosodiques reposant sur des définitions différentes et des critères plus ou moins établis, font qu'il est difficile aujourd'hui d'établir avec précision les indices prosodiques « déviants » d'une pathologie neurologique (De Looze & Ghio, 2011). Parmi les mesures acoustiques les plus adoptées dans l'étude acoustique de la dysprosodie en rapport avec une maladie neurologique, nous avons cerné à travers une recherche bibliographique sur le site officiel de la bibliothèque nationale de médecine aux États-Unis d'Amérique, les mesures acoustiques suivantes :

- **Standard Deviation de F_0 : variation de la hauteur (intonation) (F_0 SD) :**

La déviation standard de F_0 , également connue sous le nom de variation de la hauteur, est un indicateur crucial de l'intonation dans la parole. Elle mesure la variation de la fréquence fondamentale, qui est directement liée à la hauteur perçue de la voix. Une déviation standard plus élevée indique une plus grande variabilité dans l'intonation, tandis qu'une déviation standard plus faible suggère une intonation plus régulière (Rusz & al., 2011, p. 360), (Rusz & al., 2011, p. 1560).

- **Standard Deviation de l'Intensité après avoir enlevé les silences de plus de 60ms (Int SD) :**

La déviation standard de l'intensité est une mesure statistique qui permet d'évaluer la variabilité des niveaux sonores dans un signal audio. Lorsqu'on élimine les silences de plus de 60ms, il est important de calculer la déviation standard de l'intensité pour obtenir une mesure précise de la variabilité des niveaux sonores restants (Šimek & Rusz, 2021, p. 50).

- **Nombre de Pauses par rapport au temps parlé total après avoir enlevé les silences < 60 ms (Nop) :**

Le nombre de pauses par rapport au temps parlé total après avoir enlevé les silences inférieurs à 60 ms est un indicateur important de la fluidité de la communication. En effet, un nombre élevé de pauses peut indiquer des difficultés dans l'expression orale ou une hésitation excessive, ce

qui peut impacter la clarté du message transmis (Rusz & al., 2016, p. 145).

- **Percentage of Disfluent Words : nombre de disfluences sur nombre total de mots (PDW) :**

Le pourcentage de mots disfluents est calculé en divisant le nombre de disfluences par le nombre total de mots dans un discours ou un échantillon de langage. Cette mesure est couramment utilisée pour évaluer la fluidité et la clarté du discours, en particulier dans le domaine de l'étude de la dysprosodie en rapport avec une maladie neurologique (Huh & al., 2015, p.16).

- **Mesure de la capacité à reproduire les rythmes d'une lecture après écoute (Rythm) :**

La capacité à reproduire les rythmes d'une lecture après écoute est une compétence importante dans le domaine de l'évaluation de la dysarthrie. Cette capacité implique la capacité à saisir et à reproduire les schémas rythmiques, les accents et les nuances de la parole après les avoir entendus (Postuma & al., 2012, p. 1850).

- **Coefficient Of Variation : variation relative du rythme (COV) :**

Le coefficient de variation est une mesure statistique qui permet d'évaluer la variation relative du rythme de la parole. Il est utilisé pour quantifier la dispersion des valeurs du rythme de la parole par rapport à

leur moyenne. En d'autres termes, le coefficient de variation permet de comparer la variabilité du rythme de la parole entre différents échantillons vocales (Novotny & al., 2014, p. 1871).

4. Méthode :

4.1. Base de données :

Notre base de données vocales est composée de six enregistrements que nous avons enregistrés chez une patiente atteinte de la paralysie cérébrale, âgée de 18 ans et 4 mois, et chez une jeune femme âgée de 19 ans et 2 mois, qui ne présente aucun trouble de la voix et de la parole ni d'une maladie d'ordre neurologique. Les tâches vocales des enregistrements sont constituées d'une lecture de texte à haute voix, d'un monologue, et de la répétition rythmée des syllabes (pa/ta/ka), qui est utilisée dans l'évaluation de la reproduction du rythme de la parole.

- Présentation du cas :

Il s'agit d'une patiente âgée de 18 ans, diagnostiquée avec une paralysie cérébrale depuis son enfance (anoxie poste natale) et originaire et demeurant à Tipaza. Elle est en outre étudiante en 1^{er} année tronc commun sciences sociale au centre universitaire de Tipaza. La patiente présente des difficultés motrices et une coordination altérée, principalement du côté droit de son corps. Elle a également des difficultés à maintenir une posture stable et présente une spasticité musculaire importante.

4.2. Matériels et Analyse de données :

4.2.1. Analyse perceptive :

Avant d'entamer l'analyse acoustique de la dysprosodie, nous avons au préalable effectué une analyse perceptive de la parole de notre patiente à travers la grille perceptive issue de la batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie (BECD) (Auzou & Rouland-Monnoury, 2006) à travers les tâches vocales de lecture à haut voix, le monologue et la répétition rythmée des syllabes (pa/ta/ka).

La grille perceptive propose une analyse systématique de la prosodie portant sur une liste de 11 items définis en quantifiant le degré de perturbation à l'aide d'une échelle de cotation de 5 points.

4.2.2. Analyse acoustique :

Les deux sujets ont été enregistrés dans une salle de consultation au niveau du centre universitaire d'aide en psychologie et en orthophonie au centre universitaire de Tipaza. Leurs voix ont été enregistrées avec un microphone omnidirectionnel connecté à une carte son professionnelle. La fréquence d'échantillonnage était de 96 kHz, la résolution de 16 bits et l'étendu spectral de (50Hz- 20kHz). L'analyse acoustique des mesures d'évaluation de la dysprosodie à savoir : (F0 SD, Int SD, NoP, PDW, rythm, COV) est effectuée à travers le logiciel Praat®, développé par Paul Boersma et David Weenink. Ce logiciel offre une gamme de fonctionnalités avancées pour l'analyse du signal sonore, y compris la spectrographie, la manipulation du pitch, la mesure de l'intensité et bien plus encore. Grâce à sa convivialité et sa flexibilité, Praat® est largement utilisé dans la recherche en phonétique expérimentale et en analyse acoustique du langage.

5. Résultats :

Tableau (1) : Comparaison des résultats de l'analyse perceptive de la prosodie chez une patiente atteint de la paralysie cérébrale et un sujet de control.

Items	Tâches vocales	Points/04	
	Lecture texte/monologue	Cas=n 01	Control=
<i>n 01</i>			
Altération de la prosodie		02	00
Perte des modulations de la hauteur		03	00
Fluctuations excessives de la hauteur		02	01
Perte des modulations de l'intensité vocale		02	00
Fluctuations excessives de l'intensité vocale		02	00
Débit (+/-)		- 02	00
Fluctuations du débit		02	00
Accélérations paroxystiques du débit		03	00
Ruptures de la fluence		03	01
Silences inappropriés		02	00
Palilalie		01	00
Difficultés d'initiation motrice		03	00

0 : pas d'anomalie. 1 : anomalie discrète, uniquement repérable par un examinateur averti, ou anomalie rare. 2 : anomalie modérée ou anomalie occasionnelle. 3 : anomalie marquée ou anomalie fréquente. 4 : anomalie sévère ou anomalie quasi permanente. *Le signe – signifie lent + rapide.*

Tableau (2) : Comparaison des résultats de l'analyse acoustique de la prosodie chez une patiente atteint de la paralysie cérébrale et chez le sujet de control.

Tâches vocale	Variables acoustiques	cas= n 01	control= n 01
monologue*	F ₀ SD	31.08 Hz	02.6 Hz
monologue	Int SD	14.4 dB	03 dB
monologue	NoP	42	07
monologue	PDW	06.59 %	01.51 %
durée de la lecture texte	rythm	07.25 M.	03.20 S.
répétition syllabes (pa/ta/ka)	COV	05.17 %	01.50 %

* Durée monologue : 2.35 Minutes (cas)/ 2.50 Minutes (control).

Le tableau N° 01 révèle des différences significatives dans l'évaluation de la prosodie entre la patiente atteinte de paralysie cérébrale et le sujet de contrôle. La patiente a obtenu la note de 03/04, indiquant une anomalie marquante, dans tous les items liés à la perte de modulation de la hauteur, l'accélération paroxystique du débit, la rupture de la fluence et les difficultés d'initiation motrice. En revanche, le sujet de contrôle ne présente aucun trouble prosodique selon les résultats du même tableau.

Les résultats de l'évaluation acoustique de la dysprosodie affichés dans le tableau N° 02 révèlent aussi des différences significatives entre la patiente atteinte de la dysarthrie et le sujet de contrôle pour toutes les variables acoustiques évaluées (F_0 SD, Int SD, NoP, PDW, rythm, COV). Le pourcentage de nombre de disfluences de mots, et le pourcentage de variation relative de rythme étés nettement supérieur chez la patiente.

Ces résultats nous ont permis de diagnostiquer et d'évaluer la dysprosodie associée à une dysarthrie. Cette étude a démontré l'efficacité des propriétés acoustiques (F_0 SD, Int SD, NoP, PDW, rythme, COV) dans le diagnostic et l'évaluation de la dysprosodie.

CONCLUSION :

Cette étude met en lumière les caractéristiques acoustiques que l'orthophoniste doit utiliser pour diagnostiquer et évaluer la dysprosodie associées à la dysarthrie. Grâce au processus de diagnostic et d'évaluation objective, l'orthophoniste peut identifier les difficultés prosodiques dont souffre le patient et élaborer un programme de traitement adapté et précis.

Enfin, nous recommandons d'élargir cette étude pour inclure un échantillon plus large de patients dans le but de créer une base de données spécifiquement pour les troubles prosodiques chez des patients souffrant de divers types de dysarthries dans le milieu hospitalier algérien.

BIBLIOGRAPHIE :

1. Auzou, P., Rolland-Mannoury, V. (2006). Batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie. Ortho édition. France.
2. De Looze, C., Ghio, A. (2011). La dysprosodie dans les pathologies neurologiques: état des lieux et perspectives. Journées de Phonétique Clinique, Strasbourg, France.

3. Enderby P. (2013). Disorders of communication: dysarthria. *Handbook of clinical neurology*, 110, 273–281. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52901-5.00022-8>.
4. Jacinto-Scudeiro, L. A., Rothe-Neves, R., Dos Santos, V. B., Machado, G. D., Burguêz, D., Padovani, M. M. P., Ayres, A., Rech, R. S., González-Salazar, C., Junior, M. C. F., Saute, J. A. M., & Olchik, M. R. (2022). Dysarthria in hereditary spastic paraplegia type 4. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 78, 100-128. <https://doi.org/10.1016/j.clinsp.2022.100128>.
5. Hassani, I., (2021). La prise en charge orthophonique des enfants atteints de Paralysie Cérébrale : Etat des lieux. *Journal of Human Sciences Oum El Bouaghi University*. 08,03,01-14.
6. Huh, Y. E., Park, J., Suh, M. K., Lee, S. E., Kim, J., Jeong, Y., Kim, H. T., & Cho, J. W. (2015). Differences in early speech patterns between Parkinson variant of multiple system atrophy and Parkinson's disease. *Brain and language*, 147, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2015.04.007>.
7. Kaddour, A., Ferrat, K., Metref, O., & Mechri, Y. (2025). Linguistic Adaptation and Validation of the Algerian Arabic Dialect Voice Handicap Index for Parkinson's Disease Patients. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation*, S0892-1997(25)00114-6.

<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2025.03.018>

8. Novotny, M., Rusz, J., Cmejla, R., Ruzicka E. (2014). Automatic Evaluation of Articulatory Disorders in Parkinson's Disease. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 22(9) :1366– 1378.
9. Rusz, J., Cmejla, R., Ruzickova, H., & Ruzicka, E. (2011). Quantitative acoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson's disease. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(1), 350–367. <https://doi.org/10.1121/1.3514381>.
10. Rusz, J., Cmejla, R., Růžicková, H., Klempíř, J., Majerová, V., Picmausová, J., Roth, J., & Růžicka, E. (2011). Acoustic assessment of voice and speech disorders in Parkinson's disease through quick vocal test. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 26(10), 1951–1952. <https://doi.org/10.1002/mds.23680>.
11. Rusz, J., Hlavnička, J., Tykalová, T., Bušková, J., Ulmanová, O., Růžicka, E., & Šonka, K. (2016). Quantitative assessment of motor speech abnormalities in idiopathic rapid eye movement sleep

behaviour disorder. *Sleep medicine*, 19, 141–147.
<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.07.030>.

12. Šimek, M., & Rusz, J. (2021). Validation of cepstral peak prominence in assessing early voice changes of Parkinson's disease: Effect of speaking task and ambient noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 150(6), 45–22.
<https://doi.org/10.1121/10.0009063>.
13. Postuma, R. B., Lang, A. E., Gagnon, J. F., Pelletier, A., & Montplaisir, J. Y. (2012). How does parkinsonism start? Prodromal parkinsonism motor changes in idiopathic REM sleep behaviour disorder. *Brain: a journal of neurology*, 135(Pt 6), 1860–1870.
<https://doi.org/10.1093/brain/aws093>.
14. Przekop, A., & Sanger, T. D. (2011). Birth-related syndromes of athetosis and kernicterus. *Handbook of clinical neurology*, 100, 387–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52014-2.00030-6>