




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com

ANNALS
 OF PHYSICAL
 AND REHABILITATION MEDICINE

Annals of Physical and Rehabilitation Medicine 53 (2010) 189–199

Update article / Mise au point

Treatment of genu recurvatum in hemiparetic adult patients: A systematic literature review

*Prise en charge du recurvatum de genou chez le patient hémiparétique adulte :
 revue systématique de la littérature*

C. Bleyenheuft ^{a,*}, Y. Bleyenheuft ^b, P. Hanson ^a, T. Deltombe ^a

^a Département de médecine physique et réadaptation, cliniques universitaires de Mont-Godinne, université catholique de Louvain, Yvoir, Belgium

^b Unité de médecine physique et réadaptation, université catholique de Louvain, Bruxelles, Belgium

Received 19 June 2009; accepted 23 December 2009

Abstract

Introduction and methods. – We carried out a systematic review of the literature on treatment of genu recurvatum in hemiparetic adult patients by searching the PubMed, Pedro, Trip Database and Science Direct databases. The following keywords were used: (recurvatum or hyperextension or knee) and (hemiplegia or hemiparesis).

Results. – Nine articles met our selection criteria. Four assessed retraining methods (functional electric stimulation or electrogoniometric feedback), two assessed orthopaedic or neurosurgical treatments and three articles focused on orthoses.

Discussion and conclusion. – Even though all the various treatments produced encouraging results, most of the reviewed studies presented methodological limitations. Moreover, none of the selected articles suggested a treatment strategy which takes account of the various aetiologies in genu recurvatum. On the basis of some of the reviewed articles and our own clinical experience, we propose an aetiology-specific treatment strategy for genu recurvatum patients. In a broad patient population, this categorization could form the basis for testing the specificity of each treatment method as a function of the cause of genu recurvatum. This approach could help confirm the clinical indications and identify the most appropriate treatment for each patient.

© 2010 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Knee; Hemiplegia; Gait; Recurvatum

Résumé

Introduction et méthode. – Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature concernant le traitement du recurvatum de genou chez le patient adulte hémiparétique en parcourant les bases de données PubMed, Pedro, Trip Database et Science Direct, et en utilisant les mots-clés suivants : *recurvatum and hemiplegia/-paresis, hyperextension and hemiplegia/-paresis, knee and hemiplegia/-paresis.*

Résultats. – Neuf articles ont été retenus sur base de nos critères d'inclusion. Quatre d'entre eux évaluent des méthodes de rééducation, soit par stimulation électrique fonctionnelle, soit par feedback électrogoniométrique. Deux autres articles étudient des traitements chirurgicaux, soit orthopédique, soit neurochirurgical. Les trois articles restants sont dédiés à l'appareillage.

Discussion et conclusion. – Les effets des différents traitements évalués semblent encourageants, même s'il existe certaines limites méthodologiques pour la plupart des études. Malheureusement, aucun des articles cités ne propose de prise en charge stratégique tenant compte de l'origine du recurvatum de genou. Sur base de certains de ces articles et de constatations cliniques, nous proposons une stratégie de prise en charge en fonction des différentes étiologies possibles du recurvatum. Cette catégorisation pourrait servir de base pour tester sur de larges échantillons de patients la spécificité des techniques utilisées en fonction de l'origine du recurvatum. Cela permettrait de confirmer les indications cliniques proposées et de cibler les interventions les plus efficaces pour chaque patient.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Genou ; Hémiplégie ; Marche ; Recurvatum

* Corresponding author.

E-mail address: corinne.bleyenheuft@uclouvain.be (C. Bleyenheuft).

1. English version

1.1. Introduction

Genu recurvatum affects between 40 and 68% of hemiparetic stroke patients [17]. From a biomechanical point of view, genu recurvatum occurs during the stance phase. It is characterized by a ground reaction force vector that passes well in front of the knee (Fig. 1). In patients with quadriceps weakness, this phenomenon generates a knee extensor moment which avoids collapse during the stance phase. In other cases, the presence of spastic or retracted muscles (the ankle plantar flexors or the quadriceps, for example) causes knee hyperextension [18]. In clinical practice, gait retraining in genu recurvatum is relatively complex because of (i) the wide variety of possible (and often interlinked) aetiologies and (ii) variability in the expression of the patient's pyramidal syndrome [9,12,18]. Furthermore, genu recurvatum is often associated with other kinematic gait anomalies, such as equinus foot or stiff knee. The various causes of genu recurvatum are as follows:

- weakness of the knee extensors. In biomechanical terms, the patient keeps the knee in hyperextension so as to keep the ground reaction force in front of the knee, which prevents the latter from collapsing. This compensatory mechanism is also used by patients suffering from peripheral paralysis of the quadriceps (due to neuropathy in the legs or the sequelae of poliomyelitis, etc.);
- spasticity of the knee extensors (the vastus muscles). Usually, at the start of the stance phase, one observes discrete knee flexion in an eccentric movement, which helps dampen the impact of foot-ground contact. In the event of knee extensor spasticity during the stance phase, this normal knee flexion turns into abnormal extension;
- weakness of the buttock muscles leads to forward pelvic tilt and lumbar hyperlordosis, excessive hip flexion and compensatory knee hyperextension. This is a classic gait pattern in L5 spine-injured patients;

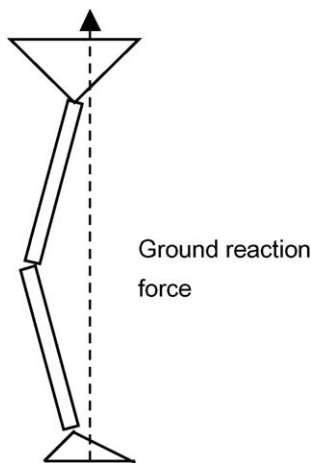


Fig. 1. Genu recurvatum and the ground reaction force. Representation of the patient's leg in the stance phase. The ground reaction force vector (dotted line) is well forward of the knee.

- weakness of the knee flexors (the hamstring muscles). This weakness can also be iatrogenic in cases of over-extension of the hamstring muscles, as described in children with cerebral palsy [9]. In the stance phase, contraction of the knee flexor muscles is needed to control knee flexion – especially if the extensors are spastic. Conversely, spasticity of the knee flexors will generate excessive, permanent knee flexion;
- limited dorsal ankle flexion, as a result of spasticity and/or retraction of the muscles in the posterior compartment of the leg. In this case, the knee is positioned in hyperextension due to the patient's inability to move the tibia forward during the stance phase, as a result of ankle stiffness. If the patient wishes to avoid genu recurvatum (and as long as the knee flexors are sufficiently strong), he/she will have to adopt an equinus gait pattern;
- avoidance of painful pressure on the ball of the foot. As in the case of spasticity or retraction of the muscles in the posterior compartment of the leg, advancement of the tibia is restricted and generates hyperextension;
- proprioceptive disorders. As with weakness of the knee extensors, hyperextension enables safe step-to-step transition, without the risk of poor knee control and subsequent collapse.

It is also common to see several aetiologies in the same patient, such as (i) a combination of ankle plantar flexor spasticity and quadriceps weakness or (ii) spasticity of the quadriceps associated with a proprioceptive disorder and retraction of the ankle plantar flexors. Accurate determination of the main cause(s) of recurvatum is an essential step in adjusting the retraining programme and identifying appropriate treatments for the spasticity and/or retraction.

The goal of the present study was to perform a systematic review of the literature on the treatment of genu recurvatum in the hemiparetic adult patient, in order to (i) determine whether there is an appropriate treatment for each possible aetiology and (ii) generate concrete proposals for patient management.

1.2. Method

We performed a systematic literature review. The first two authors of the present paper independently searched the PubMed, Pedro, Trip Database and Science Direct databases by using the following keywords: (recurvatum or hyperextension or knee) and (hemiplegia or hemiparesis).

The article selection criteria were as follows:

- studies performed on hemiparetic adult subjects;
- studies describing the study population (genu recurvatum);
- full papers published in French or English in a peer-reviewed journal (case-reports were thus excluded).

1.3. Results

On the basis of the retrieved abstracts, we selected 49 articles. After reading the full texts, eight papers matched our selection criteria and are listed in Table 1. Inspection of the

Table 1
Treatment of genu recurvatum in hemiparetic adult patients: results of the systematic literature review.

Authors	Subjects	Treatment method evaluated	Cause of the recurvatum	Variables studied	Type of study	Results
Stanic et al. (1978)	15 included patients 11 performed the full programme (3–48 months after stroke) 8 of the 11 patients presented knee hyperextension in the stance phase	Retraining with multichannel functional electrical stimulation (3 times a week for 1 month, 1 month's rest, then resume for 1 month) – stimulated muscles: ankle DF/PF, knee flex/ext, hip ext/abd	Not specified	Clinical, qualitative gait analysis	Prospective, no control group	Knee hyperextension of improved in 7 of the 8 patients, stable for 1
Hogue and McCandle (1983)	13 patients	Retraining with electrogoniometric feedback (beep from 0° extension) – gait with the device 4 × 55 feet for 10 days with a physiotherapist, then 5 days without the physiotherapist, then 5 days with the physiotherapist	Not specified	Number of beeps	Prospective, no control group	Decrease in the number of beeps
Basaglia et al. (1989)	18 patients	Retraining with electrogoniometric feedback (signal at 180° to avoid hyperextension) – duration depending on the patient's progress, stopping when there is a decrease in errors on 5 consecutive days	Not specified	Spontaneous gait speed Max gait speed Number of errors (recurvatum during the stance phase)	Prospective, no control group	Decrease in the recurvatum after 12 sessions, on average. Results maintained after 1 year
Morris et al. (1992)	26 stroke patients (< 4 months)	Retraining with electro-goniometric feedback versus classical physiotherapy	Not specified	Max knee extension MAS 10 m test Gait symmetry	Prospective and randomized	Decrease in knee hyperextension Increase in MAS 10 m test: no change
Pinzur et al. (1986)	54 patients with spastic equinus (equinovarus), > 1 year after stroke 3 groups: I dynamic varus (15% patients) II spastic equinovarus and knee hyperextension (70%) III knee hyperextension +++ (15%)	Orthopaedic surgery: lengthening of the Achilles tendon + lateral transfer of the TA, + lengthening of the toe flexors (group A), + for 12 patients: lengthening of the TP (group B)	Not specified	Multifactorial gait analysis (ultrasound gait monitor for measuring the duration of the stance phase/swing phase, EMG, electrogoniometer) Need for an orthosis or not	Prospective - control group with 30 healthy subjects	Recurvatum: qualitative improvement of gait 10 patients in group II → I 1 patient in group III → II group A same as group B Decreased need for orthosis Normalization of stance phase/swing phase duration
Caillet et al. (1998)	9 patients presenting spastic equinovarus foot - genu recurvatum in 6 of them	Selective tibial neurectomy (variously the nerve(s) to the soleus, gastrocnemius medialis and lateralis, TP, toe flexor/ flexor hallucis longus, brevis)	Not specified	Gait analysis (Vicon system) before and 6 months after neurectomy	Prospective - no control group	No change in stance phase/ swing phase duration Correction of knee hyperextension in 5 out of 6 patients
Farncombe (1980)	11 patients	Retraining with an anti-recurvatum orthosis (Swedish knee cage) for 6 months	Not specified	Clinical observation of the presence or absence of recurvatum during gait	Cohort follow-up	Independent gait with good knee control without the need for an orthosis in 9 out of 11 patients

Table 1 (Continued)

Authors	Subjects	Treatment method evaluated	Cause of the recurvatum	Variables studied	Type of study	Results
Morinaka et al. (1982)	36 patients included 25 evaluated -Brunnstrom stage 3 to 3.5	Use of a jointed leg-foot brace with a range of knee movement from 0 to 130°	Not specified	Observation of the gait pattern Gait speed test	Prospective, control group of 15 patients wearing an ankle-foot orthosis	Better gait pattern Increase in gait speed compared with the control group
Morinaka et al. (1984)	120 patients included - 82 evaluated - 3 groups: Group A: unable to walk without the leg-foot brace (53); Group B: gait improved by the leg-foot brace (29); Group C: gait reasonable with an ankle-foot orthosis (0)	Use of a jointed leg-foot brace with a range of knee movement from 10 to 130° (mean duration: 21 months).	Not specified	Follow-up of the patients, evaluation of the number of patients moving from one group to another Evaluation of the dynamic EMG with and without an orthosis for 2 patients	Cohort follow-up	Change over time for the patients: Group A → 29; Group B → 35; Group C → 18 Dynamic EMG: for 2 patients, quasi-normalization of the muscle activation times after wearing a full leg-foot brace

DF: dorsal flexors; PF: plantar flexors; Flex: flexors; Ext: extensors; Abd: abductors; Max: maximum; TA: tibialis anterior; TP: tibialis posterior; EMG: electromyography; MAS: motor assessment scale.

bibliographic references in the selected articles yielded an additional paper for inclusion in the review.

Of the nine articles selected in this systematic review, four evaluated retraining methods (functional electrical stimulation [21] or electrogoniometric feedback [1,11,17]), two dealt with surgical and orthopaedic treatments [4,20], and three focused on orthotic devices [8,15,16].

1.4. Discussion

The majority of the nine selected studies were prospective and did not include a control group. Only one prospective, randomized study was identified [17]. On the whole, the various treatments appear to have positive outcomes, despite the presence of methodological limitations. In addition to the absence of a control group [1,4,8,11,15,21], some studies did not specify the time period between the stroke and the patient evaluation [1,4,8,11,15,16], whereas others featured a mixture of acute-phase subjects (i.e. less than six months after the stroke) and chronic-phase subjects (more than six months after the stroke) [21]. The validity of certain evaluation methods is also questionable – mainly in the studies based primarily on observation of gait patterns [1,8,16,17,21]. The study by Caillet et al. [4] was the only one to include a pre- versus post-treatment instrumented gait analysis. Furthermore, five of the selected studies featured small sample sizes (< 20 patients) [1,4,8,11,21]. Studies evaluating the effect of surgical treatments lacked standardisation. Although all 54 patients treated orthopaedically by Pinzur et al. [20] underwent lengthening of the Achilles tendon extension and lateral transfer of the tibialis anterior muscle, 12 also underwent release of the tibialis posterior. The other 42 patients underwent lengthening of the toe flexors. In Caillet et al.'s neurosurgical study [4], the nine patients underwent selective tibial neurotomy; this variously included the nerves to the soleus, the gastrocnemius medialis and lateralis, the tibialis posterior and/or the toe flexors. It is noteworthy that surgical treatments were always performed distally, in order to correct spasticity-retraction of muscles in the posterior compartment of the leg. To date, proximal surgical treatment (with a view to treating spasticity of the quadriceps, for example) has not been described in the literature. Most of the articles examining retraining methods [1,17,21] focused on the importance of motor control and gait cycle disorders generated by abnormal muscle activation times. However, as mentioned above, the evaluation methods used by these authors (based on the mere observation of gait patterns, in the absence of objective, instrumented gait analysis) limit the conclusions that can be drawn from these works.

Lastly, none of the articles suggested a patient management strategy based on the various aetiologies possible, i.e. knee extensor weakness or spasticity, weakness of the buttock muscles, weakness or over-extension of the hamstring muscles, limited dorsal ankle flexion as a result of spasticity and/or retraction of the muscles in the posterior compartment of the leg, avoidance of painful pressure on the ball of the foot and, lastly, proprioceptive disorders [9,12,18]. These various aetiologies (especially the first five) are frequently encountered

in hemiparetic patients and can also be combined. The most typical example is a combination of knee extensor and sural triceps spasticity with hamstring weakness, which keeps the knee in hyperextension throughout the cycle gait.

The fact that the genu recurvatum patients seen in routine clinical practice often have several aetiologies may explain why the various authors cited above did not attempt to take account of this parameter in their treatment. However, systematic consideration of one or more aetiologies can help the clinician decide on the appropriate therapeutic option.

The question remains as to why genu recurvatum should indeed be treated. Firstly, the resulting gait pattern is sometimes considered to be inaeesthetic by the patient. Secondly, hyperextension during the stance phase increases the latter's duration and makes it difficult to achieve spatially and temporally symmetrical gait. Thirdly, genu recurvatum (or rather the absence of knee flexion) extends the limb and increases the external mechanical work linked to elevation of the body's centre of mass and thus the energy cost of gait. Lastly, and probably most importantly, genu recurvatum can be painful as a result of stress to the ligaments and tendons at the back of the knee.

Once genu recurvatum had been categorized according to its aetiology, the clinician can consider various treatment options. We derived our strategy for the aetiology-based treatment of genu recurvatum from our own clinical practice and insights gained from a number of scientific publications. Evaluation of the "aetiology-treatment" pairs suggested by various authors also opens up research perspectives and provides an opportunity to better match a patient's treatment to his/her specific condition.

In cases of knee extensor weakness [18], it is important for a patient to maintain recurvatum; this enables him/her to take steps safely, with a load line, which stays in front of the knee, as in femoral amputees or polio victims. A hinged leg orthosis may be useful for stopping the recurvatum from worsening but the device must be adjusted so that the patient can maintain slight recurvatum in the stance phase. If the risk of knee unlocking is high, a rigid, full leg brace that maintains the knee in extension may be useful for both correcting recurvatum and countering the risk of unlocking. However, this type of orthosis has many disadvantages: it is bulky, uncomfortable in the sitting position and may be difficult to put on by a hemiplegic patient who may often have only one fully functional arm [12,19].

In cases of knee extensor spasticity (the impact of which is often aggravated by hamstring weakness), genu recurvatum is present during both the swing phase ("stiff-knee gait") and stance phase of gait [18]. This gait pattern is difficult to correct. Recently, botulinum toxin injections in the quadriceps were shown to improve knee flexion in the swing phase and to reduce the energy cost of gait [5,22]. However, this improvement was not clinically obvious and did not exceed 5° of knee flexion. We did not identify any literature publications dealing with the effect of treating quadriceps spasticity on genu recurvatum.

When the patient presents significant hamstring weakness and/or overextension (as has been described in children with cerebral palsy [9]), concentric reinforcement of the hamstring

muscles and use of an ankle-foot orthosis with limited plantar flexion [10,13,14] can help the subject to control their knee during the stance phase.

In cases of buttock muscle weakness [18] (leading to excessive hip flexion and compensatory knee hyperextension), a combination of analytical reinforcement of the buttock muscles and functional electrical stimulation [6] can help the patient to change his/her gait pattern. This aetiology (cited in J. Perry's book [18]) is not, however, mentioned in any of the articles selected for review. Nevertheless, we note that the study by Stanic et al. [21] on multichannel functional electrical stimulation included the hip extensors as target muscles.

When there is spasticity of the posterior leg muscles or the knee extensors, it may be useful to consider focal treatment of the spasticity (e.g. botulinum toxin injections or selective neurotomy), as suggested by Caillet et al. [4]. When the spasticity is complicated by irreducible retraction of the posterior leg muscles, two therapeutic options can be envisaged. The first consists in surgical extension of the muscle and tendon systems at the back of the leg (i.e. the Achilles tendon and the toe flexors), as proposed by Pinzur et al. [20]. The second involves conservative treatment via the use of orthopaedic shoes, with compensation of equinus foot. When treatment of spasticity and retraction is not possible or not sufficient, an appropriate device (a hinged ankle-foot orthosis with limited plantar flexion, in this case) can help the patient to progressively adopt a different gait pattern [10,13,14]. However, one should note that in cases of associated quadriceps weakness, an ankle-foot orthosis will prevent the ankle from positioning itself in dorsal flexion; this runs the risk of generating knee flexion on heel strike, which may well "unlock" the flexed knee and induce a fall [13]. The effect of the Chignon[®] orthosis on gait kinematics, mechanics and energetics has recently been studied in 10 hemiparetic adult patients [2]. Only three of the subjects presented genu recurvatum, which was not significantly improved by wearing the Chignon[®] orthosis. This surprising absence of improvement may be related to either suboptimal adjustment of the orthosis or the additional presence of quadriceps spasticity.

In cases of deliberate genu recurvatum in order to avoid painful pressure on the ball of the foot, treatment of the cause of the pain should be considered. In fact, the pain is often caused by a painful, spastic toe curl, which may benefit from treatment with botulinum toxin or tendon extension [4,24]. There may also be overpressure pain at the heads of the metatarsals or pain related to hallux valgus. In both circumstances, use of orthopaedic insoles and/or appropriate footwear can relieve the pain. We did not find any publications that specifically discussed this latter point in the hemiparetic adult.

Lastly, in the absence of spasticity and/or weakness of the above-mentioned muscle groups, genu recurvatum can occur when major sensory disorders are present. One then considers that genu recurvatum is generated by proprioceptive disorders. This aetiology is scarcely covered in the literature: even Morris et al. [17] do not cite proprioceptive disorders as a possible cause of recurvatum, despite having studied the impact of electrogoniometric feedback therapy on knee control. If the

proprioceptive impairment is minor, an ankle-foot orthosis with limited plantar flexion can help the patient to adequately position his/her knee during the swing phase. An anti-recurvatum orthosis (such as the Swedish Knee Cage) may also be of value in proprioceptive retraining [8]. If the proprioceptive impairment is significant, the same reasoning as in cases of quadriceps weakness can be adopted and use of a full leg brace with free or locked flexion may be considered.

In practice, a combination of these different aetiologies is frequently observed and thus forms a more complex clinical picture. In such cases, a step-by-step analysis should enable the physician to progressively determine the most appropriate treatment. For example, if the patient presents spasticity of the ankle plantar flexors and/or toe flexors and/or quadriceps, the first step consists in performing selective motor nerve blocks [7,23] and then botulinum toxin injections (together with an intensive physiotherapy programme and orthosis use), with a view to reprogramming the gait pattern. Depending on the results obtained once the spasticity has disappeared, the physician can think about the potential utility of surgical treatment (neurotomy or muscle lengthening procedures [3]).

1.5. Conclusion

The nine articles selected in this systematic review of the literature looked at the overall treatment of genu recurvatum, either via retraining methods (electrical functional stimulation and electrogoniometric feedback), orthopaedic or neurosurgical surgery or use of an orthosis. None of the selected studies specified the cause of genu recurvatum in their patients. In the Discussion section, we emphasized the value of taking the possible aetiologies (related to variable expression of the hemiparetic patient's pyramidal syndrome) into account and thus fine-tuning the overall patient management programme. Given the prevalence of genu recurvatum in hemiparetic patients, we believe that it is important to test the suggested treatment techniques as a function of the aetiology. In concrete terms, chronic-phase patients (i.e. more than six months after the stroke) could be classified according to the likely aetiology and evaluated with an objective tool (such as instrumented gait analysis) before and after treatment. This type of clinical study would help to confirm the clinical indications suggested in this literature review and determine the most effective treatment for each patient. Likewise, protocols that evaluate the change over time in motor command following a specific physiotherapy programme should include instrumented gait analysis with dynamic electromyography, with a view to evaluating muscle activation times during the gait cycle.

2. Version française

2.1. Introduction

Le recurvatum de genou affecte 40 à 68 % des patients hémiparétiques après un accident vasculaire cérébral (AVC) [17]. D'un point de vue biomécanique, le recurvatum de genou

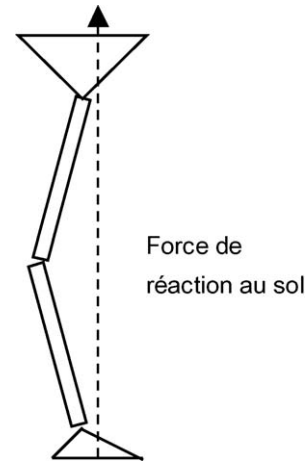


Fig. 1. Recurvatum de genou et force de réaction au sol. Représentation d'un membre inférieur pathologique en phase d'appui. Le vecteur de force de réaction au sol (flèche pointillée) passe nettement en avant du genou.

survient durant la phase d'appui. Il est caractérisé par un vecteur de force de réaction au sol passant nettement en avant du genou (Fig. 1). En cas de faiblesse importante du muscle quadriceps, ce phénomène génère un moment extenseur de genou qui évite l'effondrement durant la phase d'appui. Dans d'autres cas, c'est la présence de muscles spastiques ou rétractés qui sera à l'origine de l'hyperextension de genou (par exemple, les fléchisseurs plantaires de cheville ou le quadriceps) [18]. En pratique clinique, la prise en charge rééducative du recurvatum de genou est relativement complexe en raison de la diversité des étiologies possibles, souvent intriquées, liées à la variabilité d'expression du syndrome pyramidal [9,12,18]. Par ailleurs, il est souvent associé à d'autres anomalies de la cinématique de marche telles que le pied varus équin ou le *stiff knee gait*. Les causes du recurvatum sont :

- le déficit de force des extenseurs de genou. Sur le plan biomécanique, le patient, dans ce cas de figure, maintient le genou en hyperextension pour faire passer la force de réaction au sol devant le genou, ce qui empêche l'effondrement. Ce mécanisme de compensation est également utilisé par les patients porteurs d'une paralysie périphérique du quadriceps (neuropathie crurale, séquelle de poliomyélite...);
- la spasticité des extenseurs de genou (vastes). Normalement, on observe une discrète flexion de genou en début de phase d'appui selon un mode excentrique qui permet d'amortir les répercussions du contact du pied au sol. En cas de spasticité des extenseurs de genou s'exprimant en phase d'appui, cette flexion physiologique de genou se transforme en une extension pathologique;
- la faiblesse des muscles fessiers entraîne une antéversion du bassin associée à une hyperlordose lombaire, à une flexion de hanche excessive et à une hyperextension de genou compensatrice. Il s'agit d'un pattern de marche classique chez les patients blessés médullaires de niveau L5;
- la faiblesse des muscles fléchisseurs de genou (ischiojambiers). Cette faiblesse peut également être iatrogène en cas

d'allongement excessif des muscles ischiojambiers, comme décrit chez l'enfant infirme moteur cérébral (IMC) [9]. La contraction des muscles fléchisseurs de genou est nécessaire en phase d'appui afin de contrôler la flexion du genou surtout si les extenseurs sont spastiques. À l'inverse, une spasticité des fléchisseurs de genou générera une flexion permanente excessive du genou ;

- la limitation de la flexion dorsale de cheville, consécutive à une spasticité et/ou à une rétraction des muscles de la loge postérieure de la jambe. Dans ce cas, le genou est positionné en hyperextension suite à l'impossibilité d'avancer le tibia durant la phase d'appui en raison de la raideur de la cheville. Si le patient souhaite éviter le recurvatum de genou, il devra marcher en équin (si toutefois la force des fléchisseurs de genou le lui permet) ;
- de l'évitement de l'appui sur l'avant-pied en raison de douleurs. Comme dans le cas de la présence d'une spasticité ou d'une rétraction des muscles de la loge postérieure de la jambe, l'avancée du tibia est limitée, ce qui génère l'hyperextension ;
- de troubles proprioceptifs. Comme dans le cadre du déficit de force des extenseurs de genou, l'hyperextension dans ce cas permet un passage du pas en sécurité, sans risque d'effondrement lié au mauvais contrôle du genou.

Il est également fréquent de rencontrer des étiologies combinées, par exemple associant chez le même patient spasticité des fléchisseurs plantaires de cheville et faiblesse du quadriceps, ou un quadriceps spastique associé à des troubles proprioceptifs et une rétraction des fléchisseurs plantaires de cheville. La détermination précise de la ou des causes principales du recurvatum est une étape essentielle afin d'adapter le programme de rééducation et les éventuels traitements de la spasticité et/ou de la rétraction.

L'objectif de cette étude est d'effectuer une revue systématique de la littérature concernant le traitement du recurvatum de genou chez le patient hémiparétique, afin de déterminer s'il existe un traitement adapté en fonction de chaque étiologie possible, pour arriver à des propositions concrètes pour la prise en charge de ces patients.

2.2. Méthode

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature. Les deux premiers auteurs de ce travail ont parcouru de façon indépendante les bases de données PubMed, Pedro, Trip Database et Science Direct en utilisant les mots-clés suivants : *recurvatum and hemiplegia/paresis, hyperextension and hemiplegia/paresis, knee and hemiplegia/paresis*.

Les critères d'inclusion dans cette revue étaient les suivants :

- étude réalisée sur des sujets hémiparétiques adultes ;
- incluant une description de la population étudiée (recurvatum de genou) ;
- article *full paper* publié en français ou en anglais dans une revue *peer-reviewed* (les *case-reports* ont donc été exclus).

2.3. Résultats

Nous avons sélectionné 49 articles sur base de la lecture des résumés. Après lecture des articles, huit d'entre eux ont été retenus sur base des critères d'inclusion et sont donc repris dans la **Tableau 1**. La lecture des références des articles sélectionnés a ensuite permis d'inclure un article supplémentaire dans notre revue.

Parmi les neuf articles sélectionnés au cours de cette revue systématique de la littérature, quatre évaluent des méthodes de rééducation, soit par stimulation électrique fonctionnelle [21], soit par feedback électrogoniométrique [1,11,17]. Deux articles traitent de traitements chirurgicaux, soit orthopédique [4,20]. Les trois articles restants sont dédiés à l'appareillage [8,15,16].

2.4. Discussion

Les neuf études sélectionnées sont en grande majorité prospectives et ne comprennent pas de groupe témoin, une seule d'entre elles étant prospective et randomisée [17]. Globalement, les effets des différents traitements évalués semblent encourageants, même si la plupart de ces études sont confrontées à des limites méthodologiques. En effet, outre l'absence de groupe témoin [1,4,8,11,15,21], certaines d'entre elles ne précisent pas le délai post-AVC des patients évalués [1,4,8,11,15,16], d'autres mélangent des patients en phase aiguë (moins de six mois après AVC) et en phase chronique (plus de six mois après AVC) [21]. Certaines méthodes d'évaluation sont également discutables, surtout pour les études dont les résultats sont essentiellement basés sur l'observation du pattern de marche [1,8,16,17,21]. Seule l'étude de Caillet et al. [4] inclut une analyse quantifiée de la marche dans son évaluation avant/après traitement. Par ailleurs, cinq des études sélectionnées incluent un nombre de patients réduit (moins de 20) [1,4,8,11,21]. En ce qui concerne les études évaluant l'effet de traitements chirurgicaux, on observe une absence de standardisation des traitements. En effet, sur le plan orthopédique, les 54 patients évalués par Pinzur et al. [20] ont tous bénéficié d'un allongement du tendon d'Achille et d'un transfert latéral du jambier antérieur, mais 12 d'entre eux ont en plus bénéficié d'un allongement du muscle jambier postérieur. Les 42 patients restant ont bénéficié d'un allongement des fléchisseurs des orteils. Sur le plan neurochirurgical, les neuf patients évalués par Caillet et al. [4] ont bénéficié d'une neurotomie tibiale sélective incluant, selon les cas, le nerf du soleus et/ou du gastrocnemius medialis et lateralis et/ou du nerf du tibialis posterior et/ou des fléchisseurs des orteils. Il convient de noter que les traitements chirurgicaux étaient toujours réalisés distalement pour corriger une spasticité-rétraction des muscles de la loge postérieure de la jambe. Aucun traitement chirurgical n'a été à ce jour décrit au niveau proximal, par exemple, pour traiter la spasticité du quadriceps. Dans la plupart des articles évaluant des méthodes de rééducation [1,17,21], l'attention est portée sur l'importance du contrôle moteur et des désordres générés par un temps d'activation anormal des muscles au cours du cycle de marche. Toutefois, comme spécifié précédemment, les méthodes d'évaluation

Tableau 1

Prise en charge du recurvatum de genou chez le patient hémiparétique adulte : résultats de la revue systématique de la littérature.

Auteurs	Sujets	Méthode de traitement évaluée	Origine du recurvatum	Variabes étudiées	Type d'étude	Résultats
Stanic et al. (1978)	15 patients inclus ; 11 ont réalisé le programme complet (3–48 mois > AVC) ; 8 patients/11 présentent une hyperextension du genou en phase d'appui	Rééducation par stimulation électrique fonctionnelle sur plusieurs canaux (1 mois 3 ×/semaine, repos 1 mois, reprise 1 mois) – muscles stimulés : FD/FP cheville, fléch/ext genou, ext/abd hanche	Non précisée	Analyse de marche clinique qualitative	Prospective, pas de groupe témoin	Hyperextension de genou améliorée pour 7 patients/8, stable pour 1
Hogue and McCandle (1983)	13 patients	Rééducation par feedback électrogoniométrique (bip à partir de 0° d'extension) – marche appareillée 4 × 55 pieds pdt 10 jours avec un kiné, suivis de 5 jours sans le kiné, puis de 5 jours avec kiné	Non précisée	Nombre de bips	Prospective, pas de groupe témoin	↓ nombre bips
Basaglia et al. (1989)	18 patients	Rééducation par feedback électrogoniométrique (signal à 180° pour éviter hyperextension) – durée fonction des progrès du patient, stop quand ↓ erreurs pendant 5 jours consécutifs	Non précisée	Vitesse de marche spontanée Vitesse de marche max Nombre d'erreurs (recurvatum durant la phase d'appui)	Prospective, pas de groupe témoin	↓ du recurvatum après 12 sessions en moyenne – résultats maintenus à 1 an
Morris et al. (1992)	26 patients post-AVC (< 4 mois)	Rééducation par feedback électrogoniométrique versus kiné classique	Non précisée	Extension max de genou Motor Assessment Scale (MAS) Test 10 m Symétrie de la marche	Prospective et randomisée	↓ hyperextension genou ↑ MAS Test 10 m = Symétrie =
Pinzur et al. (1986)	54 patients avec (varus) équin spastique, > 1 an après AVC 3 groupes : I varus dynamique (15 % patients), II varus équin spastique et hyperextension genou (70 %), III hyperextension genou +++ (15 %)	Chirurgie orthopédique : allongement tendon d'Achille + transfert latéral JA + allongement des fléchisseurs des orteils (groupe A) + pour 12 patients : allongement du JP (groupe B)	Non précisée	Analyse de marche multifactorielle (ultrasonic gait-monitor permettant de mesurer la durée de phase d'appui/phase oscillante, emg, électrogoniomètre) Besoin ou non d'une orthèse	Prospective, groupe témoin de 30 sujets sains	Recurvatum : amélioration qualitative de la marche 10 patients groupe II → I, 1 patient groupe III → II Groupe A = B ↓ besoin d'orthèse Normalisation durée phase d'appui/phase oscillante
Caillet et al. (1998)	9 patients présentant un pied varus équin spastique – recurvatum de genou chez 6 d'entre eux	Neurotomie tibiale sélective (selon les cas, nerf du soleus, gastrocnemius medial et lateral, tibialis post, flexor digitorum/hallucis longus, brevis)	Non précisée	Analyse de marche (système Vicon) avant et 6 mois après neurotomie	Prospective, pas de groupe témoin	Pas de modif. durée phase d'appui/phase oscillante Correction de l'hyperextension de genou pour 5 patients/6
Farncombe (1980)	11 patients	Rééducation avec orthèse anti-recurvatum de genou (swedish knee cage) pendant 6 mois	Non précisée	Observation clinique de la présence ou non d'un recurvatum lors de la marche	Suivi de cohorte	Marche indépendante avec bon contrôle du genou sans orthèse pour 9 patients/11
Morinaka et al. (1982)	36 patients inclus 25 évalués – stade 3–3,5 de la classification de Brunnstrom	Appareillage par orthèse cruropédieuse avec articulation de genou permettant une amplitude de mouvement allant de 10° à 130°	Non précisée	Observation du pattern de marche Test de vitesse de marche	Prospective, groupe témoin de 15 patients appareillés avec une orthèse suropédieuse	Meilleur pattern de marche ↑ vitesse de marche par rapport au groupe témoin

Morinaka et al. (1984)	120 patients inclus 82 évalués – 3 groupes : Groupe A : incapable de marcher sans l'orthèse cruropédieuse (53) ; Groupe B : marche améliorée avec l'orthèse cruropédieuse (29) ; Groupe C : marche ok avec orthèse suropédieuse (0)	Appareillage par orthèse cruropédieuse avec articulation de genou permettant une amplitude de mouvement allant de 10° à 130° (durée moyenne de 21 mois)	Non précisée	Suivi des patients dans le temps, évaluation du nombre de patients passant d'un groupe à l'autre Evaluation de l'EMG dynamique avec et sans orthèse pour 2 patients	Suivi de cohorte	Évolution des patients : Groupe A → 29 Groupe B → 35 Groupe C → 18 Emg dynamique : pour 2 patients, quasi normalisation du temps d'activation des muscles suite au port de l'orthèse cruropédieuse
------------------------	--	---	--------------	--	------------------	--

AVC : accident vasculaire cérébral ; FD : fléchisseurs dorsaux ; FP : fléchisseurs plantaires ; Fléch : fléchisseurs ; Ext : extenseurs ; Abd : abducteurs ; Pdt : pendant ; Max : maximum ; JA : jambier antérieur ; JP : jambier postérieur ; Modif : modification ; EMG : électromyographie.

utilisées par les auteurs (résultats basés sur la simple observation du pattern de marche ; absence d'évaluation objective par analyse quantifiée de la marche) limitent malheureusement les conclusions que l'on peut en tirer.

Finalement, il apparaît qu'aucun des articles cités ne propose de prise en charge stratégique tenant compte des différentes étiologies possibles, à savoir : le déficit de force ou la spasticité des extenseurs de genou, la faiblesse des muscles fessiers, la faiblesse ou l'allongement excessif des muscles ischiojambiers, la limitation de la flexion dorsale de cheville consécutive à une spasticité et/ou à une rétraction des muscles de la loge postérieure de la jambe, l'évitement de l'appui sur un avant-pied douloureux et, enfin, les troubles proprioceptifs [9,12,18]. Ces différentes étiologies, fréquemment rencontrées chez les patients hémiparétiques – en tout cas pour les cinq premières citées – peuvent également être combinées, le schéma le plus classique associant une spasticité des extenseurs de genou et du triceps sural avec une faiblesse des ischiojambiers positionnant le genou en hyperextension tout au long du cycle de marche.

Les fréquentes combinaisons d'étiologies chez les patients rencontrés en routine clinique peuvent expliquer le choix des auteurs cités de ne pas prendre en compte les différentes étiologies dans les études que nous venons de détailler. Toutefois, même lors d'étiologies combinées, une réflexion systématique peut aider le clinicien dans ses choix thérapeutiques.

La question reste posée de savoir pourquoi il convient de traiter le recurvatum de genou. Premièrement, il s'agit d'un pattern de marche parfois vécu comme inesthétique par les patients. Ensuite, le mouvement d'hypextension durant la phase d'appui augmente la durée de la phase d'appui. Il est dès lors difficile d'obtenir dans de telles conditions une marche symétrique sur le plan spatial et temporel. Troisièmement, le recurvatum de genou (ou plutôt l'absence de flexion de genou) allonge le membre et génère une augmentation du travail mécanique externe lié à l'élévation du centre de masse corporelle et donc du coût énergétique à la marche. Enfin, et probablement surtout, le recurvatum de genou peut être douloureux en raison de contrainte au niveau des structures ligamentaires et tendineuses de la face postérieure du genou.

À partir d'une catégorisation du recurvatum de genou en fonction de l'étiologie observée, différents types de prise en charge peuvent être proposés au clinicien. Ces propositions de traitements basées sur l'origine du recurvatum sont issues d'observations émanant de la pratique clinique et de certains articles scientifiques. L'évaluation des tandems « étiologie-traitement » proposés par les auteurs fournit également des pistes de recherche pour le futur afin d'améliorer l'adéquation des traitements aux pathologies spécifiques des patients.

En cas de « déficit de force des extenseurs de genou » [18], il semble important que le patient puisse conserver un recurvatum lui permettant de passer le pas « en sécurité », avec une ligne de charge qui passera devant le genou, comme chez les patients amputés fémoraux ou poliomyélitiques. Une orthèse cruropédieuse avec flexion libre peut alors avoir un intérêt pour éviter une aggravation du recurvatum, mais elle doit être réglée de

manière à ce que le patient puisse conserver un léger recurvatum en phase d'appui. Si le risque de déverrouillage est important, une orthèse cruropédieuse maintenant le genou en extension peut être utile pour corriger à la fois le recurvatum et le déverrouillage. Ce type d'orthèse présente cependant de nombreux désavantages : encombrement, inconfort en position assise et difficulté de mise en place par le patient hémiparétique présentant souvent un seul membre supérieur fonctionnel [12,19].

En cas de « spasticité des extenseurs de genou », dont l'effet est souvent aggravé par la faiblesse des ischiojambiers, le recurvatum de genou est présent tant en phase oscillante du pas (*stiff-knee gait*) qu'en phase d'appui [18]. Il s'agit d'un schéma de marche difficile à corriger. Récemment, l'efficacité des injections de toxine botulique au niveau du quadriceps a été démontrée dans l'amélioration de la flexion de genou en phase oscillante du pas et dans la réduction du coût énergétique à la marche [5,22]. Cependant, cette amélioration était cliniquement discrète, n'excédant pas 5° de flexion de genou. Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de publication évoquant l'impact d'un traitement de la spasticité du quadriceps sur le recurvatum de genou.

Lorsque le patient présente « une faiblesse importante ou une souplesse excessive des ischiojambiers », comme décrit chez l'enfant IMC [9], un renforcement concentrique des ischiojambiers associé au port d'une orthèse suropédieuse à flexion plantaire limitée [10,13,14] peut aider le patient à contrôler son genou durant la phase d'appui.

En cas de « faiblesse des muscles fessiers » [18], entraînant une flexion de hanche excessive et une hyperextension de genou compensatrice, un renforcement analytique des muscles fessiers associé à une prise en charge en stimulation électrique fonctionnelle [6] peut aider le patient à modifier son schéma de marche. Cette étiologie, référencée dans le livre de J. Perry [18], n'est toutefois évoquée dans aucun des articles sélectionnés dans le cadre de notre revue. Notons cependant que l'article de Stanic et al. [21], consacré à la stimulation électrique fonctionnelle sur plusieurs canaux, inclut les extenseurs de hanche dans les muscles stimulés.

Lorsqu'il existe une « spasticité des muscles de la loge postérieure de la jambe ou des extenseurs de genou », il semble intéressant d'envisager un traitement focal de la spasticité (ex. : injections de toxine botulinique ou neurotomies sélectives), comme proposé par Caillet et al. [4]. Lorsque la spasticité est compliquée d'une rétraction « irréductible des muscles de la loge postérieure », deux possibilités thérapeutiques peuvent être envisagées. La première consiste en un traitement chirurgical d'allongement musculotendineux de la loge postérieure de la jambe (tendon d'Achille et fléchisseurs d'orteils), comme proposé par Pinzur et al. [20]. La seconde propose un traitement conservateur par chaussure orthopédique avec compensation de l'équin. Lorsqu'un traitement de la spasticité et de la rétraction n'est pas possible ou suffisant, un appareillage adapté, en l'occurrence dans ce cas de figure une orthèse suropédieuse dynamique à flexion plantaire limitée peut aider le patient à intégrer de façon progressive un schéma de marche différent [10,13,14]. Notons cependant qu'en cas de

faiblesse associée du quadriceps, l'orthèse suropédieuse évitera de positionner la cheville en flexion dorsale, ce qui risquerait de générer une flexion de genou au moment de l'attaque du talon susceptible de « déverrouiller » le genou en flexion et d'induire une chute [13]. L'impact de l'orthèse Chignon® sur la cinématique, la mécanique et l'énergétique à la marche a récemment été étudié chez dix patients adultes hémiparétiques [2]. Seuls trois patients parmi eux présentaient un recurvatum de genou, qui n'a malheureusement pas été amélioré de manière significative par le port de l'orthèse Chignon®. Cette surprenante absence d'amélioration peut être liée soit à un réglage sub-optimal de l'orthèse, soit à la présence d'une spasticité du quadriceps surajoutée.

En cas de recurvatum induit par le patient afin d'« éviter un appui douloureux sur l'avant-pied », un traitement causal de la douleur est à envisager. Souvent, ces douleurs sont causées par une griffe spastique douloureuse des orteils susceptible de bénéficier d'un traitement par toxine botulique ou allongement tendineux [4,24]. Il peut aussi s'agir de douleurs d'hyperappui au niveau des têtes de métatarsiens ou liées à un hallux valgus. Dans ces deux cas de figure, un traitement par semelles orthopédiques et/ou chaussage adéquat peut soulager le patient. Nous n'avons pas trouvé de publication traitant spécifiquement de ce dernier point chez l'adulte hémiparétique.

Enfin, en l'absence de spasticité et/ou de faiblesse des groupes musculaires précités, un recurvatum de genou peut apparaître lorsque des troubles de sensibilité profonde sont constatés. On considère alors que le recurvatum de genou est généré par des « troubles proprioceptifs ». Cette étiologie est peu abordée dans la littérature : même Morris et al. [17] ne la citent pas parmi les causes possible du recurvatum, alors qu'ils ont étudié l'impact de la rééducation par feedback électrogoniométrique sur le contrôle du genou. Si le déficit proprioceptif est léger, une orthèse suropédieuse à flexion plantaire limitée peut aider le patient à positionner adéquatement le genou durant la phase oscillante. Une orthèse antirecurvatum de type « Swedish Knee Cage » peut également avoir un intérêt dans le cadre de la rééducation proprioceptive [8]. Si le déficit proprioceptif est important, le raisonnement à suivre peut être le même qu'en cas de faiblesse du muscle quadriceps : la mise en place d'un appareillage cruropédieux avec flexion libre ou verrouillée est à envisager.

En pratique clinique, il est fréquent de voir ces différentes étiologies théoriques se combiner chez nos patients, pour former un tableau plus complexe. Dans ce cas, une progression par étapes permettra d'arriver progressivement à une prise en charge la plus adéquate possible. Par exemple, si le patient présente une spasticité des fléchisseurs plantaires de cheville et/ou des fléchisseurs des orteils, et/ou du quadriceps, la première étape consiste en la réalisation de blocs moteurs nerveux sélectifs [7,23] suivie d'injections de toxine botulinique, associée à une rééducation intensive et au port d'une orthèse, dans le but de reprogrammer le schéma de marche. En fonction des résultats obtenus après disparition de la spasticité, une réflexion peut être menée pour décider de l'intérêt éventuel d'une intervention chirurgicale (neurotomie ou allongement musculotendineux [3]).

2.5. Conclusion

Les neuf articles sélectionnés au cours de cette revue systématique de la littérature s'intéressent à une prise en charge « globale » du recurvatum de genou, soit via des méthodes de rééducation (stimulation électrique fonctionnelle et feedback électrogoniométrique), soit via un traitement chirurgical (orthopédique ou neurochirurgical), soit par un appareillage. Dans les différentes études sélectionnées, aucune ne détaille l'origine du recurvatum de genou chez les patients évalués. Nous avons évoqué dans la discussion l'intérêt de prendre compte les différentes étiologies possibles, liées à la variabilité d'expression du syndrome pyramidal chez les patients hémiparétiques, pour adapter au mieux la prise en charge globale. Étant donné la prévalence du recurvatum de genou dans la population de patients hémiparétiques, il semble important, dans le futur, de tester les techniques proposées en fonction de l'étiologie. Concrètement, un protocole d'étude incluant des patients chronique (plus de six mois après AVC), groupés en fonction de la ou des étiologies possibles, et évalués au moyen d'un outil objectif comme l'analyse quantifiée de la marche avant et après traitement(s) permettrait de confirmer les indications cliniques suggérées dans cette revue de littérature et de cibler avec certitude les interventions les plus efficaces pour chaque patient. De la même manière, les études visant à évaluer l'évolution de la commande motrice suite à une prise en charge rééducative spécifique devraient inclure dans leur protocole une analyse quantifiée de la marche avec électromyographie dynamique, ce qui permettrait d'évaluer le temps d'activation des muscles au cours du cycle de marche.

Conflict of interest statement

The authors have no conflict of interest in this work.

References

- [1] Basaglia N, Mazzini N, Boldrini P, Bacciglieri P, Contenti E, Ferraresi G. Biofeedback treatment of genu-recurvatum using an electrogoniometric device with an acoustic signal. One-year follow-up. *Scand J Rehabil Med* 1989;21:125–30.
- [2] Bleyenheuft C, Caty G, Lejeune T, Detrembleur C. Assessment of the Chignon dynamic ankle-foot orthosis using instrumented gait analysis in hemiparetic adults. *Ann Readapt Med Phys* 2008;51:154–60.
- [3] Bleyenheuft C, Detrembleur C, Deltombe T, Fomekong E, Lejeune TM. Quantitative assessment of anaesthetic nerve block and neurotomy in spastic equinus foot: a review of two cases. *J Rehabil Med* 2008;40:879–81.
- [4] Caillet F, Mertens P, Rabaseda S, Boisson D. The development of gait in the hemiplegic patient after selective tibial neurotomy. *Neurochirurgie* 1998;44:183–91.
- [5] Caty GD, Detrembleur C, Bleyenheuft C, Deltombe T, Lejeune TM. Effect of simultaneous botulinum toxin injections into several muscles on impairment, activity, participation, and quality of life among stroke patients presenting with a stiff knee gait. *Stroke* 2008;39:2803–8.
- [6] Chae J, Sheffler L, Knutson J. Neuromuscular electrical stimulation for motor restoration in hemiplegia. *Top Stroke Rehabil* 2008;15:412–26.
- [7] Deltombe T, Of Wispelaere JF, Gustin T, Jamart J, Hanson P. Selective blocks of the motor nerve branches to the soleus and tibialis posterior muscles in the management of the spastic equinovarus foot. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:54–8.
- [8] Farncombe PM. The Swedish knee cage. Management of the hyperextended hemiplegic knee. *Physiotherapy* 1980;66:33–4.
- [9] Gage JR. The treatment of gait problems in cerebral palsy. Mac Keith Press; 2004.
- [10] Gok H, Kucukdeveci A, Altinkaynak H, Yavuzer G, Ergin S. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait. *Clin Rehabil* 2003;17:137–9.
- [11] Hogue RE, McCandless S. Genu recurvatum: auditory biofeedback treatment for adult patients with stroke or head injuries. *Arch Phys Med Rehabil* 1983;64:368–70.
- [12] Inaba M. Control dysfunction. 3. Bracing the unstable knee and ankle in hemiplegia. *Phys Ther* 1967;47:838–43.
- [13] Lehmann JF, Condon SM, Price R, deLateur BJ. Gait abnormalities in hemiplegia: their correction by ankle-foot orthoses. *Arch Phys Med Rehabil* 1987;68:763–71.
- [14] Lehmann JF, Warren CG, DeLateur BJ. A biomechanical evaluation of knee stability in below knee braces. *Arch Phys Med Rehabil* 1970;51:688–95.
- [15] Morinaka Y, Matsuo Y, Nojima M, Inami Y, Nojima K. Biomechanical study of a knee-ankle-foot-orthosis for hemiplegic patients. *Prosthet Orthot Int* 1984;8:97–9.
- [16] Morinaka Y, Matsuo Y, Nojima M, Morinaka S. Clinical evaluation of a knee-ankle-foot-orthosis for hemiplegic patients. *Prosthet Orthot Int* 1982;6:111–5.
- [17] Morris ME, Matyas TA, Bach TM, Goldie PA. Electrogoniometric feedback: its effect on genu recurvatum in stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1992;73:1147–54.
- [18] Perry J. Gait analysis: normal and pathological function. Slack Incorporated 1992.
- [19] Perry J. Lower-extremity bracing in hemiplegia. *Clin Orthop Relat Res* 1969;63:32–8.
- [20] Pinzur MS, Sherman R, DiMonte-Levine P, Kett N, Trimble J. Adult-onset hemiplegia: changes in gait after muscle-balancing procedures to correct the equinus deformity. *J Bone Joint Surg Am* 1986;68:1249–57.
- [21] Stanic U, Acimovic-Janezic R, Gros N, Trnkoczy A, Bajd T, Kljajic M. Multichannel electrical stimulation for correction of hemiplegic gait. Methodology and preliminary results. *Scand J Rehabil Med* 1978;10:75–92.
- [22] Stoquart GG, Detrembleur C, Palumbo S, Deltombe T, Lejeune TM. Effect of botulinum toxin injection in the rectus femoris on stiff-knee gait in people with stroke: a prospective observational study. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89:56–61.
- [23] Sung DH, Jung JY, Kim HD, Ha BJ, Ko YJ. Motor branch of the rectus femoris: anatomic location for selective motor branch block in stiff-legged gait. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:1028–31.
- [24] Yelnik AP, Bonan IV. Post stroke hemiplegia: lower limb benefit from botulinum toxin (review). *Ann Readapt Med Phys* 2003;46:281–5.