

歩行時における転倒の内的要因分析に基づく

転倒頻度予測手法の提案

Proposition of a method to predict fall frequency in walking

based on internal factors analysis

○ 岡田哲明 (東大) 二瓶美里 (東大) 鎌田実 (東大)

Tetsuaki OKADA, The University of Tokyo

Misato NIHEI, The University of Tokyo

Minoru KAMATA, The University of Tokyo

Abstract: It has been reported that there is a significant correlation in the fall of ambulatory and decline in internal factors such as cognitive function and muscle strength. While these internal factors of the fall decline due to aging, these have not been considered in conventional risk assessment techniques. This has been caused a problem that countermeasures to reduce fall risk are not able to be taken. In this study, we estimate the aging of the factors of fall by constructing the model of internal factors on the basis of the literature data related to the fall in the past. In addition, we propose a method to estimate an frequency of fall in the coming years.

Key Words: Safety, Modeling, Estimation, Walking Assist, Fall and Tips

1 序論

1-1 背景

高齢者の転倒は外傷に繋がる可能性が非常に高い事象であり、軽度な外傷だけでなく大腿骨骨折や頭部外傷、意識消失などの重傷外傷を負う可能性がある。また、身体的影響がなくとも転倒を経験することで転倒に対する恐怖感が残り、能動的な行動から逃避してしまうことで自己効力感の喪失や QOL の低下が引き起こされることが指摘されている⁽¹⁾。加えて転倒は要介護状態や寝たきり状態の主要な原因となっており、平成 23 年度の厚生労働省の統計によると転倒および骨折は高齢者が要支援または要介護状態になった原因の 10.2%を占めている⁽²⁾。

高齢者の転倒を防止する方策は、薬剤の変更や歩行訓練、ベッドの高さ調整や杖、歩行器や車いすの利用など多岐に渡る。日本看護協会等では転倒防止策とその時期を決定するために、転倒アセスメントシートの使用を推進しているが、実際に転倒防止策を利用するにあたっては、転倒リスクの軽減だけでなく医学的リハビリテーション機会の損失などを総合的に判断する必要がある。特に加齢による身体機能や認知機能の経年変化を把握しておかなければ、導入時期を見誤ることとなる。

1-2 目的と方針

本研究では支援機器を含めた適切な転倒防止策とその導入時期を判断するために必要な転倒頻度の予測手法を提案することを目的とする。

まず転倒のモデル化を行い、独歩時に引き起こす転倒原因と、転倒原因を発生させる転倒要因を整理する。次に、先行研究を用いて転倒要因から転倒頻度を推定するための転倒モデルを作成する。さらに、転倒要因の経年変化の予測式を作成する。転倒要因の経年変化予測と転倒要因からの転倒頻度推定を組み合わせることにより、将来の転倒頻度を予測することが可能となる。

*本研究は東京大学工学部倫理審査委員会の承認の下に行われている

2 独歩時の転倒要因

2-1 転倒の定義

本研究では転倒を「自分の意志からではなく膝や上肢あるいは臀部や腰などの身体部分が床面や地面などのより低い面に接触した場合」⁽³⁾と定義する。現実にはほとんど転倒しない高齢者から年間数十回の転倒を繰り返す高齢者まで大きな個人差が存在するため、転倒の頻度を以下の 3 項目に分類し区別するものとした。

- ・ほぼ無 (年 1 回未満)
特別な対策が不要な分類
- ・低頻度 (年 1 回以上～10 回未満)
見守りや介助などの転倒防止策が必要な分類
- ・高頻度 (年 10 回以上)
転倒は防ぎきれず怪我防止策が必要となる分類

2-2 転倒原因と転倒要因

転倒頻度を推定するためのモデル化を行うにあたり、転倒を直接的に引き起こす転倒原因と、転倒原因を発生させる転倒要因を考える。転倒は複合的な転倒要因によって引き起こされるが、身体状態に関する内的要因と環境に関する外的要因に大別できる。内的要因には疾患や認知障害、心因性の症状などが含まれる。外的要因には施設設備や人的支援などが含まれる。これらについて本研究では、その人固有の転倒頻度が内的要因によって決められており、そこから強化要因としての外的要因の関与を通して実際の転倒頻度が決定する、という立場をとる。このうち外的要因については、床材や障害物の状態、施設スタッフの人数など非常に多くの要因が存在すると考えられるため、本研究ではまず内的要因に着目し、内的要因によって転倒頻度を予測することを目指す。

まず先行研究で転倒との関連性が明らかとなっている転倒要因を挙げ、要因分析を行った。要因分析の結果から、転倒要因と転倒の間には、転倒要因を受けて転倒を引き起こす「障害物回避能力の低下」「バランス能力の低下」「行動頻度の増加」「失神」の 4 項目の転倒原因が存在するこ

とが分かった。転倒要因と転倒原因・転倒の関係を図1に示す。実線で囲まれた要素が転倒原因、点線で囲まれた要素が転倒原因に所属する転倒要因である。ただし失神については、回数を直接観察することが可能である上に発生が転倒に直接結び付くため、失神自体を転倒要因と考えることとする。

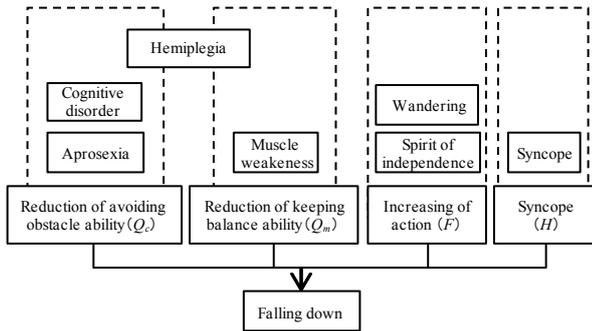


Fig. 1 Factors and causes of falling down

3 転倒要因の相対危険度に基づく転倒頻度の推定

3-1 転倒のモデル化と転倒頻度推定式の作成

各転倒原因「障害物回避能力の低下 (Q_c)」「バランス能力の低下 (Q_m)」「行動頻度の増加 (F)」「失神 (H)」による推定転倒頻度 (E) を式(1)に示す。同時に転倒に寄与する Q_c, Q_m, F については乗算、独立して直接転倒に寄与する H については加算している。

$$E = Q_c \cdot Q_m \cdot F + H \quad (1)$$

ただし実際には積が転倒回数となるような Q_c, Q_m, F を求めることは困難である。そこで、転倒頻度の基準値 e_{in} を導入し、各転倒原因による相対的な危険度 q_c, q_m, f を転倒要因から求めることにより転倒頻度を推定することを目指す。

$$E = e_{in} \cdot q_c \cdot q_m \cdot f + H \quad (2)$$

また片麻痺は障害物回避能力の低下とバランス能力の低下を同時に引き起こすため、片麻痺が見られる高齢者に対しては q_c, q_m を束ねた値として片麻痺固有の値 q_h を適用するものとする。

3-2 転倒頻度の基準値

転倒頻度の基準値を「認知機能の低下がない」「身体機能の低下がない」「転倒に関する持病(パーキンソン病等)がない」「施設高齢者と比べ行動の頻度が多すぎない」を満たす集団の転倒頻度(年間の転倒回数)と定義した。しかし、これら全ての条件を満たす集団の転倒頻度記録を実際に発見することは困難であったため、行動の頻度以外の条件を満たす地域在住高齢者の転倒に関する村田らの先行研究⁽⁴⁾を元に基準値を求めた。村田らの先行研究では、認知機能や身体機能に目立った低下が見られない高齢者 133名の転倒頻度が年間 0.36 回と求められている。施設高齢者は地域在住高齢者と比較して行動頻度が低いことが予想されることから、行動頻度が高い集団の転倒頻度のオッズ比 3.2 を除すことで、転倒頻度の基準値 e_{in} を 0.11 回とした。

3-3 相対危険度の定義

転倒の相対危険度 R は以下のように定義される。まず集団を特定の転倒要因を持つ群と持たない群に分ける。要因を持つ群のうち転倒を経験した人数を a 、転倒を経験しなかった人数を b 、転倒要因を持たない群のうち転倒を経験した人数を c 、転倒を経験しなかった人数を d とすると、転倒原因の相対危険度 q_c, q_m, f は式(3)に従い算出される。

$$R \equiv \frac{\frac{a}{a+b}}{\frac{c}{c+d}} = \frac{a(c+d)}{c(a+b)} \quad (3)$$

3-4 転倒要因の相対危険度

転倒要因を表す評価指標から相対危険度を算出するにあたっては、認知機能や身体機能を表す評価指標が数多く存在し実際に計測される評価指標も施設によって異なる、という実情を考慮する必要がある。したがって、実用的な転倒頻度推測を実現するために各転倒要因の相対危険度の算出式を様々な評価指標に対して導出した。このとき、複数の評価指標が計測されている場合には転倒との相関がより強い指標を利用することが好ましいと考えられるため、表2には同一の転倒要因の中でより強い相関が認められた評価指標ほど上位に掲載した。相対危険度の算出には基本的に定量的指標を用いるが、転倒に大きな影響を与える要素が存在する場合には非定量的であっても相対危険度を別途検討するものとする。

3-4-1 障害物回避能力の低下

障害物回避能力の低下に関係する転倒要因は認知機能の低下および注意機能の低下である。これらを定量的に表す指標として「MMSE」⁽⁵⁾および「TMT-A 所要時間」⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾を使用した。MMSEとは、認知症の診断用に開発された30点満点の質問紙検査である。各指標から転倒の相対危険度を求める式を作成した。また非定量的指標として「注意障害の有無」を採用した。

ここでは MMSE を例として相対危険度を与える近似式の導出法を説明する。先行研究の調査結果より、MMSE と転倒発生率の関係を得ることができる。この転倒発生率から式(3)を用いて相対危険度を算出し、図2のように MMSE と相対危険度の関係を表現する近似式を求めた。このようにして求めた相対危険度の算出式を表1に示す。

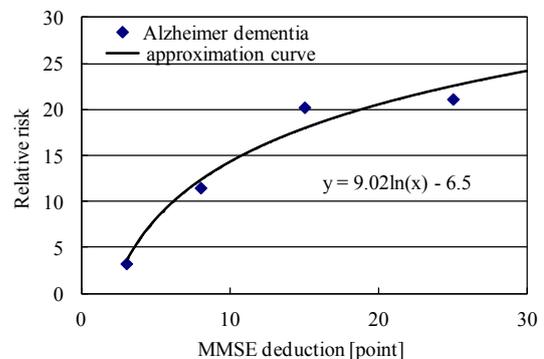


Fig. 2 MMSE deduction and relative risk

3-4-2 バランス能力の低下

バランス能力の低下に関係する転倒要因は筋力低下および片麻痺である。これらを定量的に表す指標として「足把持力低下」⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾および「最大努力歩行速度」⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾を使用した。また非定量的指標として「最大

努力歩行速度(若年者との比較)⁽¹⁶⁾および「歩行自立度」⁽⁶⁾を採用した。これらの指標による相対危険度の算出式を表1に示す。

3-4-3 片麻痺

片麻痺は障害物回避能力の低下とバランス能力の低下の両者に関係する転倒要因である。片麻痺の状態を定量的に表す指標として Brunnstrom Recovery Stage (BRS) を使用した。BSR による相対危険度の算出式を表1に示す⁽¹⁷⁾。

3-4-4 行動頻度の増加

行動の頻度を表す指標として「DBD-W 得点」⁽¹⁸⁾を使用した。また非定量的指標として「自立心の高低」を採用した。これらの指標による相対危険度の算出式を表1に示す。

Table. 1 Relative risk calculation of falling down factors

Factor	Indicator	Relative risk
Aprosexia	TMT-A time (a/s)	$q_c = 0.43exp(0.115a)$
	Having aprosexia	$q_c = 34$
Cognitive disorder	MMSE (s) (AD dementia)	$q_c = 9.0lo g(30 - s) - 6.5$
	MMSE (s) (Mixed dementia)	$q_c = 12 log(30 - s) - 11.6$
Muscle weakness	Foot grasping power (m/kg)	$q_m = \frac{19}{m} - 1.7$
	The best effort walking speed (v/m/s)	$q_m = 0.38exp\left(\frac{0.99}{v}\right)$
	The best effort walking speed (Fast/Normal/Slow/Very slow)	$q_m = 0.5 / 0.5 / 1.0 / 3.0$
	Walking independence (Independence/Modified/Assisted)	$q_m = 1.0 / 6.1 / 12$
Hemiplegia	Brunnstrom Recovery Stage (b)	$q_h = 0.39b + 1.3$
Spirit of independence	Spirit of independence (High / Normal or Low)	$f = 3.18 / 1.00$
Wandering	DBD-W score (w)	$f = 0.038w + 1.0$
Syncope	Syncope in a past year (h)	—

3-5 実測値による転倒頻度推定の妥当性の

同一の施設に入居しており、独歩での移動が可能な3名の男女を対象に転倒頻度の推定と実際の転倒回数を比較した。表2に転倒頻度推定に用いる相対危険度を算出するための身体機能、認知機能などに関する指標を示す、これらは施設が記録している個人の心身状況表から2年分のデータを収集したものである。また、同じく2年分の施設の転倒やインシデントレポート、ケアプラン変更の記録、スタッフへの聞き取りによって収集した。対象者 A は 86 歳の男性、対象者 B は 90 歳の女性、対象者 C は 57 歳の男性である。転倒頻度の推定結果と実際の転倒回数との比較を図3に示す。

Table. 2 Indicators and values used in frequency estimation

	q_c		q_m		f		h
	Indicator	val	Indicator	val	Indicator	val	Count per year
Subject A (2011)	MMSE (AD)	8	BEWS	4	Sol	Normal	0
Subject A (2012)	MMSE (AD)	8	BEWS	4	Sol	Normal	0
Subject B (2011)	MMSE (AD)	0	BEWS	Slow	Sol	Normal	0
Subject B (2012)	MMSE (AD)	0	BEWS	Slow	Sol	Normal	0
Subject C (2011)	BRS	4	—	—	Sol	High	0
Subject C (2012)	BRS	4	—	—	Sol	High	0

2-1 で示した転倒頻度の3分類に基づく、対象者 A (2012年)を除いた多くのデータで転倒頻度を正しく予測

することができたとと言える。対象者 A (2012年)では転倒頻度を「ほぼ無」と予測すべき所を「低頻度」と予測した。施設スタッフの記録によると対象者 A は 2011 年に転倒で大腿骨の骨折を負っており、そのため対象者 A に対して介助が行われていた。したがって、内的要因は悪化しているものの介助という外的要因がプラスに働いたことで結果として転倒回数の減少につながっているものと解釈できる。一方で回数について見ると、有効数字1桁で正しく予測できていたのは6例中2例のみであった。特に誤差が大きかったのは対象者 B (2012年)で、約2回分少なく予測していた。これは対象者 B が持つ不眠症が原因で日中の眠気による転倒が発生していたことに起因しており、転倒要因について更なる検討が必要であると考えられる。

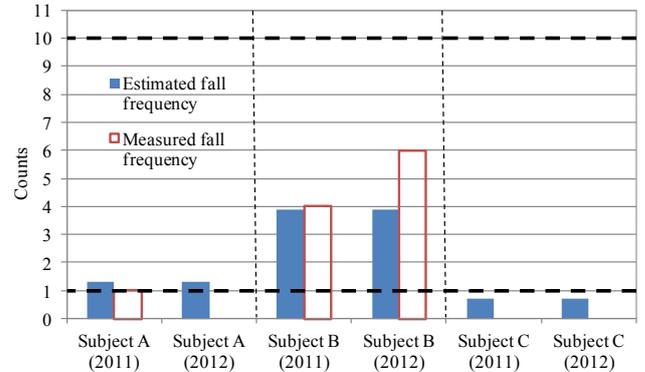


Fig. 3 Comparison between Estimated fall frequency based on measured value and measured fall frequency

4 転倒要因の経年変化の推定

4-1 経年変化予測式の提案

相対危険度の算出に用いた評価指標のうち、1年単位での変化が予想される定量的指標として「TMT-A 所要時間」⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾「MMSE (アルツハイマー型)」⁽²¹⁾「MMSE (混合型)」⁽²¹⁾「足把持力」⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾「最大努力歩行速度」⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾の4項目を挙げた。これらの指標について経年変化を予測し、予測に基づいて相対危険度の算出式を拡張することによって、現在の転倒頻度だけでなく将来の転倒頻度の変化を推測する。

具体的な導出法について説明する。まず指標の経年変化を予測する。先行研究の文献から得られた各指標と年齢の関係から、1年毎の指標の変化率を求めることができる。したがって、ある時点での計測値を入力することで計測からt年後の値を予測する式を導出することが可能となる。次に、導出した指標の経年変化予測式を表2の相対危険度の算出式に代入する。これにより、ある時点の計測値に基づいて計測からt年後の相対危険度を算出することが可能となる。以上の手法によって導出した文献値に基づく各指標の経年変化予測式と、拡張した相対危険度の算出式を表4に示す。

Table. 4 Aging estimation of indicators

Indicator	Aging estimation	Enhanced relative risk calculation
TMT-A Time	$a(t) = a_0 * (1.03)^t$	$q_c(t) = 0.43exp(0.115a_0 * (1.03)^t)$
MMSE (AD)	$s(t) = s_0 - 3t$	$q_c(t) = 9.0lo g(30 - s_0 + 3t) - 6.5$
MMSE (Mixed)		$q_c(t) = 12 log(30 - s_0 + 3t) - 11.6$
Foot grasping power	$m(t) = m_0 * (0.97)^t$	$q_m(t) = \frac{19}{m_0 * (0.97)^t} - 1.7$
The best effort walking	$v(t) = v_0 exp(-0.024t)$	$q_m(t) = 0.38exp\left(\frac{0.99}{v_0 exp(-0.024t)}\right)$

4-2 経年変化予測式の妥当性の検証

表3に示した評価指標の実測値を用いて経年変化予測式の妥当性を検証した結果を図4に示す。検証が可能であったのは高齢者Aおよび高齢者BのMMSE、高齢者Aの最大努力歩行速度である。

MMSE(高齢者A)ではMMSE得点が8から5に低下すると予測されたが、実際は8のままであり実測値との37.5%の誤差が認められた。またMMSE(高齢者B)では、対象者のMMSE得点が当初から最低値であったため予測値も最低値となり、予測値と実測値が一致した。最大努力歩行速度(高齢者A)では2012年の予測値3.8に対して実測値4という結果となったが、実測値の有効数字が1桁であることを考えると予測と一致していると解釈できる。

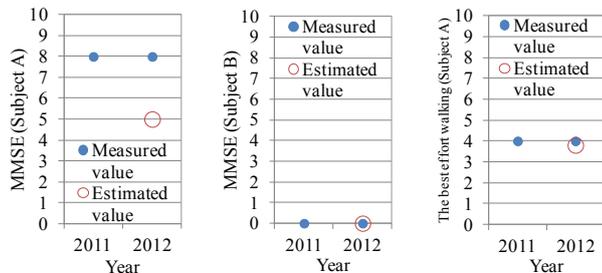


Fig. 4 Aging estimation of factors

5 まとめ

5-1 結論

転倒の内的要因からの転倒頻度推定と転倒要因の経年変化予測から、将来の転倒頻度を予測する手法を開発した。まず転倒を直接的に引き起こす転倒原因として「障害物回避能力の低下」「バランス能力の低下」「行動頻度の増加」および「失神」を抽出し、転倒回数の基準値と相対的な転倒危険度を用いて転倒頻度を推定する手法を提案した。次に、転倒頻度の基準値および各転倒要因の相対危険度を算出する式を文献値から求めた。施設に入居する高齢者および片麻痺患者3名から得られた6年分のデータを用いて転倒頻度推定手法の妥当性を検証したところ、6例中5例で頻度分類に基づいた転倒頻度を正しく推定することが出来た。更に、1年単位の経年変化が見込まれる転倒要因の評価指標について経年変化を予測する式を求め、相対危険度の算出式を拡張した。以上により、指標計測時から t 年後の相対危険度および転倒頻度を予測することが可能となった。

5-2 今後の展望

今後、検証数を増やすとともに、長期間のデータを収集し検証を行う予定である。また、本研究で採用した転倒原因4項目の他に、不眠や眠剤といった転倒と相関を持つ要因を加えること、相対危険度を算出する際に用いるエビデンスデータの更新も引き続き行っていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学工学部卒業生福川未雪氏、特別養護老人ホームグリーンヒル千代田長谷川兼二様にご協力をいただいた。感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 中村 陽子, 転倒を繰り返す高齢者の再転倒後における転倒恐怖感が与える影響, 福井大学医学部研究雑誌, 9: 19-34, 2008

- (2) 厚生労働省平成22年国民生活基礎調査の概況要介護者等の状況 (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/4-2.html>)
- (3) Gibson MJ: Falls in later life. Improving the Health of Older People: A World View. (ed. by Kane RL et al.) Oxford University Press, New York, 296-315, 1990
- (4) 村田 伸, 大田尾 浩, 村田 潤, 堀江 淳, 宮崎 純弥, 溝田 勝彦, 地域在住高齢者の転倒と身体・認知・心理機能に関する前向き研究, 理学療法学, vol. 24, no. 6, pp. 807-812, 2009
- (5) 栗田 正, 片山 晃, 森田 晶代, 栗田 正文, 井上 聖啓, Alzheimer 型痴呆・混合型痴呆患者における転倒骨折と認知症外・問題行動との関係, 日老医誌, vol. 34, pp. 662-667, 1997
- (6) 浅川 康吉, 池添 冬芽, 羽崎 完, 黒木 祐土, 河野 一郎, 神先 秀人, 高齢者における下肢筋力と起居・移動動作能力の関連性, 理学療法学, vol. 24, pp. 248-253, 1997
- (7) 村田 伸, 津田 彰, 在宅障害高齢者の身体機能・認知機能と転倒発生要因に関する前向き研究, 理学療法学, vol. 33, no. 3, pp. 97-104, 2006
- (8) 山田 実, 注意機能トレーニングによる転倒予防効果の検証—地域在住高齢者における無作為化比較試験—, 理学療法学, vol. 24, no. 1, pp. 71-76, 2009
- (9) 大橋 幸子, 浅川 絵夢, 目黒 篤, 丸山 仁司, 介護老人保健施設利用者の転倒と注意機能との関連, 理学療法科学, vol. 26, no. 2, pp. 179-183, 2011
- (10) 村田 伸, 津田 彰, 稲谷 ふみ枝, 田中 芳幸, 在宅障害高齢者の注意と転倒との関連, 久留米大学心理学研究, vol. 4, pp. 61-70, 2005
- (11) 田井中 幸司, 青木 潤一郎, 在宅高齢女性の転倒経験と体力, 体力科学, vol. 56, pp. 279-286, 2007
- (12) 井口 茂, 松坂 誠應, 陣野 紀代美, 在宅高齢者に対する転倒予防プログラムの検討—低頻度プログラムの適応—, 理学療法学, vol. 22, no. 3, pp. 385-390, 2007
- (13) 島田 裕之, 古名 丈人, 大淵 修一, 松浦 美穂, 古田 英世, 金 憲経, 古田 裕子, 西澤 哲, 鈴木 隆雄, 高齢者を対象とした地域保健活動における Timed Up & Go Test の有用性, 理学療法学, vol. 33, pp. 105-111, 2006
- (14) 高倉 聡, 大城 昌平, 中野 裕之, 亀山 富太郎, 高橋 達也, 飯野 朋彦, 高齢者用バランスボード N 型と身体機能評価及び転倒リスクとの関連, 理学療法学, vol. 29, pp. 43-48, 2002
- (15) 鈴木 隆雄, 杉浦 美穂, 古名 丈人, 西澤 哲, 吉田 英世, 石崎 達郎, 金 憲経, 湯川 清美, 柴田 博, 地域高齢者の転倒発生に関連する身体的要因の分析的研究—5 年間の追跡研究から—, 日老医誌, vol. 36, pp. 472-478, 1999
- (16) 金子 諒, 藤澤 真平, 佐々木 誠, 足趾把持筋力トレーニングが最大速度歩行時の床反力に及ぼす影響, 理学療法科学, vol. 24, no. 3, pp. 411-416, 2009
- (17) 吉本 好延, 大山 幸綱, 浜岡 克伺, 明崎 禎輝, 吉村 晋, 野村 卓生, 佐野 尚美, 橋本 豊年, 佐藤 厚, 在宅における脳卒中患者の転倒予測に関する臨床研究—入院中の身体機能の点から—, 理学療法科学, vol. 24, no. 2, pp. 245-251, 2009
- (18) 西川 隆, 大西 久男, 認知症の原因疾患による症状行動の特徴とケアの方針, J Rehabil Health Sci, vol. 7, pp. 1-7, 2009
- (19) 豊倉 穰, 田中 博, 古川 俊明, 山内 由佳利, 村上 恵一, 情報処理速度に関する簡便な認知検査の加齢変化—健常人における paced auditory serial addition task および trail making test の検討—, 脳と精神の医学, vol. 7, no. 4, pp. 401-409, 1996
- (20) 原田 浩美, 能登谷 晶子, 中西 雅夫, 藤原 奈佳子, 井上 克己, 健常高齢者における神経心理学検査の測定値—年齢・教育年数の影響—, 高次脳機能研究, vol. 26, no. 1, pp. 16-24, 2006
- (21) Bracco L, Piccini C, Amaducci L, Rate of progression of mental decline in Alzheimer disease, summary of European studies. Alzheimer Dis Assoc Disord 12, pp. 347-355, 1998
- (22) 中比呂志, 出村 慎一, 松沢 勘三郎, 高齢者における体格・体力の加齢に伴う変化及びその性差, 体育学研究, vol. 42, pp. 84-96, 1997
- (23) 木村 みさか, 平川 和文, 奥野 直, 小野 慶喜, 森本 武利, 木谷 輝夫, 藤田 大祐, 永田 久紀, 体力診断バッテリーテストからみた高齢者の体力測定値の分布および年齢との関連, 体力科学, vol. 38, pp. 175-185, 1989
- (24) 古名 丈人, 長崎 浩, 伊藤 元, 橋詰 謙, 衣笠 隆, 丸山 仁司, 都市および農村地域における高齢者の運動能力, 体力科学, vol. 44, pp. 347-356, 1995