

短報

地域在住片麻痺患者に対する閾値レベルの Catch 計測の試みと Catch の出現角度と大きさに他動運動開始位置の違いが及ぼす影響

城野靖朋^{1*}, 飯塚照史¹, 吉留純一²

¹ 奈良学園大学 保健医療学部 リハビリテーション学科

² 介護老人福祉施設鵠芭

要旨

【緒言】本研究では、他動運動中に生じる伸張反射によるひっかかり (Catch) について、Catch を誘発する他動運動角速度と Catch の大きさから閾値の同定を試みた。また、運動開始位置の違いが Catch の出現角度と大きさに及ぼす影響を観察した。

【方法】対象は痙縮のある地域在住の片麻痺者 6 名。肘関節最大屈曲位、および中間位からの伸展他動運動中に生じる Catch の他動運動角速度を慣性センサで記録した。他動運動角速度は主観的な Catch の有無による上下法で調整し、各対象者、各条件、20 試行実施した。他動運動角速度と Catch の大きさから閾値を決定し、閾値レベルの Catch 試行を分析した。

【結果】全例、全条件で閾値レベルの Catch 試行が同定された。運動開始位置の違いによって Catch 出現までの運動量、Catch が出現する位置に有意な差は観察されたが、Catch が出現する相対的な角度と Catch の大きさに有意な差はなかった。

【結論】他動運動角速度と Catch の大きさから閾値を同定できたことから、閾値を基準として他動運動角速度を統制した Catch の観察が可能であることが示された。運動開始位置は Catch の出現する角度に影響を及ぼすが、相対的な出現角度への影響は観察されなかった。このことから、相対的な Catch の出現角度は運動開始位置に影響を受けにくい定量的な指標になる可能性が示された。

受付日 2024 年 7 月 4 日

採択日 2025 年 3 月 6 日

*責任著者

城野靖朋

奈良学園大学 保健医療学部 リ
ハビリテーション学科

E-mail:

yasutomo-jono@naragakuen-u.jp

キーワード

地域在住

片麻痺者

Catch

はじめに

痙縮筋では伸張反射の亢進が生じており、臨床での他動運動による検査では、検者にひっかかり (Catch) が感じられる¹⁾。痙縮筋の評価は様々な方法²⁾が提案されており、このような伸張反射に起因する Catch を用いる代表的な評価方法には Modified Ashworth Scale (MAS)^{3, 4)}や Modified Tardieu Scale (MTS)^{5, 6)}がある。Catch は他動運動角速度が速くなるほど大きくなる⁷⁾といった角速度依存性を示す。そのため、Catch が生じる関節角度は他動運動角速度に依存する可能性が考えられる。そこで、本研究では他動運動角速度を閾値に統一し

て Catch を計測することとし、閾値の同定には上下法を用いることとした。この上下法^{8, 9)}は、疼痛反射閾値の推定などに使用される閾値の決定方法で、閾値付近での検査を重点的に行えるといった利点がある。

臨床における Catch 観察のための他動運動角速度の規定として、重力による落下速度、できるだけ速く、遅くといった基準^{2, 5, 6)}はあるが、他動運動の開始位置には厳密な規定はない。しかし、伸張反射の受容器である筋紡錘は動的な角速度情報だけでなく、静的な位置情報も受容する¹⁰⁾。筋紡錘は筋と並行に配列しており、静的な筋の変化は筋紡錘の長さを変化させる。したがって、

他動運動の開始位置の違いによる筋長の変化は Catch に影響を及ぼす可能性がある。

慣性センサによる Catch の大きさや出現角度の測定は Fujimura ら⁷⁾により行われており、他動運動の角速度に依存して Catch が大きくなることが報告されている。Catch の大きさが角速度に依存するため、Catch の大きさを定量化するには角速度を規定して評価する必要がある。そこで本研究では、Catch が出現する最も遅い他動運動角速度による閾値レベルの Catch の計測を試みることにした。本研究では、慣性センサを用いた Catch の角速度閾値を求める方法を提案し、今回の角速度閾値の評価指標として感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率を対象ごとに提示する。また、この閾値レベルの Catch を用いて、他動運動開始位置の違いが Catch の出現角度と大きさに及ぼす影響を観察する。異なる他動運動の開始位置から統制された他動運動角速度における Catch を観察することで、他動運動開始位置の違いが Catch の出現角度と大きさに及ぼす影響を明らかにする。

対象

対象者は地域在住の片麻痺者で、本研究に参加の意向を示した 6 名とした。年齢は 52 歳から 83 歳（中央値：74.5 歳）、男性 4 名、女性 2 名、右麻痺 3 名、左麻痺 3 名であった。すべての対象者に対して本研究の主旨、目的、方法を説明し、書面にて研究参加への同意を確認した。なお、本研究は奈良学園大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（3-006）。

方法

1. 課題と記録

対象者は日常着用している動きやすい服装で参加し、椅子に安楽に腰を掛けるよう指示した。椅子は座面がおよそ 40cm の高さで、背もたれ、肘掛けがあるものを用いた。麻痺側前腕の背側面近位部と上腕の背側面遠位部に、データロガーを兼ねる慣性センサ（ATR-Promotions, TSND151）を取り付けた。課題は他動運動による肘関節の伸展運動とした。上腕は下垂位から肩関節を軽度屈曲、前腕は回内外中間位として肘関節屈曲筋群を対象とした。なお、肘関節の屈曲角度は条件に従った角度とした。肢位は検者が肘関節直上の上腕遠位部を支え、前腕の遠位部を把持して調整し、他動運動を行った。

他動運動は一人の検者（筆頭著者）が行った。各他動運動後に痛みの確認を行い、他動運動前には安静を求めた。他動運動開始位置を肘関節最大屈曲位から行う Full Range 条件と、全可動範囲の中間位から行う Half Range

条件とした。条件の実施順はランダムとし、各条件 20 試行を実施した。Catch を誘発する他動運動角速度は、伸張反射による Catch を感じれば次の試行で角速度を遅くし、感じなかった場合は角速度を速くする上下法^{8,9)}に基づき調整した。厳密な角速度の統制ではないが、上下法による検者の主観的な調整により、Catch の誘発頻度はおよそ 50% になる。3 軸の角速度（ $\pm 1000^\circ/\text{sec}$ ）はサンプリング周波数 100Hz で上腕と前腕それぞれの慣性センサに記録し、計測後にコンピュータに取り込んだ。

2. データ解析

2-1. 角度、角速度、角加速度

データの処理には 4th-order Butterworth filter（Python 3.9.13）を用い、3 軸の角速度データを 0.04Hz の high pass でフィルタリングした。処理後の角速度を微分して角加速度、積分して角度を求めた。これらの処理は上腕と前腕それぞれの慣性センサから得られたデータに対して実施し、それらの矢状面における差分から肘関節の角度、角速度、角加速度を求めた。

2-2. 他動運動の開始、Catch の開始

各試行において、他動運動の開始は角速度から同定し、最大伸展角速度までの連続した伸展運動が開始する時点とした。本研究では Fujimura ら⁷⁾を参考として、Catch の開始（Catch onset time: COT）を次のように同定した。まず、他動運動開始前 500msec 区間における角速度の 3 倍の標準偏差（Standard Deviation: SD）を基準とし、この基準を超える屈曲角速度が 30msec 以上連続するものを減速と定義した。そのうえで、最大伸展角速度の時点以降で最初に減速した時点を COT とした。

2-3. Catch の大きさ閾値

本研究では、Fujimura ら⁷⁾が Catch の大きさとして採用した COT 直後の屈曲角加速度の Peak 値（Deceleration value: DV）を Catch の大きさとした。この手順では Catch の生じない試行においても、他動運動中の減速を DV として検出する。そこで、Catch による DV と比べ Catch の生じない試行の DV は明らかに小さいこと、また、本研究方法の手続き上およそ 50% の試行回数にあたる 10 回が理論的には Catch の生じない試行となることから、Catch の生じない試行の定義を次のように定めた。DV の小さい順から 5 試行は明らかに Catch の生じない試行とみなし、この 5 試行の DV の平均値に 3SD を加算したものを Catch の有無を判定する大きさの閾値（大きさ閾値）とした。この大きさ閾値以上の

DV の試行を Catch の出現する試行 (Catch trial), 閾値未滿を Catch のない試行 (No Catch trial) とした。

2-4. Catch の角速度閾値

他動運動の伸展角速度の最高値 (Max velocity: MV) の遅い試行から順に Catch の有無を判定し, 連続した 5 試行の Catch 出現率が 50% を超えた時点の Catch trial の中央試行の MV を Catch 誘発の他動運動角速度の閾値 (角速度閾値) とし, この試行を Catch Threshold trial とした。

2-5. Catch Threshold trial の各角度

各条件の Catch Threshold trial において, 他動運動開始から COT までの範囲 (Range) と COT から他動運動終了までの範囲 (Angle) を求めた。他動運動の全可動範囲である ROM (Range of motion) は Range と Angle の和となる。ROM は全試行で計測し, 中央値を代表値に採用した。また, Range を ROM で除した値に 100 を乗算することで %Range of motion (%ROM) を求めた。

2-6. Catch の角速度閾値の評価指標

今回設定した Catch の角速度閾値の評価指標として, 特異度, 感度, 陽性的中率, 陰性的中率を各対象者の各

条件で求めた。

3. 統計解析

統計解析には Python (3.9.13) を用いた。Catch の角速度閾値の特異度, 感度, 陽性的中率, 陰性的中率の評価指標, ならびに ROM, Range, Angle, DV, MV に対し, ウィルコクソン符号順位検定にて 2 条件間の比較を実施した。有意水準は 5% とした。

結果

肘関節他動運動中の角度, 角速度, 角加速度の例を図 1 に, DV と MV の散布図プロットの例を図 2 に, 本研究の各対象者の属性は表 1 に示す。本研究の各対象者, 各条件で求めた Catch の角速度閾値の評価指標である特異度, 感度, 陽性的中率, 陰性的中率において, 条件間に有意な差を示す項目はなかった (表 2)。ROM, Range, Angle は Half Range 条件と比較して Full Range 条件で有意に大きく, %ROM には条件間の有意な差はみられなかった (表 3)。DV と MV に条件間の有意な差はみられなかった。

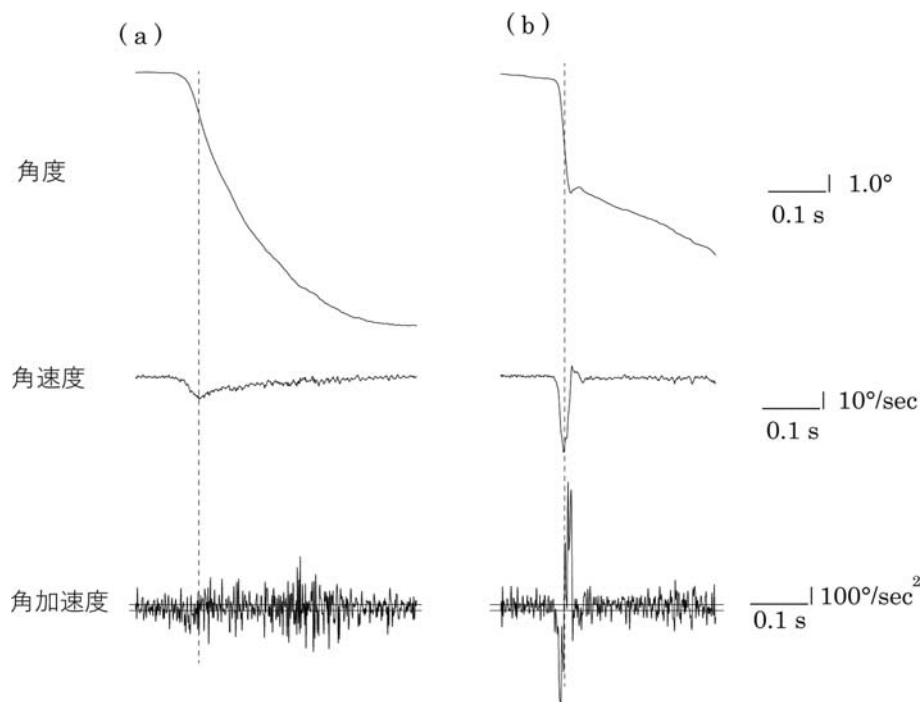


図 1. 記録データの例

No Catch trial (a) と, Catch trial (b) の記録データの例を示す。縦の破線は伸展角速度の最高値のタイミングを示す。角加速度の横の 2 本の実線は他動運動開始前 500msec 区間における角速度の 3 倍の標準偏差の範囲を示す。

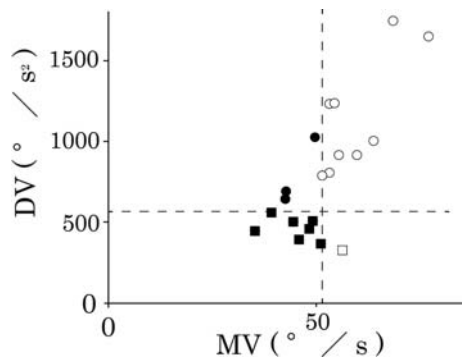


図 2. MV と DV の散布図プロットの例

Half Range 条件, subject b のデータ. 横の破線は Catch の大きさの閾値であり, 閾値以上の試行を丸, 未満を四角で示す. 縦の破線が他動運動角速度の閾値であり, 閾値以上の試行を白塗り, 未満を黒塗りで示す. Catch の出現を判定する速度閾値の評価指標として白丸が真の陽性, 白四角が偽陽性, 黒丸が偽陰性, 黒四角が真の陰性を示す. MV: Max velocity, DV: Deceleration value

表 1. 対象者の属性

	年齢	性別	疾患名	発症後期間	麻痺側
subject a	80代	男	脳梗塞	9年	左
subject b	80代	男	脳梗塞	8年	左
subject c	50代	女	クモ膜下出血	13年	右
subject d	70代	男	脳梗塞	9年	右
subject e	60代	女	脳出血	2年	左
subject f	70代	男	脳梗塞	11年	右

表 2. Catch の出現を判定する角速度閾値の評価指標

	感度	特異度	陽性的中率	陰性的中率
Full Range				
subject a	0.90	0.78	0.82	0.88
subject b	1.00	0.86	0.92	1.00
subject c	0.86	0.80	0.92	0.67
subject d	0.69	0.67	0.92	0.29
subject e	0.91	0.75	0.83	0.86
subject f	1.00	0.83	0.78	1.00
Median	0.90	0.79	0.88	0.87
Half Range				
subject a	0.89	0.70	0.73	0.88
subject b	0.89	0.70	0.73	0.88
subject c	0.85	1.00	1.00	0.75
subject d	0.88	1.00	1.00	0.92
subject e	0.75	0.71	0.82	0.63
subject f	1.00	0.82	0.80	1.00
Median	0.88	0.77	0.81	0.88

表 3. Catch Threshold trial の角度, MV, DV

	ROM (°)	Range (°)	Angle (°)	%ROM (%)	MV (°/s)	DV (°/s²)
Full Range						
subject a	90.48	49.81	40.67	55.05	251.29	2037.05
subject b	76.10	24.59	51.51	32.31	57.27	901.76
subject c	45.63	21.77	23.86	47.71	85.88	633.96
subject d	86.07	44.46	41.61	51.66	153.02	1173.17
subject e	63.04	43.11	19.93	68.39	77.34	737.06
subject f	64.95	33.31	31.64	51.29	134.73	652.87
Median	70.53*	38.21*	36.15*	51.47	110.30	819.41
Half Range						
subject a	54.66	41.83	12.83	76.53	127.57	1671.07
subject b	48.34	19.52	28.82	40.38	51.24	785.54
subject c	21.37	8.89	12.48	41.60	27.32	430.03
subject d	57.73	30.46	27.27	52.76	100.15	1286.94
subject e	37.48	28.18	9.30	75.19	98.58	606.87
subject f	39.26	12.14	27.12	30.92	52.25	348.99
Median	43.80	23.85	19.97	47.18	75.42	696.20

*p<0.05 (vs. Half Range 条件) ウィルコクソン符号順位検定
ROM: Range of motion, MV: Max velocity, DV: Deceleration value
ROM = Range + Angle, %ROM = Range/ROM × 100

考察

本研究では Catch を誘発する他動運動角速度と Catch の大きさの閾値の簡易な決定方法を提示し、全例で閾値が検出することができた。また、今回提示した閾値レベルの Catch を用いて他動運動開始位置の違いが Catch の出現角度に及ぼす影響を観察した結果、全他動運動範囲における相対的な角度（%ROM）は安定している可能性が示された。

1. Catch Threshold trial

本研究では、各対象者のそれぞれの条件において Catch を誘発する他動運動角速度と Catch の大きさの閾値を決定し、全ての対象、条件で Catch Threshold trial が検出された。今回設定した角速度閾値について感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率を算出したところ、中央値でおよそ 80% の正確さを示し、他動運動開始位置の影響は観察されなかった。

閾値レベルの Catch が生じる他動運動角速度はおよそ $50\sim 250^\circ/\text{sec}$ であり、他動運動開始位置の影響は観察されなかった。全可動範囲を 1 秒以上かけて動かす程度の遅い角速度で Catch が出現していた対象者もいた。

閾値レベルの Catch の大きさである DV はおよそ $350\sim 2000^\circ/\text{sec}^2$ であった。これより小さい DV の多くは Catch による減速ではなく、他動運動中の減速を反映していると考えられる。臨床的な痙縮の評価で Catch の大きさを計測しないが、慣性センサなどの機器を使用することで、Catch の大きさを計測が可能になる。他動運動角速度が速くなるにつれて Catch は大きくなる⁷⁾ため、Catch の大きさを定量的に評価するためには角速度の統制が必要となる。本研究では閾値レベルの小さな Catch を記録したが、他動運動開始位置の影響は観察されなかった。したがって、閾値レベルに角速度を統制した Catch の大きさは、他動運動範囲に影響を受けない可能性が示されたが、本研究では対象者が少ないため、結果の解釈には十分な注意が必要となる。

2. Catch の出現角度

本研究では、Catch 出現までの他動運動の範囲を Range、そこから最終域までの絶対的な角度である Angle、そして条件間で異なる他動運動範囲に対して Catch の出現する相対的な角度を %ROM とし、これら 3 つの角度を求めた。これらの Catch の出現角度に関して、本研究では Full Range 条件と比較した Half Range 条件で Range が有意に小さくなった。これは、Half Range 条件で Catch が出現するまでの運動量が小さくなったことを示している。また、Full Range 条件と比較した

Half Range 条件では、Angle も有意に小さくなった。Catch が出現するまでの他動運動は肘関節伸展であり、Half Range 条件では、少ない伸展運動で、より伸展した位置で Catch が生じたことになる。他方、Catch の出現する %ROM に条件間で有意な差はなかった。

Catch の出現が運動開始位置から Catch 出現までの角度に依存する場合は Range、絶対的な角度に依存する場合は Angle が条件間で同じになるが、いずれも条件間に有意な差があった。したがって、閾値レベルの Catch の出現に、筋の長さを変化させる他動運動開始位置の影響は観察されなかった。他方、本研究で用いた角速度の閾値による Catch の評価指標は 0.77-0.90 とある程度高かった。これらのことより、本研究で観察した閾値レベルの Catch は筋の長さへの依存性はみられず、角速度が閾値を超えることで出現し、%ROM は運動の開始位置に影響を受けず安定している可能性が示された。

Catch を出現させる伸張反射は、他動運動角速度が高速になると出現が早くなることが知られている^{11, 12)}。しかし、速い角速度の他動運動では、遅い角速度と比較して Catch の出現が遅くなることが報告されている^{11, 13, 14)}ため、角速度の変化は観察する Catch の出現角度に影響を与える可能性がある。そこで本研究では、閾値レベルの遅い角速度に統制する Catch の計測を提案した。観察された遅い角速度による %Catch は、運動開始位置の影響を受けにくい安定した指標である可能性が示された。

本研究では、閾値レベルの遅い角速度の他動運動、運動範囲の狭い他動運動においても、比較的安定した %ROM で Catch を定量的に評価できた。これは、疼痛などで運動範囲や運動角速度が制限されるような対象者に対しても Catch による痙縮の評価が妥当である可能性を示唆するものと考えられる。

3. 結語と限界

本研究では Catch を誘発する他動運動角速度と Catch の大きさの閾値の同定方法を提案し、角速度閾値を求めることが可能であった。また、他動運動の開始位置に関わらず安定した相対的な角度（%ROM）で出現する Catch が計測できる可能性が示された。しかし、本研究では安静状態を筋電図で確認していないため、安静の厳密な確認は行えていない。そのため、課題開始前の筋活動の状態が今回の結果に影響を及ぼしている可能性については排除できない。また、今回対象者が地域在住の片麻痺者であり、可動域や痙縮の程度、各条件間の筋緊張が統制されていない点、他動運動範囲と角速度が検者の主観に依存する点、対象数が少ない点は、本研究結果を一般化



する上での限界となる。

利益相反

なし。

謝辞

本研究は、奈良学園大学保健医療学部のご共同研究費助成を受けて実施したものです。本研究の実施に当たり、研究にご参加、ご協力いただいた皆様に深謝いたします。

文献

- 1) Guo X, Wallace R, Tan Y, et al.: Technology-assisted assessment of spasticity: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 19: 138, 2022
- 2) He J, Luo A, Yu J, et al.: Quantitative assessment of spasticity: a narrative review of novel approaches and technologies. *Front Neurol* 14: 1121323, 2023
- 3) Vidmar T, Goljar Kregar N, Puh U: Reliability of the Modified Ashworth Scale After Stroke for 13 Muscle Groups. *Arch Phys Med Rehabil* 104: 1606-1611, 2023
- 4) García-Bernal MI, González-García P, Casuso-Holgado MJ, et al.: Measuring Mechanical Properties of Spastic Muscles After Stroke. Does Muscle Position During Assessment Really Matter? *Arch Phys Med Rehabil* 103: 2368-2374, 2022
- 5) Shu X, McConaghy C, Knight A: Validity and reliability of the Modified Tardieu Scale as a spasticity outcome measure of the upper limbs in adults with neurological conditions: a systematic review and narrative analysis. *BMJ Open* 11: e050711, 2021
- 6) Morris SL, Williams G: A historical review of the evolution of the Tardieu Scale. *Brain Inj* 32: 665-669, 2018
- 7) Fujimura K, Mukaino M, Itoh S, et al.: Requirements for Eliciting a Spastic Response With Passive Joint Movements and the Influence of Velocity on Response Patterns: An Experimental Study of Velocity-Response Relationships in Mild Spasticity With Repeated-Measures Analysis. *Front Neurol* 13, 854125, 2022
- 8) Rhudy JL, France CR: Reliability and validity of a brief method to assess nociceptive flexion reflex (NFR) threshold. *J Pain* 12: 782-791, 2011
- 9) Lewis GN, Rice DA, Jourdain K, et al.: Influence of stimulation location and posture on the reliability and comfort of the nociceptive flexion reflex. *Pain Res Manag* 17: 110-114, 2012
- 10) Kröger S, Watkins B: Muscle spindle function in healthy and diseased muscle. *Skelet Muscle* 11: 3, 2021
- 11) Turpin NA, Feldman AG, Levin MF: Stretch-reflex threshold modulation during active elbow movements in post-stroke survivors with spasticity. *Clin Neurophysiol* 128: 1891-1897, 2017
- 12) Blanchette AK, Mullick AA, Moin-Darbari K, et al.: Tonic Stretch Reflex Threshold as a Measure of Ankle Plantar-Flexor Spasticity After Stroke. *Phys Ther* 96: 687-695, 2016
- 13) Wu YN, Ren Y, Goldsmith A, et al.: Characterization of spasticity in cerebral palsy: dependence of catch angle on velocity. *Dev Med Child Neurol* 52: 563-569, 2010
- 14) Wu YN, Park HS, Chen JJ, et al.: Position as Well as Velocity Dependence of Spasticity-Four-Dimensional Characterizations of Catch Angle. *Front Neurol* 9: 863, 2018

Short report

Attempts to measure the threshold level of the catch in Community-Dwelling Individuals with Hemiplegia and the impact of different starting positions of passive motion on the appearance angle and size of the catch

Yasutomo Jono^{1*}, Terufumi Iitsuka¹, Junichi Yoshitome²

¹ Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science, Naragakuen University

² Health care facilities for the elderly requiring long-term care, Tazuha

ABSTRACT

【Introduction】 This study attempted to identify the threshold of the “Catch” phenomenon, which is a stretch reflex that occurs during passive movement, based on the speed of passive angular movement that induces a Catch and the size of the Catch. We also observed the effects of different starting positions of movement on the appearance angle and catch size.

【Methods】 The participants were six hemiplegic residents with spasticity in the local area. The speed of passive angular movement of the Catch, from the maximum flexion position of the elbow joint to the intermediate position, was recorded using an inertial sensor. The speed of passive angular movement was determined using the up-and-down method based on the subjective presence or absence of a Catch. Moreover, 20 trials were conducted for all participants under each condition. The threshold was determined from the speed of passive angular movement and Catch size. Additionally, Catch trials at the threshold level were analyzed.

【Results】 Threshold-level Catch trials were identified in all cases. Significant differences were observed in the amount and position of movement at which the Catch appeared due to the differences in the starting position of the movement. However, no significant differences were reported in the relative angle or size of the Catch within the range of movements in which the Catch appeared.

【Conclusion】 As the threshold was identified from the speed of passive angular movement and Catch size, it was demonstrated that controlling the speed of passive angular movement to the threshold and observing the Catch was possible. Although the starting position of the movement influenced the angle at which the Catch appeared, it did not affect the relative angle of appearance. This suggests that the relative angle of Catch emergence can serve as a quantitative index that is less influenced by the position at which the movement begins.

Key words: residents, hemiplegics, Catch