

# VRを用いた上肢の運動障害 重症度評価システムの開発

群馬大学医学部附属病院脳神経内科

助教 佐藤正行

2024年 10月 22日

# 運動失調、パーキンソン症状について

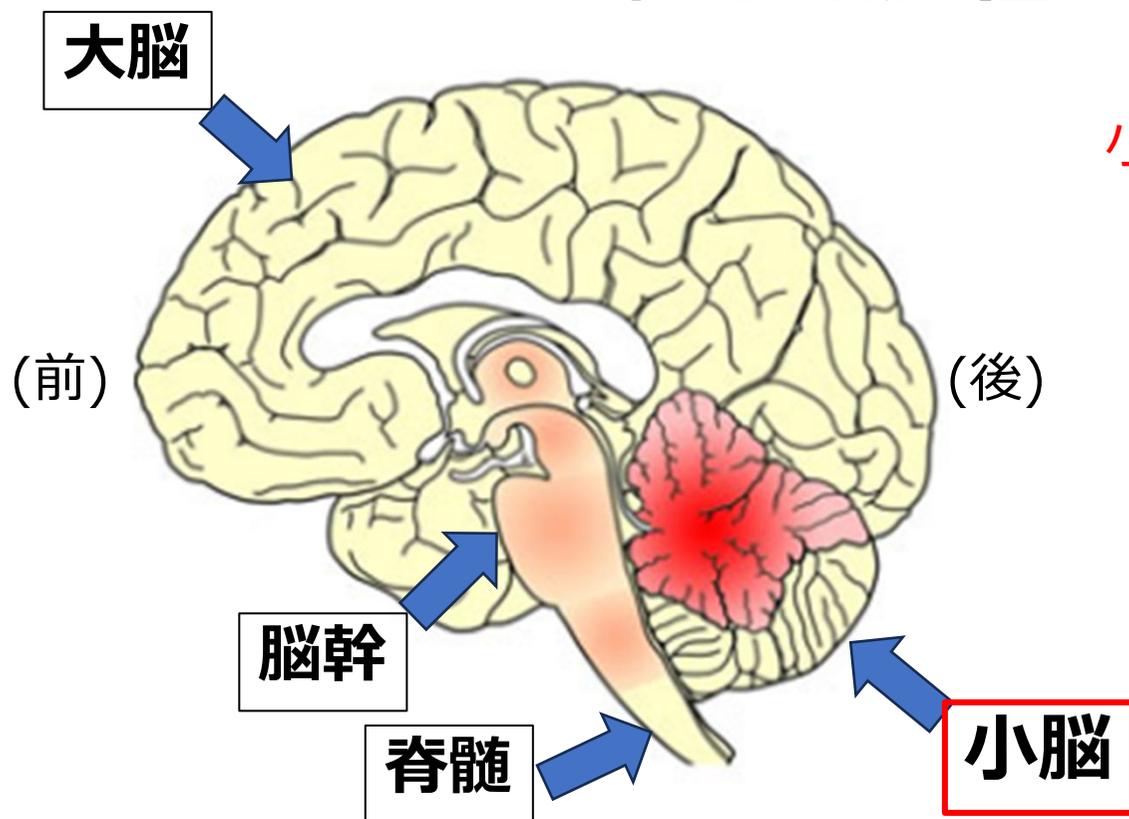
	運動失調	パーキンソン症状
主な症状	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 呂律が回らない</li><li>・ うまく手足が動かない</li><li>・ ふらつく</li></ul> <p>※筋肉が<u>協調的に動かない</u>ため<u>円滑な動作ができない</u>状態</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 動作が遅くなる</li><li>・ 手足がふるえる</li><li>・ 筋肉が固くなる</li><li>・ バランスが悪くなる</li></ul>
主な原因	脊髄小脳変性症	パーキンソン病

うまく箸が使えない、文字が書きづらい、転びやすい



患者さんの生活の質(Quality of life; QOL)の低下

# 脊髄小脳変性症について



小脳の主な役割は**運動の制御**



体の様々な筋肉が協調して  
バランス良く動く



**スムーズな運動**が可能

脳のイメージ図 Seidel K, et al. Acta Neuropathol. 2012.

## 脊髄小脳変性症

小脳を中心とし脳幹、脊髄などの機能が徐々に低下していく病気  
日本では約25,000人の患者さんがいる

脊髄小脳変性症・多系統萎縮症診療ガイドライン2018

# 従来の運動失調の評価方法(SARA)

診察・目視により点数化する(特別な道具は要らない)

## 体幹

- ①歩く：0～8点
- ②立つ：0～6点
- ③座る：0～4点

## 腕

- ⑤指追い試験：0～4点
- ⑥鼻-指試験：0～4点
- ⑦手の回内・回外運動：0～4点

## 口

- ④話す：0～6点

## 足

- ⑧踵膝試験：0～4点



0点(正常)～40点(最重症)

脊髄小脳変性症における新規薬剤の臨床試験における効果判定としても用いられている

# SARAの問題点

## ① 半定量的(連続変数ではなくカテゴリー変数)である点

- 臨床試験において有効性を評価するのに多くの対象者が必要<sup>1)</sup>  
(脊髄小脳変性症の患者数は高血圧や糖尿病の患者数より非常に少ない)

## ② わずかな変化を捉える鋭敏性が低い点

- 脊髄小脳変性症は**進行が緩徐**であることが多く、1年間でSARA点数が0.8~1.8点とわずかしか変化しない<sup>2)</sup>ため有効性評価が難しい

## ③ 評価者の主観に左右されてしまう点

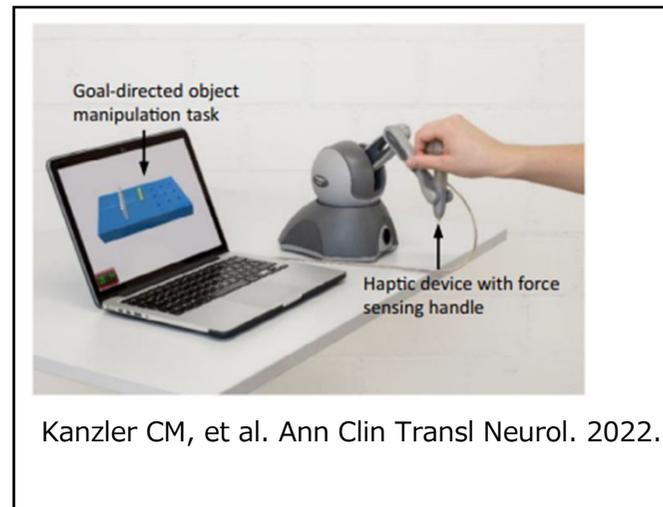
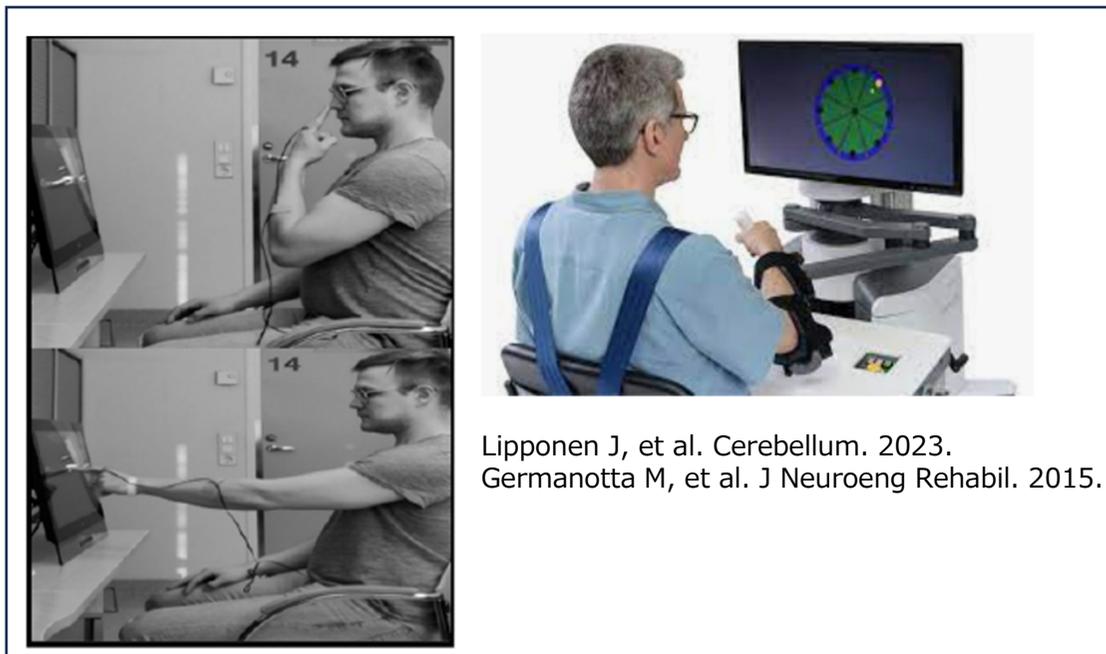
- 同一患者さんでも評価者によって点数がばらついてしまう<sup>3)</sup>

1) Jacobi H, et al. Lancet Neurol. 2015.

2) Diallo A, et al. J Neurol. 2021.

3) Brooker SM, et al. Ann Clin Transl Neurol. 2021.

# 従来の定量的評価の試みと問題点



● デバイスが高価

● 大掛かりな装置と特定の場所が必要

どれも定量的評価は可能であるが、  
評価できる施設が限られてしまう

これまでに確立された方法はない

# SARAの⑥鼻-指試験について

## ⑥鼻-指試験の様子

医師

患者

結果	スコア
揺れがない	0
揺れの大きさ < 2cm	1
揺れの大きさ < 5cm	2
揺れの大きさ > 5cm	3
指差し動作が5回できない	4

指先の揺れを目視で観察し点数化



実際に定規で測定しているわけではない



目視でcm単位の正確な差を  
評価するのは困難である

※患者さんの許可を得た上で掲載

# VRデバイスの応用

目視でわずかな指先の動きの変化を正確に捉えるのは困難



センサーやカメラによる精密な計測が可能ではないか？

## VR技術の進歩

- **ヘッドマウントディスプレイ(HMD)**  
⇒カメラで指先の動きや3次元的な位置を正確に捉える
- **ハンドトラッキング**※精度の向上

※使用者の手指の動きをリアルタイムに検知・認識する技術



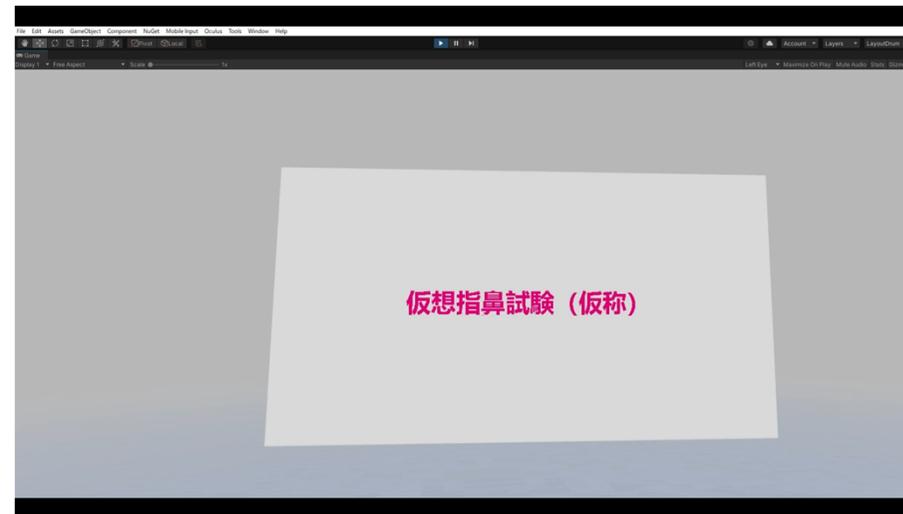
**VR(Virtual reality; 仮想現実)空間内で  
運動障害を客観的かつ定量的に評価**

# ハンドトラッキング精度

デバイスを使用している実際の様子



被検者に見えているVR画面



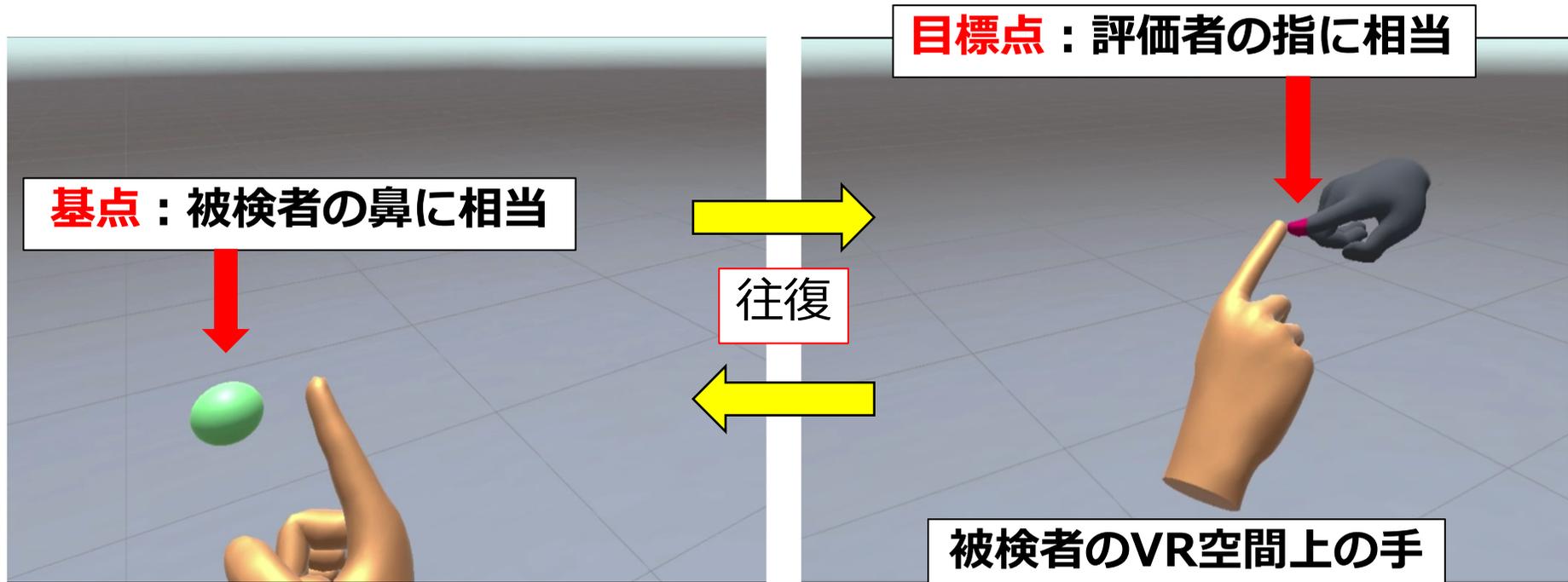
VR空間上に高精度に手や指の動きを再現可能

モーションキャプチャー※との比較でも精度に差は無い<sup>1)2)</sup>

※マーカーやカメラで人やモノの動きをデジタル化する技術

1) Carnevale A, et al. Sensors (Basel). 2022.  
2) Craig CM, et al. Diagnostics (Basel). 2022.

# VR空間上で「鼻-指試験」を行う



基点

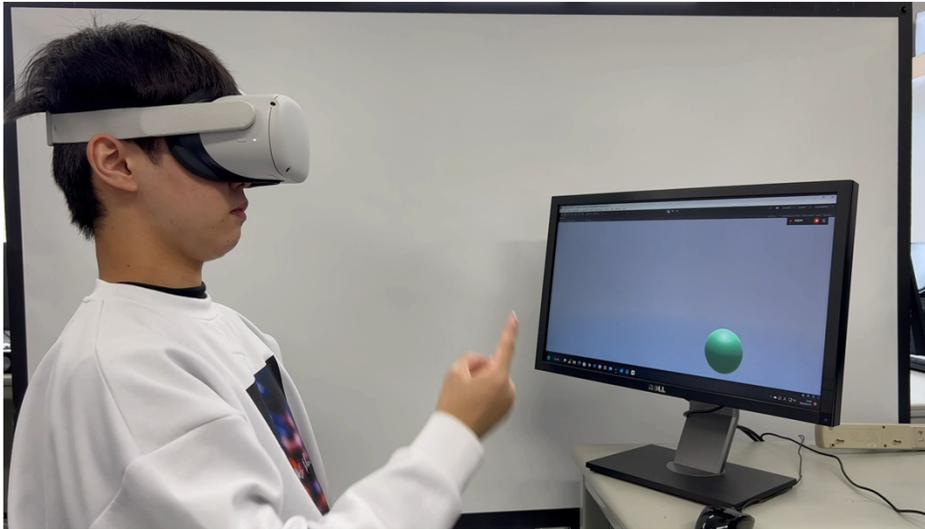
○常に一定の位置に出現

目標点

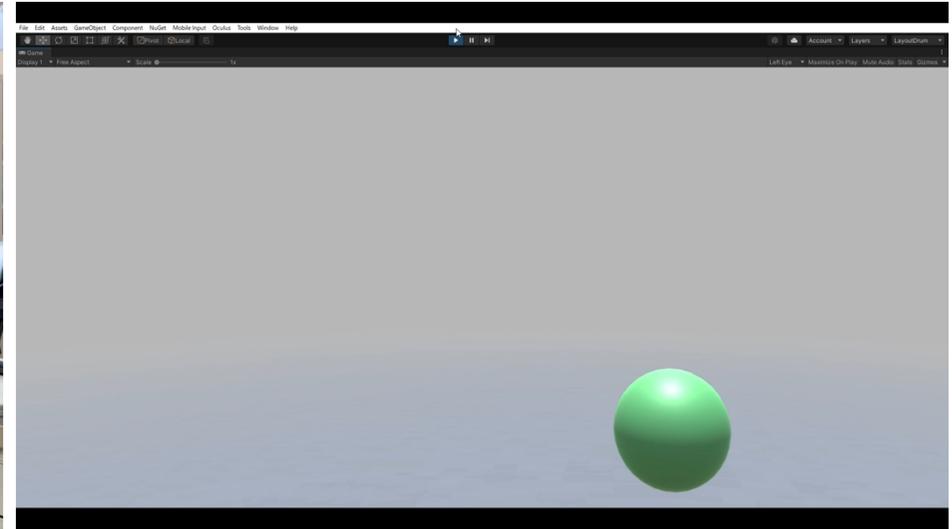
- ランダムなパターンで出現
- 各被検者ごとに一定
- 赤く目立つように表示

# VR空間上における「鼻-指試験」

右腕での鼻-指試験の様子



被検者に見えているVR画面



○基点や目標点に触れると**消失かつ音(ドラム音)**が鳴る  
⇒被検者へのフィードバック

○ヘッドマウントディスプレイは軽量であり被検者への負担は少ない

# 計測項目について

空間的な  
評価

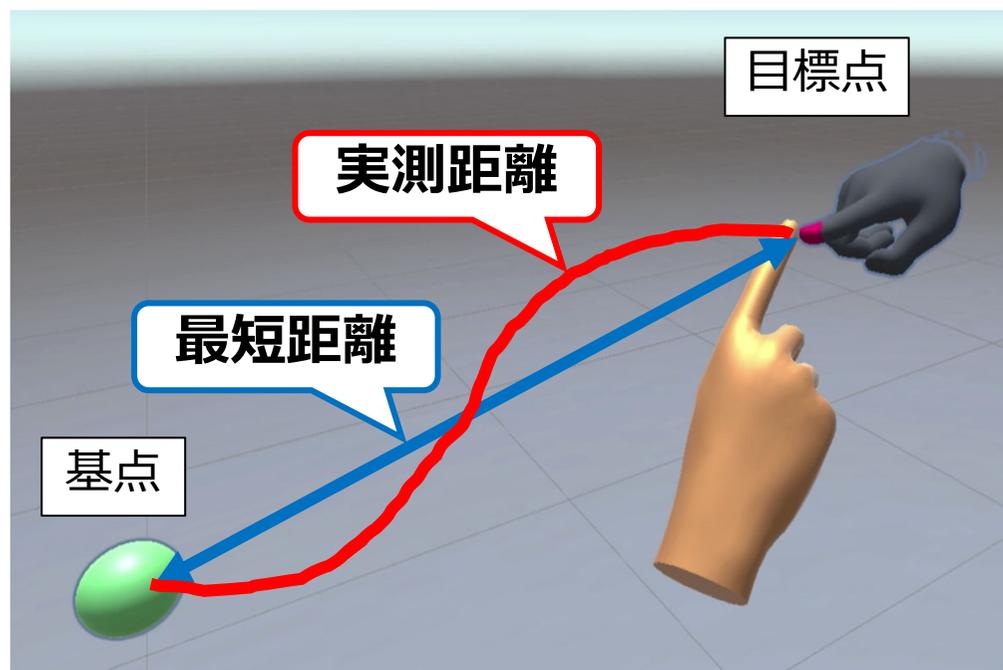
- ① 実測距離・最短距離の差
- ② 実測距離・最短距離の比
- ③ 目標点を通り過ぎた経路距離
- ④ 目標点を通り過ぎた最大距離

時間的な  
評価

- ⑤ 往路・復路に要する時間の平均値
- ⑥ 指先の平均移動速度

さらに①～⑥の変動係数も算出し  
ばらつきを評価

## ② 実測距離・最短距離の比



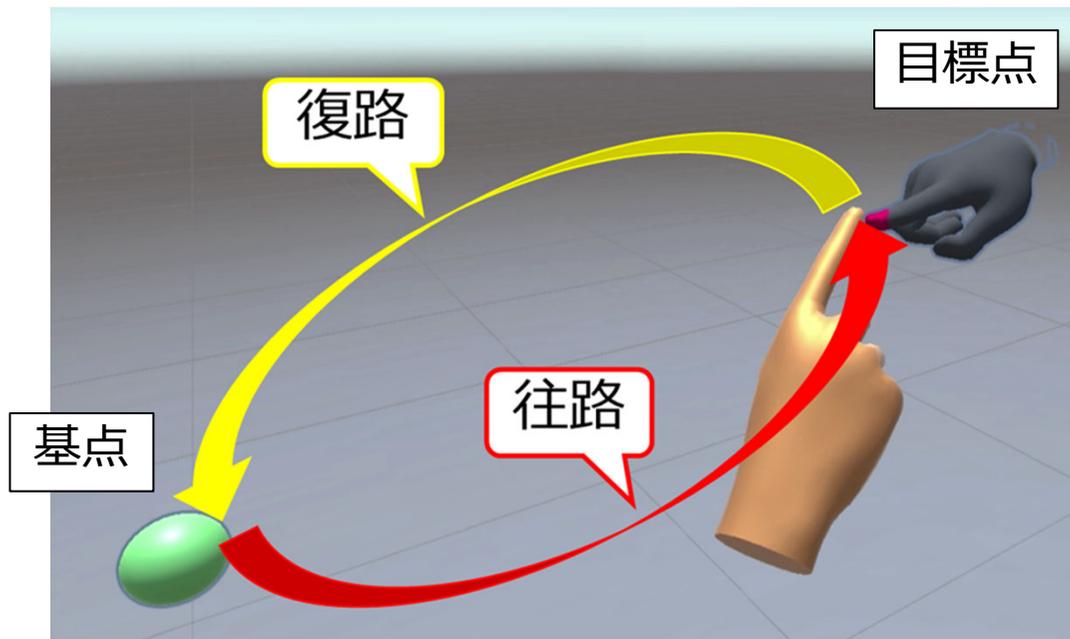
$$\frac{\text{実測距離}}{\text{最短距離}}$$

- 運動失調患者の腕の動きは「**不規則**」<sup>1)</sup>
- 目標に**スムーズに到達が困難**(通り過ぎてしまうこともある)  
⇒健常人よりも指先が余計な軌跡を描くと考えられる



実測距離・最短距離の比は**大きくなる**

## ⑥ 指先の平均移動速度



往路・復路における  
指先の移動速度の  
平均値

- 運動失調患者では運動速度の変動が大きくなる<sup>1)~4)</sup>
- 運動速度の変動係数が運動失調において鋭敏な指標になる<sup>2)4)</sup>
- パーキンソン病患者は運動速度が遅い<sup>5)</sup>

運動失調の評価では変動係数が役立つ  
パーキンソン症状の評価では速度が役立つ

# 臨床評価(臨床研究審査委員会承認)

## 対象者

2023年5月～2024年4月に群馬大学医学部附属病院脳神経内科に入院ないし外来通院患者のうち以下の3群に分類

- 運動失調症を認める患者 (運動失調群)
- 上肢に運動障害を認めない患者 (コントロール群)
- パーキンソン症状を主症状とする患者 (パーキンソン症状群)

## 評価項目

○VRデバイスによる各計測項目

○運動失調群における各計測項目とSARAとの相関

**SARA総スコア**(合計8項目の合計40点満点)

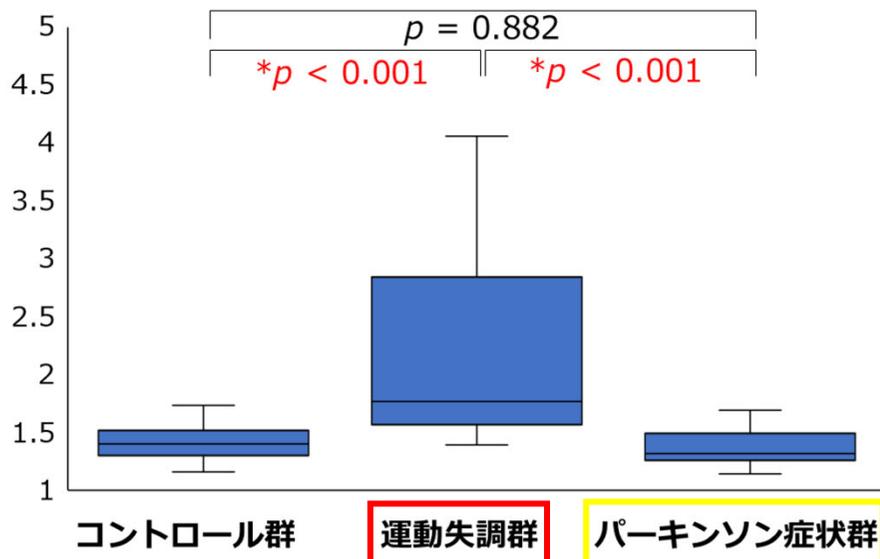
**SARA上肢サブスコア**(腕の評価である⑤指追い試験⑥鼻-指試験⑦手の回内・回外運動の合計12点満点)

# 患者背景

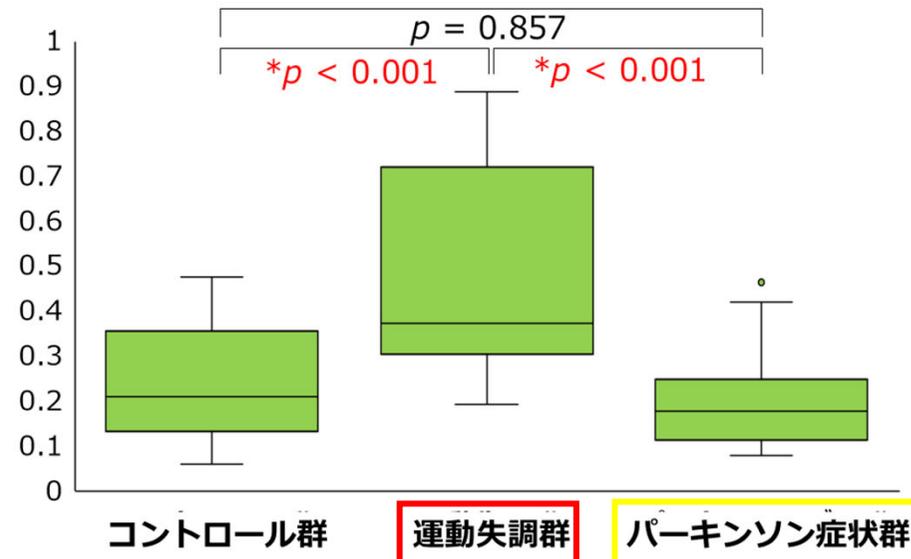
	コントロール群	運動失調群	パーキンソン症状群
人数	22	30	20
男性：女性	12：10	12：18	13：7
検査時年齢(歳)	58.0 ± 11.4	61.9 ± 11.2	71.3 ± 7.1
SARA 総スコア	—	14.4 ± 6.5	—
SARA 上肢サブスコア	—	3.2 ± 1.9	—
背景疾患	てんかん, 片頭痛など	脊髄小脳変性症、 多系統萎縮症など	パーキンソン病 進行性核上性麻痺

# 結果：②実測距離・最短距離の比

実測値



変動係数



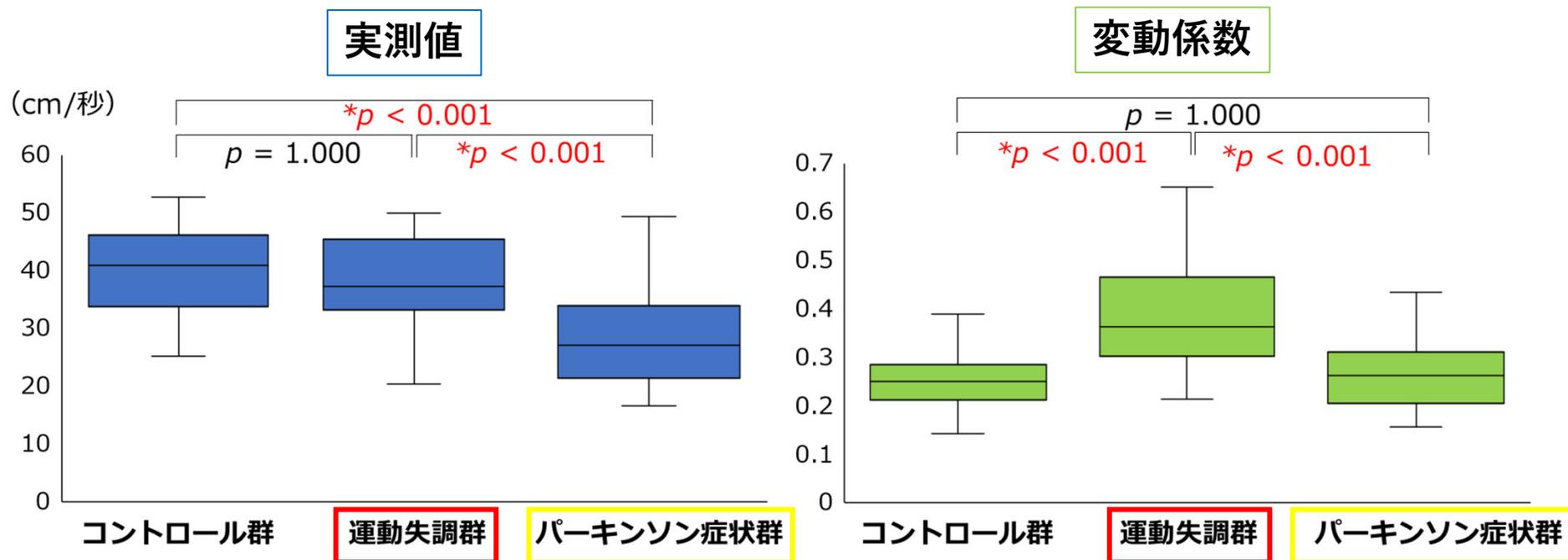
運動失調群

腕の動きがスムーズでない、  
腕の動きのばらつきも大きい

パーキンソン症状群

コントロール群と差が乏しい

# 結果：⑥指先の平均移動速度



## 運動失調群

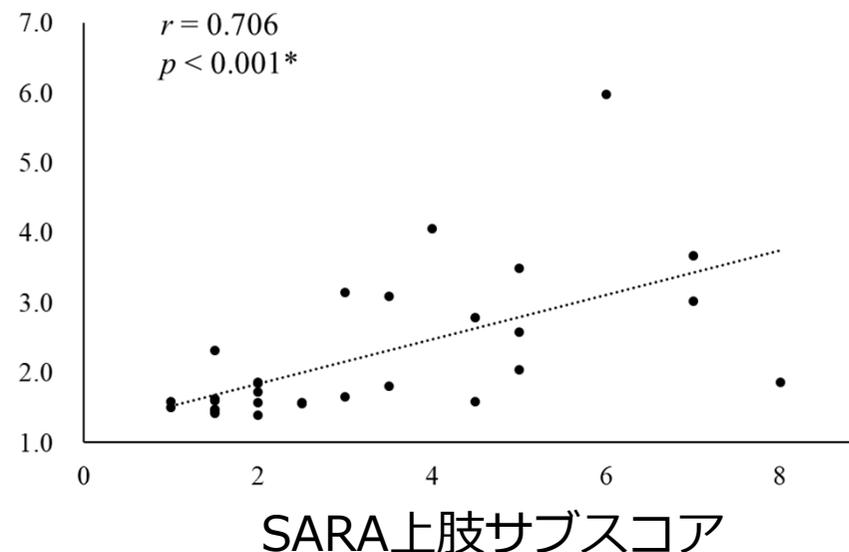
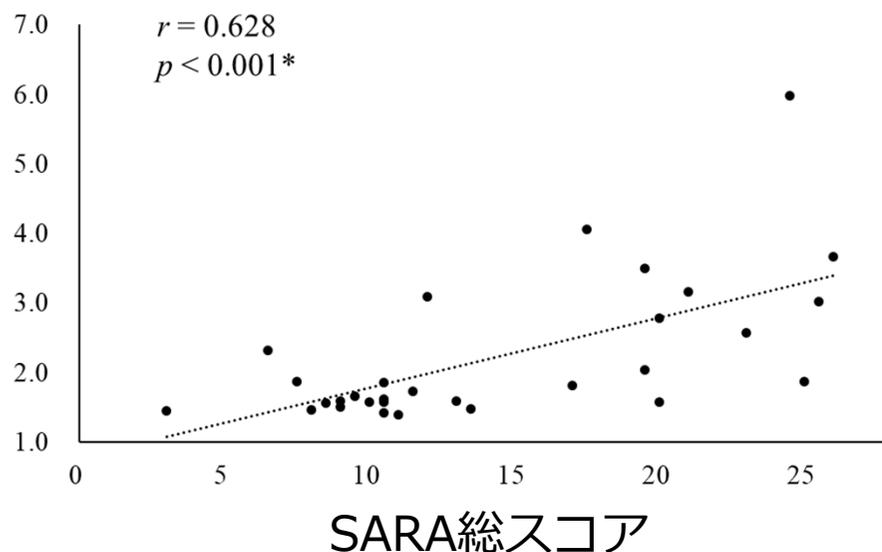
速さはコントロール群と差が無いが、  
速度のばらつきが大きい

## パーキンソン症状群

運動速度が遅いが、速度のばらつき  
はコントロール群と差が無い

# 計測項目とSARAの相関関係

運動失調群30名における②実測距離・最短距離の比と  
SARA総スコア/上肢サブスコアとの相関関係



SARA上肢サブスコアのみならず**SARA総スコア**  
とも有意な正の相関関係にある

腕のみならず運動失調全体の重症度を反映する

# 本発明の利点と従来技術との違い

## 利点

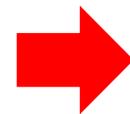
- ① 目視では測定困難な**わずかなずれ**を定量的に計測可能
- ② **マーカーレス**⇒腕に余計な違和感や負担を与えない
- ③ 患者自身で評価可能⇒評価者の**人的コスト削減**



より質の高いデータが得られる  
評価者の負担が減る

## 従来技術と比べて

- ① 特定の環境は必要ない
- ② 評価法が**シンプル**かつ**簡便**
- ③ 比較的**安価**



どこでも評価可能

# 本発明の用途

- ・ 病院やクリニック、リハビリテーション施設などで運動障害の重症度を評価可能

⇒ 適切な治療やリハビリテーションの方針立案に役立つ

- ・ 臨床試験での新規薬剤の効果判定に有用

⇒ 簡便に定量化可能、どこでも評価可能である点もあり多くの施設での評価が可能

- ・ 自宅でゲーム感覚で自身の状態を簡単に評価できる

⇒ 数値化された評価は患者やその家族にも分かりやすい  
ゲーム感覚で患者の治療やリハビリテーションへのモチベーション維持に役立つ

# 実用化に向けた課題

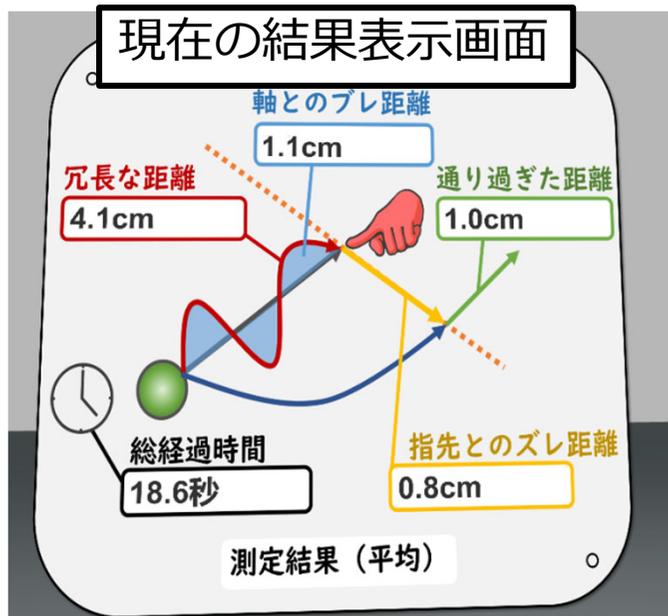
## ① 治療前後や経時的変化の評価が可能かの検証

- 現在、半年後や1年後など経時的なデータ集積している
- 治療前後のデータはまだほとんど無いため集積が必要

## ② 基準値の設定

- 健常コントロールのデータ集積が必要

## ③ 結果をどのようにフィードバックするか



- 左右別での表示が出来るようにする
- 一目で結果が理解できるような分かりやすい表示をする

# 本発明の社会貢献

- 運動失調患者数 約4万人
- パーキンソン症状患者数 約15万人
- 脳血管疾患※患者数 約200万人  
※脳梗塞、脳出血、くも膜下出血など

いずれの疾患もリハビリテーションが重要であり、  
**その評価も同時に重要**である

患者

医療従事者

運動障害の**正確な評価が可能**

企業

医療・リハビリテーション分野での**展開・進出**

# 企業への期待

- 医療分野への展開を考えている企業にとって本技術の導入が有効と考える
- 腕や足・体幹などの運動機能の計測についての技術やVR技術を持つ企業との共同研究を希望する

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：VRを用いた上肢の運動障害重症度評価システムの開発
- 出願番号：特願2024-173901
- 出願人：群馬大学
- 発明者：佐藤正行、池田佳生、弓仲康史、阿部峰之

## お問い合わせ先

群馬大学  
産学連携・知的財産活用センター

T E L :        0277-30-1171~1175  
F A X :        0277-30-1178  
e-mail :        [tlo@ml.gunma-u.ac.jp](mailto:tlo@ml.gunma-u.ac.jp)