

発表内容, テキスト, 画像などの
無断転載・無断使用を固く禁じます

Unauthorized copying and replication of the contents of
this presentation, text and images are strictly prohibited.

実用先進リハビリテーション研究会

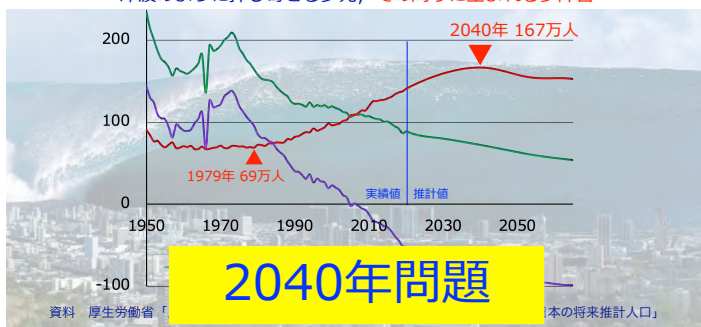
Practical Innovative Rehabilitation Research Conference 2022 winter

リハビリテーションロボット総論

平野 哲

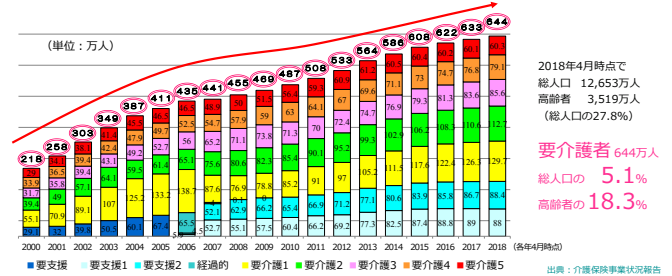
藤田医科大学医学部リハビリテーション医学 I 講座

今世紀前半の医療課題は多死・多障害対応
津波のように押し寄せる多死, その周りに生まれる多障害



要介護認定者数の推移

2018/2000 = 2.95倍



必ず来る未来
超高齢社会

多 障 害

人的支援

工学的支援

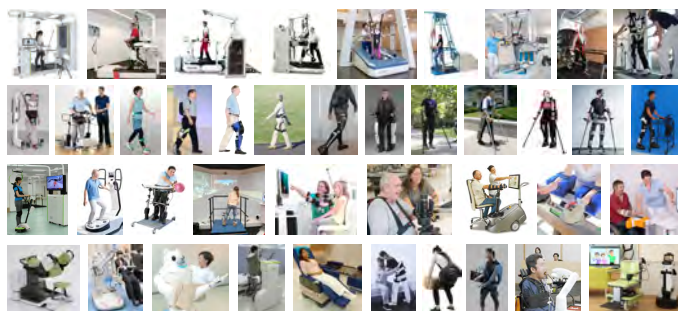
リハビリテーション医療は

究極の工学的支援

リハビリロボット
を求める



数多くの“リハビリテーションロボット”



リハビリテーションロボットの分類

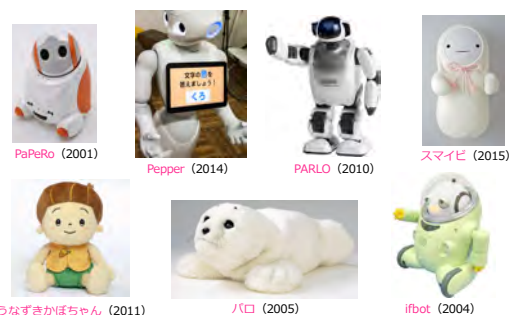


「家族が歩けないので・・・」

- 寝たきりで全く動けない → **介護支援型**
- 対麻痺だが、何とか歩けないか？ → **自立支援型**
- 脳卒中による片麻痺で、回復期リハ病院に入院中だが、回復が思わしくない → **練習支援型（歩行）**
- 自分で歩いているが、バランスが悪くて転びそう → **練習支援型（バランス）**

適応が大切

認知情動支援ロボット



アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」



- アニマルセラピーと同様の効果を期待して、1993年に研究開発が始まり、2005年から日本国内で、2009年に海外で販売が開始された。2018年時点では世界30カ国以上で、約5000体以上が活用されていた。
- 3つの内臓マイクにより、音の方向や強さ、自分の名前や挨拶など単語レベルの認識が可能。姿勢センサにより自己姿勢の認識も可能。7つのアクチュエータにより生き物らしい動作を再現。
- 2009年に米国FDAが医療機器（Class II）に承認した。2018年からはメディケアの保険適用となった。
- 国内外の医療福祉施設において、RCTを含む臨床試験が行われてきた。認知症患者において、不安、うつ、痛み、ストレスの改善効果があった。痛みや問題行動に対する向精神薬の使用を減少させた。

赤ちゃん型コミュニケーションロボット「スマイビ」



- 目・口・首の動きや声、ランプで喜怒哀楽を表現（本物の赤ちゃんの声を使用）
- 本体に搭載されている複数のセンサーが姿勢や揺れ等を検知し、抱っこされたら喜んだり、逆さまにするなど乱暴に扱ったりと悲しんだりする
- 与えられた刺激への反応はランダム



- 利用者が癒やしや安心感を感じ、徘徊や不穏が低減
- スマイビの世話を願うことで、介護者に時間的余裕を提供

コミュニケーションロボット「PARLO」



- 優れた音声対話処理と話者認識機能を備え、0.4秒の反応時間で、テンポの良い会話を実現
- 顔認識機能を有し、覚えているユーザーについては名前を呼んで話しかける
- インターネットに接続し、旬な話題を提供。家庭で使用する場合には、離れて暮らす家族に、ユーザーの様子を伝達
- 段差などの障害を検出しながら、自由に移動
- ダンス、ゲーム、クイズなどの高齢者レクリエーションプログラムを搭載

Pepper

レクリエーション



夜間巡回・徘徊防止



服薬管理



家族と連絡



認知情動支援型の目的

- 認知機能維持
- うつ予防
- 認知症の周辺症状の軽減
- レクリエーション支援
- 見守り支援

練習支援ロボット



歩行練習
● 脊髄損傷
● 神経難病



歩行練習
● 脳卒中片麻痺



上肢機能練習
● 脳卒中片麻痺



バランス練習

注 意！

道具であって魔法ではない

→ 作用機序が大切

→ 適応が大切

ロボットは練習を支援できるか？
(役立ちそうか？)

もし可能なら、それは
どのような機序で支援するのか？
(どうやって使えばよいか？)

運動学習の視点が重要

運動学習の主たる変数

- 転移性
 - 動機づけ
 - 行動変化
 - 保持/応用
- フィードバック
 - 量（頻度）
 - 難易度

revised from RA Schmidt by E Saitoh

上肢機能練習支援ロボット



InMotion Arm



AMADEO



HAL単関節型



ReoGo-J



CoCoroe AR²



CoCoroe PR²



DIEGO

InMotion Arm (MIT-Manus)



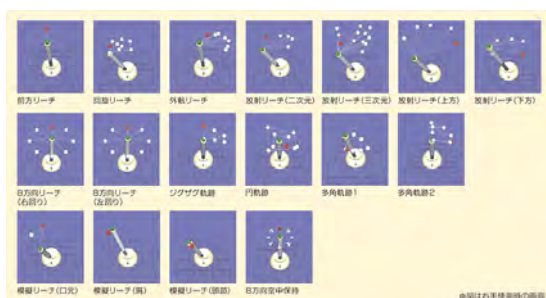
- 平面上の練習のみであり，練習内容が単調で，種類も少ない
- インピーダンス制御により，パフォーマンスに応じてロボットのアシスト量が変化
- 練習と同時に評価も可能（一定施行毎に，運動学的指標が表示される評価も可能）

ReoGo-J



- アームが伸長することにより，三次元空間内での練習を行う
- 17種類の軌道の異なる課題，5種類の練習モードを組み合わせることで，患者に適した難易度の課題を提供可能

17種類の課題



帝人ファーマ（株）より提供

5種類の練習モード

| | | 患者様による動作 | アームの動き |
|-----------------------|------------------|---|--------|
| 少 求める 随意運動 多 | 全介助 | アームが軌道上を自動的に動きます。 | → |
| | 自動介助 (初動時負荷) | 初動時のみ正しい方向に力を加えることで，アームが軌道と自動的に動きます。 | → |
| | 自動介助 (段階的) | 軌道は1つづつに分断され，その軌道ごとの運動時に正しく力加えることでアームが自動的に動きます。 | → |
| | 自動運動 (軌道アシスト) | アームが軌道上を任意速度で自動的に動きます。加える力を減らすと速度が変わります。 | → |
| | 自動運動 | アームは自動的に動きますが，軌道の保持も必要です。力を減らすと速度と方向が自由に変わります。 | → |

帝人ファーマ（株）より提供

CoCoroe AR²



- 主動作筋に電気・振動刺激を与えることで促通反復療法を再現
- 免荷量と課題の高さ・方向・距離の調整により難易度を調整可能

上肢機能練習支援ロボットと運動学習



InMotion Arm



ReoGo-J



CoCoroe AR²

| | 難易度 | Feedback | 行動変化 | | | 保持応用 | 適応 | 促通 |
|-------------------------|-----|----------|------|------|-----|------|----|----|
| | | | 量 | 動機付け | 転移性 | | | |
| InMotion | ○ | ◎ | ◎ | ○ | × | △ | △ | — |
| ReoGo-J | ◎ | △ | ○ | △ | △ | ◎ | ◎ | — |
| CoCoroe AR ² | ○ | △ | ◎ | △ | △ | ○ | ○ | + |

障害者対策総合研究開発事業 AMED

リハビリテーションロボット機器の有用性と運用に関する研究
(研究開発代表者：大高洋平，2019-2021)

リハビリロボットのエビデンスを
文献レビューで整理

リハビリロボットの利用者・使用
者への全国調査

専門家パネルによる議論

リハビリロボットの
レファレンスガイド

大高洋平先生ご講演資料より

まとめ

- 超高齢社会を乗り切るためには工学的支援の活用が必須であり，リハビリテーションロボットに期待が集まっている。本邦においても，導入が進んでいる。
- リハビリテーションロボットは自立支援，介護支援，認知情動支援，練習支援に分類できる。どのロボットが役立つのか，まず**適応**が大切である。
- 練習支援ロボットを利用するには，通常のリハビリテーション同様，**運動学習**の視点が重要である。

発表内容, テキスト, 画像などの
無断転載・無断使用を固く禁じます

Unauthorized copying and replication of the contents of
this presentation, text and images are strictly prohibited.

実用先進リハビリテーション研究会

歩行練習支援ロボットのいま

藤田医科大学病院 リハビリテーション部

井元 大介

20226 PIRRC2022 winter

本日の内容

- 歩行練習支援ロボット のいま
- 歩行練習支援ロボット「ウェルウォーク」のいま
- 開発中の歩行練習支援ロボット のいま

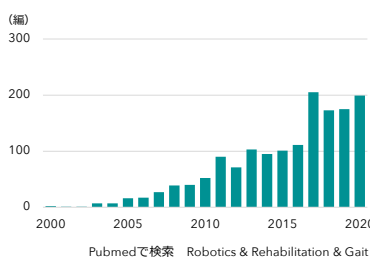
歩行練習支援ロボット

Exoskeleton type

End-effector type



研究論文数



主な対象疾患

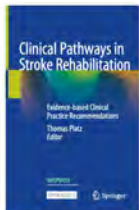
- 脳卒中
- 不全脊髄損傷
- パーキンソン病
- 多発性硬化症
- 脳性麻痺

脳卒中患者に対する 歩行練習支援ロボットの有効性

| | Motor control | Walking independence | Walking speed | Walking capacity | Balance capacity | ADL |
|-----------------|---------------|----------------------|----------------|------------------|------------------|-----|
| Hsu (2019) | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| Postol (2019) | | | | △ | | |
| Bruni (2018) | | | (end-effector) | | | |
| Mehrholz (2017) | | | △ | △ | | |
| Hesse (2013) | | | | | | |
| Mehrholz (2012) | | (end-effector) | | | | |
| Lo (2017) | | △ | | | | △ |
| Zheng (2019) | | | | | | |

大高洋平教授から資料提供 引用改変

脳卒中リハビリテーションのガイドライン ー世界ニューロリハビリテーション連合ー



Restoration of Gait in Severely Affected Patients Who cannot Walk Without Help

B
(should)

Intensive, progressive gait training, combining conventional physiotherapy and gait training with–If available and appropriate–End-effector or exoskeleton-based training.

Stephan KM, Pérennou D. Chapter 8 Mobility After Stroke: Relearning to Walk. Platz T, editor. Clinical Pathways in Stroke Rehabilitation. Evidence-based Clinical Practice Recommendations. WFNR-Springer (2021).

脳卒中治療ガイドライン2021

亜急性期以後の障害に対するリハビリテーション診療
2-3 歩行障害 (1) 歩行訓練

歩行ができない発症後3か月以内の脳卒中患者に対して、歩行補助ロボットを用いた歩行訓練を行うことは妥当である。

(推奨度B エビデンスレベル中)



日本脳卒中学会 脳卒中ガイドライン委員会 編集、協和企画、2021

運動量増加機器加算

令和2年度診療報酬改訂

脳血管疾患等リハビリテーション料 (I) 又は脳血管疾患等リハビリテーション料 (II) に係る別に厚生労働大臣が定める施設基準に適合しているものとして地方厚生局長等に届出を行った保険医療機関において、別に厚生労働大臣が定める患者に対して、当該保険医療機関の医師、理学療法士又は作業療法士が運動量増加機器を用いたリハビリテーション計画を策定し、当該機器を用いて、脳血管疾患等リハビリテーション料を算定すべきリハビリテーションを行った場合に、運動量増加機器加算として、月1回に限り150点を所定点数に加算する。

ロボット、機能的電気刺激

脳卒中又は脊髄障害の急性発症に伴う上肢又は下肢の運動機能障害を有する患者 (脳卒中又は脊髄障害の再発によるものを含む)

ウェルウォーク



- 2007 トヨタ自動車と共同開発研究開始：ToFuture Project
- 2009 歩行練習アシスト GEAR の臨床実験開始
- 2014 製品パッケージ化 臨床的研究モデル発表
- 2014 研究用 (歩行練習アシスト GEAR) として多施設展開開始 (23施設)
- 2016 実証試験例 173例 (本学86例)
- 2017 WW-1000レンタル開始
- 2018 第8回ロボット大賞 2018 厚生労働大臣賞
- 2020 WW-2000販売開始

ウェルウォークの2つの特徴

運動学習理論
にもとづく支援

臨床現場での
使いやすさ



運動学習理論にもとづく支援

アシスト調整性

体重免荷量の調整

振出しアシスト量の調整

膝屈曲開始タイミングの調整

膝伸展アシスト量の調整

助けすぎない精緻な補助で、
最適難易度の課題を提供



フィードバック機能

患者用モニタ

姿勢（縦横、側面）、麻痺側荷重量、足部接地位置、足圧中心軌跡

音声

麻痺側荷重成功、膝折れ警告

治療者用モニタ

患者用モニタで提示される情報全て、膝関節角度、歩行分析結果

患者にはコツを直感的に、
オンタイムで伝える

臨床での使いやすさ

1 実用的な構造

低床・低速対応トレッドミル
6cm, 0.2km/h~



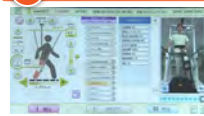
簡単装着
3分以内



2 タッチパネルによる一括操作



3 練習ガイド



異常歩行検知システム



異常歩行検知システム



姿勢推定の追加により、マーカーレスで異常歩行を検知

異常歩行と歩行失敗の検知



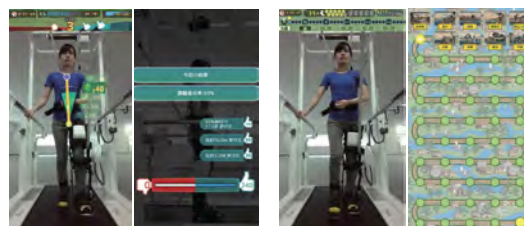
異常歩行と歩行失敗の定量的評価の提示

ガイド機能



ゲーム機能

歩行練習におけるモチベーション向上を狙った機能



臨床研究紹介

ウェルウォークWW-1000が回復期脳卒中片麻痺患者の歩行自立度改善に与える影響に関する無作為化オープン比較試験

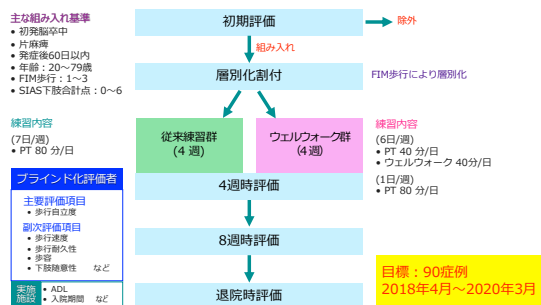
目的

回復期脳卒中片麻痺患者において、WW-1000を用いた歩行練習による歩行能力の改善効果を、装具を用いた従来の歩行練習と比較する。

参加施設

- ・ 鶴飼リハビリテーション病院
- ・ 岡山リハビリテーション病院
- ・ 関西リハビリテーション病院
- ・ 三九郎病院
- ・ 東京湾岸リハビリテーション病院
- ・ 藤田医科大学病院
- ・ 藤田医科大学七葉記念病院
- ・ 湯布院病院

研究デザイン：PROBE法 (prospective randomized open blinded-end-point design)



評価項目

主要評価項目 ：歩行自立度

- ・ 退院時の歩行自立 (FIM歩行6以上) の割合
- ・ 介入4週時点までのFIM歩行改善効率 (FIM歩行5に到達するまでの、1週間あたりのFIM歩行の利得)

副次評価項目

- ・ 歩行速度
- ・ 歩行持久性 (6分間歩行距離)
- ・ 歩行様式・歩容
- ・ 下肢随意性 (SIAS-LE)
- ・ ADL (FIM合計点)
- ・ 入院日数

安全性評価項目

- ・ 介入期間中の有害事象
- ・ WW-1000の不具合の有無

亜急性期脳卒中片麻痺者に対する ウェルウォークを用いた歩行練習の効果

- 歩行自立の割合を高める
- 歩行自立度の改善を早める
- 合理的な歩容を獲得する



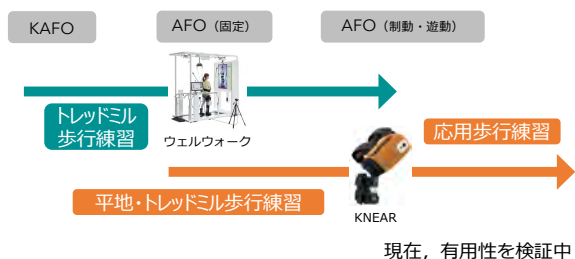
KNEE Extension Assist Robot : KNEAR (トヨタ自動車株式会社と開発中)



- 下腿の傾斜センサによる立脚/遊脚の判定
- 立脚時に選択的な膝関節屈曲運動への抗力

遊脚期の運動を阻害せず、選択的に膝折れを防止

KNEARが歩行練習で果たす役割



まとめ

- 歩行練習支援ロボットを用いた歩行練習は、主に脳卒中患者でその有効性が報告され、治療ガイドラインでその実施が推奨されている。
- ウェルウォークは、亜急性期脳卒中片麻痺者に対して、歩行自立度の改善に有効であることが示された。現在、全国の回復期リハビリテーション病棟に普及しつつある。
- 平地歩行練習や応用歩行練習でも使用可能なKNEARを開発中で、その臨床効果を検証している。

発表内容、テキスト、画像などの
無断転載・無断使用を固く禁じます

Unauthorized copying and replication of the contents of
this presentation, text and images are strictly prohibited.

実用先進リハビリテーション研究会

バランス練習支援ロボットのいま

藤田医科大学医学部リハビリテーション医学Ⅰ講座
角田哲也

リハビリテーションロボットのSystematic Review (Outcomeにバランス指標を含むもの)

| | |
|-------------------------------|---|
| Zhang, 2019 (29研究, 188人) | <ul style="list-style-type: none"> 中枢神経障害患者に対して足関節をターゲットとしたロボット訓練を実施し、実施前後で歩行速度や足関節ROM、バランスが優位に改善した |
| Hsu, 2020 (7研究, 542人) | <ul style="list-style-type: none"> 亜急性期脳卒中患者に対してロボット使用群と従来練習群を比較し、歩行速度、バランス、ADLに関して有意差を認めなかった |
| Nam, 2017 (10研究, 502人) | <ul style="list-style-type: none"> 急性期脊髄損傷患者に対して、ロボット使用群(Lokomat)は平地歩行練習群よりも、歩行距離、下肢筋力、歩行自立度を有意に改善させた 維持期脊髄損傷患者に対して、ロボット使用群(Lokomat)は練習非実施群に対して、歩行速度、バランスが有意に改善した |
| Alwardat, 2018 (7研究, 286人) | <ul style="list-style-type: none"> パーキンソン病患者に対して、ロボット使用群(Gait trainer, Lokomatなど)は従来練習群よりも、歩行速度、バランス(Berg Balance Scale)を有意に改善させた |

バランス練習支援ロボット



THERA-Trainer balo



Andago



バランス練習アシスト



DynSTABLE



HUBER360

バランス練習アシスト (BEAR; Balance Exercise Assist Robot)



バランス障害を改善し、転倒予防を目指す

転倒の年間発生率

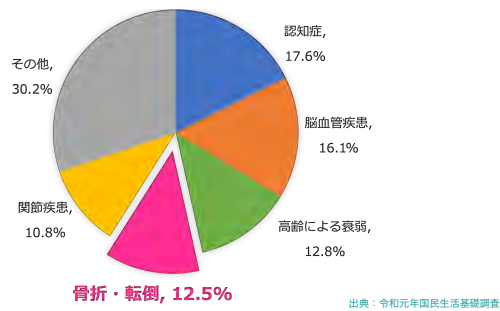
在宅高齢者の転倒
平均 16.7% / 年
0.05 / 10,000 人日

在宅脳卒中患者の転倒
平均 40~60% / 年

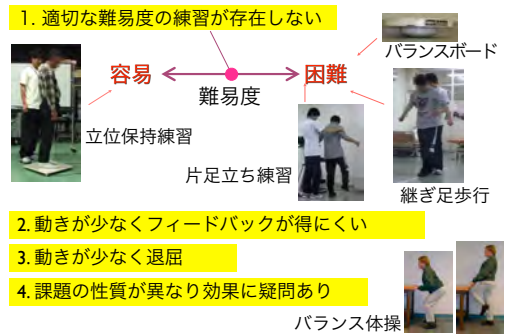
16.5%: Yasumura 1994
19.8%: Niino 1995
20.8%: Kano 1997
11.5%: Sakimura 1997
17.8%: Haga 1997

45%: Mackintosh 2006
43%: Andersson 2006
50%: Hyndman 2002
43%: Yoshimura 2003
63%: Yoshimoto 2009

介護が必要になった原因



従来のバランス練習の問題点



運動学習の主たる変数

- ・ 転移性
 - ・ 動機づけ
 - ・ 行動変化
 - ・ 保持/応用
- フィードバック
量（頻度）
難易度

revised from RA Schmidt by E Saitoh

重心移動を移動運動に変える

倒立振り子制御



TOYOTA

バランス練習アシスト

(Balance Exercise Assist Robot; BEAR)



3種類のゲーム課題

■ 重心移動練習（予測的姿勢制御）

- ・ 重心移動によりロボットを移動させて、ゲームのキャラクターをコントロールする。



■ 外乱対処練習（反応的姿勢制御）

- ・ 予期せぬロボットの自動運動（不規則で複雑な波形）に対して、動かないようにコントロールする



BEARの可能性

1. 適切な難易度の練習が存在しない

→ ロボット、ゲームのパラメータによる難易度調整

2. 動きがすくなくため、フィードバックが得にくい

→ ロボットの動きを通じてバランス制御を可視化

3. 動きが少ないので退屈

→ 動的ゲーム体験が練習意欲を促進

4. 課題の類似性に疑問がある

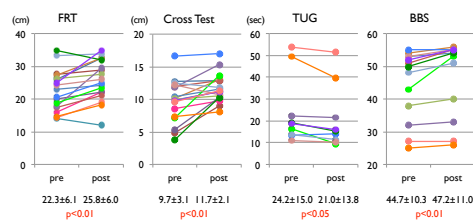
→ 操作者の運動は足関節/股関節戦略に類似

臨床研究の紹介

動的バランス能力の練習効果

慢性期中枢神経障害患者18名

160分 or 240分 (20分 * 2回 / 週 * 4 or 6週)



虚弱高齢者でのクロスオーバー比較試験



- ・ 国立長寿医療研究センター
- ・ ランダム化比較試験
- ・ オープンラベル

BEAR群では従来訓練と比較して
バランス関連指標や下肢筋力が
有意に改善

Ozaki K, et al. Geriatr Gerontol Int. 2017;17:1982-1990

回復期脳卒中片麻痺でのRCT（豊明+七栗）



回復期脳卒中片麻痺 通常リハにBEARを追加したRCT（湾岸リハ）

| ベースライン | 2 週 | 4 週 |
|---------------------------------|---------------------------|------------|
| BEAR group | Usual care + BEAR 6 /week | Usual care |
| Intensive balance training: IBT | Usual care + IBT 6 /week | Usual care |
| 通常ケア: UC | Usual care | |

BEAR群は集中バランス訓練
と同等に効果あり



※大高教授より御提供

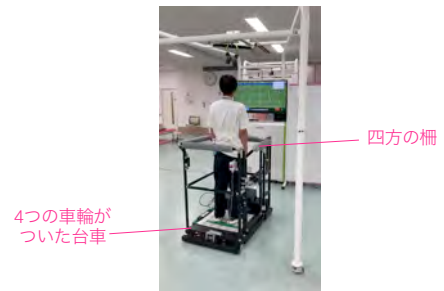
S Inoue, Y Otake, et al. Journal J Neuroeng Rehabil 28;19(1):12

臨床研究結果のまとめ

- 慢性期中枢神経障害患者，虚弱高齢者いずれにも，従来訓練を上回る効果を認めた。
- 回復期脳卒中患者に対するRCTでは，従来訓練に対して非劣性であった。
- BEARを通常訓練に追加して活用することで，回復期脳卒中患者のバランス能力が集中バランス訓練同様に効果があることが示唆された。
- BEARは患者にとって，従来訓練より楽しく好ましい練習であり，患者の動機付けに有利と考えられた。

スライド式バランス練習アシスト

(sliding-type Balance Exercise Assist Robot; sBEAR)



今後のBEARの展望

- 回復期脳卒中患者に対して，実際の臨床での活用を継続していく。
- スライド式バランス練習アシストの開発を進め，患者への効果検証を行っていく。
- スライド式バランス練習アシストの運動学的な特徴や今までのBEARとの違いなどを明らかにしていく。

発表内容、テキスト、画像などの
無断転載・無断使用を固く禁じます

Unauthorized copying and replication of the contents of
this presentation, text and images are strictly prohibited.

実用先進リハビリテーション研究会

自立支援・介護支援ロボットのいま

Current state of independence and care assist robots

田辺 茂雄

藤田医科大学 保健衛生学部 リハビリテーション学科 / 大学院 保健学研究科
ロボティクススマートホーム・活動支援機器研究実証センター

Practical & Innovative Rehabilitation Research Conference 2022 winter (PIRRC 2021 winter)

リハビリテーションロボット3+1分野



活動支援ロボット Activity Assist Robot: AAR

<https://www.prcm.co.jp/personal/medical/myrobot.html> <https://www.musclebot.com/>
<https://www.demikids.com/products/emocoo-arm> <https://www.demikids.com/products/emocoo-arm> <https://www.demikids.com/products/emocoo-arm>

自立支援ロボット

目的＝自由の拡大



WPAL (ASKA Corp)

ロボットを使用して
特定の活動が可能になる

麻痺など機能障害の
改善が目的でない

“自分で出来ること”が増える喜び

近年の脊髄損傷者歩行自立支援ロボット

2015/04-2020/02までの論文を調査→28編



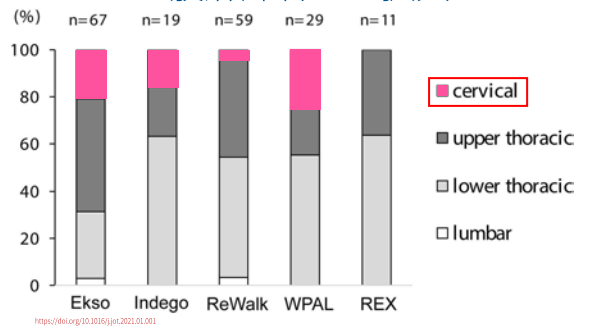
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-01001-0>

近年の脊髄損傷者歩行自立支援ロボット



WPAL
(ASKA Corp)

上肢麻痺者への拡大



上肢麻痺者への拡大

上肢麻痺を有する脊髄損傷者のロボット補助歩行例



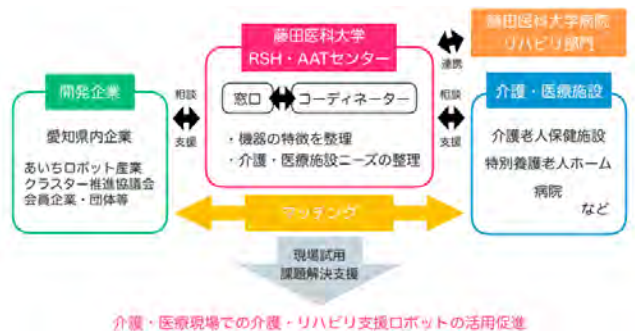
Lester RM, et al (2018) "Feasibility of robotic exoskeleton ambulation in a C4 person with incomplete spinal cord injury: a case report." *Spinal Cord Ser Cases*.
Hartigan C, et al (2015) "Mobility outcomes following five training sessions with a powered exoskeleton." *Top Spinal Cord Inj Rehabil*.

生活支援ロボットアワード



GIC2021 <https://globalinnovationchallenge.com/>

愛知県 介護・リハビリ支援ロボット活用促進事業



厚生労働省 介護ロボットの開発・実証・普及のPF事業



介護・医療施設、企業からの連絡をお待ちしております

藤田医科大学ロボティクススマートホーム・
活動支援機器研究実証センター
Research Center for Robotic Smart Home & Activity Assistive Technology

介護・リハビリ支援ロボット
相談窓口のご案内

相談対応者（コーディネーター）

藤田医科大学
教授 大高 洋平（藤田医科大学RSH・AATセンター長）
准教授 田辺 茂雄（コンセンサス評価・技術アドバイザー）
准教授 平野 哲（臨床アドバイザー）
講師 清野 真（マッチング可能性評価）
講師 小山根市朗（現場実用支援）
その他 藤田医科大学リハビリ部門の理学療法士・作業療法士など

相談料
無 料

相談方法
電子メールで問合せ受付後、コーディネーターとの面談・ヒアリングを設定します。
〔電子メールアドレス〕 cent-rsh@fujita-hu.ac.jp 〔電話番号〕 0562-93-9720



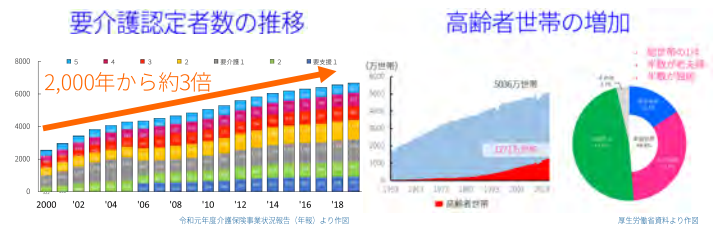
介護支援ロボット

目的＝介護者/被介護者支援

- 介護動作を支援して、介護者/被介護者の身体的、精神的負担を軽減

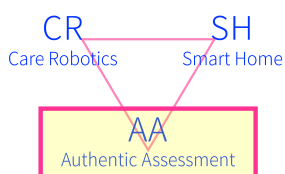


要介護者・高齢者世帯が増え続けている



ロボティクススマートホームの基本概念

高齢者の安心で快適な在宅生活を可能にする、
移乗/移動支援ロボット、サーバントロボット、各種スマート機器を開発、製品化
それらが活躍できる空間性をデザインし、**真 (authentic) の場面**で**実証**



藤田医科大学
地域包括ケア中核センター



けやきテラス

豊明団地集会所棟改修 医療福祉拠点施設



藤田医科大学・UR・豊明市・住民が連携し豊明団地で新コミュニティ創生

ふじたまちかど保健室

