

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

臨床指向的歩行分析の基礎

谷川広樹 RPT, DMSc

藤田医科大学 保健衛生学部 リハビリテーション学科

臨床における歩行評価

量的な歩行評価

歩行の自立度(介助量)を順序尺度で表す指標
Functional Ambulation Category, Functional Independence Measureなど

運動性能(速度や持久性)を数値で表す指標
10m歩行速度, 6分間歩行距離など

歩行能力の全体像を表すことに優れている
歩行障害の原因や介入方法にはつながらにくい

質的な歩行評価

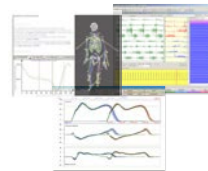
歩行パターン(歩容)
運動学的 : 重心位置, 関節角度
運動力学的 : 筋電図, 床反力, 関節モーメント
分析手法
観察による定性的な歩行分析
機器による定量的な三次元歩行分析

歩行再建に役立てようとした場合, 運動学・運動力学的評価が重要

歩行分析の深い溝

研究分野

- 運動学的分析 : 三次元動作分析装置
- 運動力学的分析 : 床反力計
- 筋電図分析 : 筋電図
- エネルギー代謝分析 : 呼吸ガス分析装置
- 神経生理学的分析 : 近赤外分光法



臨床現場

運動パターン(歩容)分析
= 視診による運動学的観察
“中等度の分回し歩行”

- 臨床の需要
- 異常歩行の理解
- 歩行再建の効率化
- 治療効果検証
- 転倒予防



三次元歩行分析が臨床活用されない理由

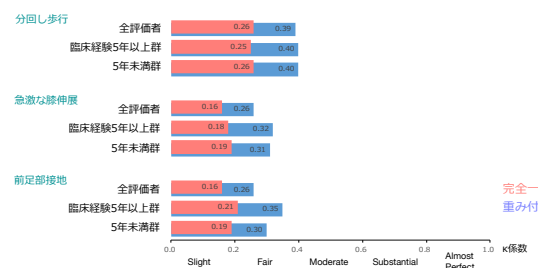
- 1) 自立歩行が計測対象の条件
- 2) 広い専有空間の確保
- 3) 1施行で2,3歩分のデータ
- 4) 計測と解析の人的・時間的コストが高い
- 5) 解析結果の臨床有用性が低い
- 6) 目視できる≠臨下造影検査



視診(観察)で評価
信頼性の問題

視診による歩行分析の評価者間信頼性

15名の評価者が30名の片麻痺患者のトレッドミル歩行のビデオ画像を観察し, 異常歩行の重症度を5段階で判定させた。



完全一致
重み付き

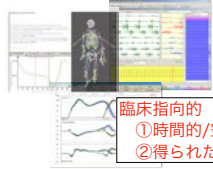
視診による歩行分析の評価者間信頼性は, 経験年数が長くても低い

歩行分析の深い溝

研究分野

- 運動学的分析 : 三次元動作分析装置
- 運動力学的分析 : 床反力計
- 筋電図分析 : 筋電図
- エネルギー代謝分析 : 呼吸ガス分析装置
- 神経生理学的分析 : 近

客観的/定量的/臨床指向的な歩行分析



臨床指向的

- ①時間的/空間的コストが低い
- ②得られたデータが治療に役立つ

臨床現場

運動パターン(歩容)分析
= 視診による運動学的観察
“中等度の分回し歩行”

臨床の需要

- ・異常歩行の理解
- ・歩行再建の効率化
- ・治療効果検証
- ・転倒予防

三次元トレッドミル歩行分析

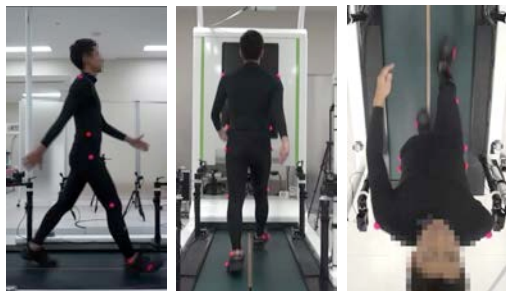


- 1) 手すりや懸垂装置の併用で低歩行能力者の計測が可能
- 2) 省スペース
- 3) 定速度で多数歩の計測が可能
- 4) 有線機器による同時計測が容易
- 5) 直感的に理解しやすいリサージュ図形の解析が可能

リサージュ図形

Healthy subject (27y/o, Male, TM speed: 5.0km/h)

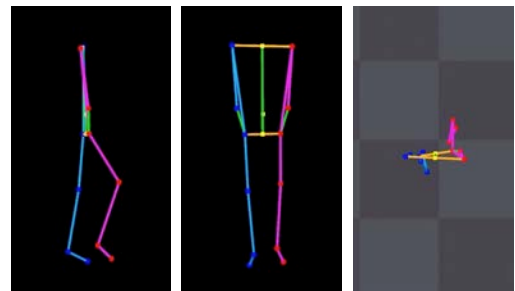
Sagittal plane Coronal plane Horizontal plane



リサージュ図形

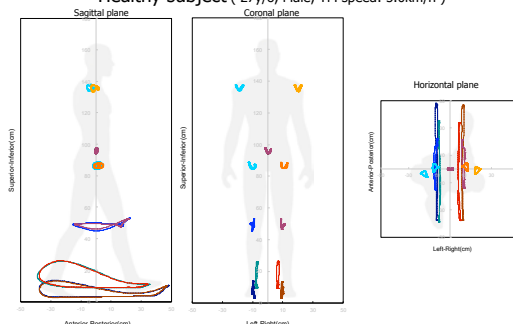
Healthy subject (27y/o, Male, TM speed: 5.0km/h)

Sagittal plane Coronal plane Horizontal plane



リサージュ概観図: LOP

Healthy subject (27y/o, Male, TM speed: 5.0km/h)



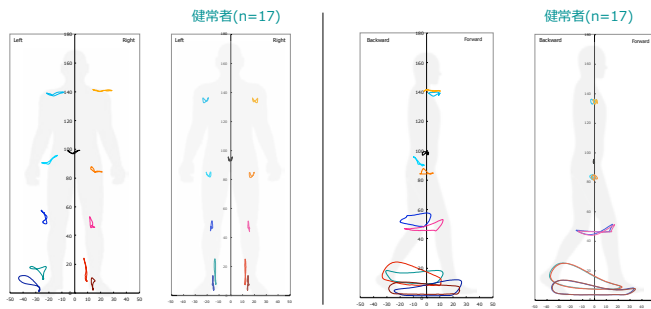
Case: クモ膜下出血 左片麻痺

平地速度: 2.5km/h, トレッドミル速度: 1.8km/h



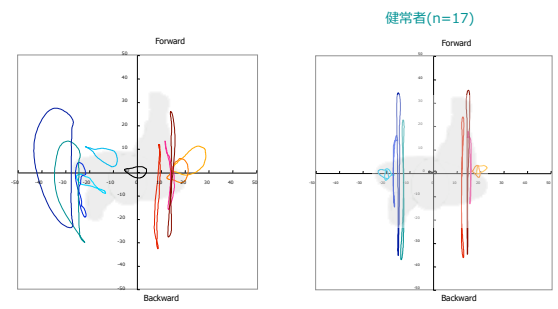
Case: クモ膜下出血 左片麻痺

平地速度: 2.5km/h, トレッドミル速度: 1.8km/h



Case: クモ膜下出血 左片麻痺

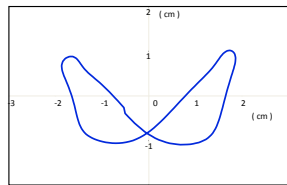
平地速度: 2.5km/h, トレッドミル速度: 1.8km/h



リサージュ図形

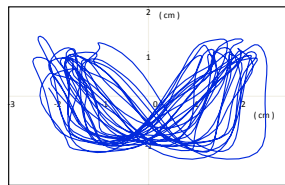
健康者の前額面のリサージュ図形

正規化後加算平均処理を施したリサージュ図形



運動パターン

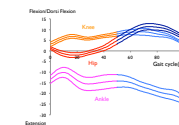
生データで作成したリサージュ図形



運動の再現性 (ばらつき)

直感的に歩容を理解

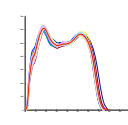
関節角度



2次元スティックピクチャ



床反力

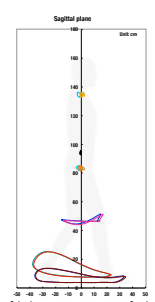


足圧



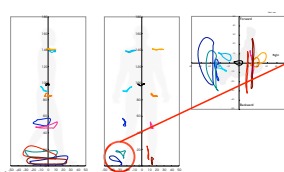
歩容を直感的に理解できない

LOP



歩行分析: Pan & Zoom

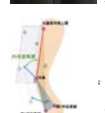
リサージュ図概観図(LOP)



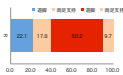
足内反/外反角度



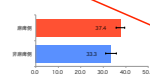
マーカ追加
カメラ増設



時間因子



距離因子



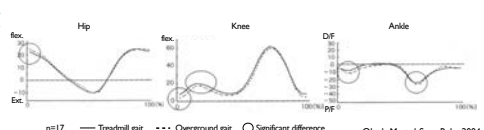
平地歩行 vs トレッドミル歩行

一般運動プログラムの概念で解釈すると、両者は同一

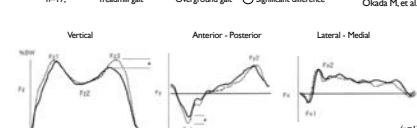
時間距離因子

相対時間割合 (%) 平地歩行 ≒ トレッドミル歩行 (n=29)

関節角度

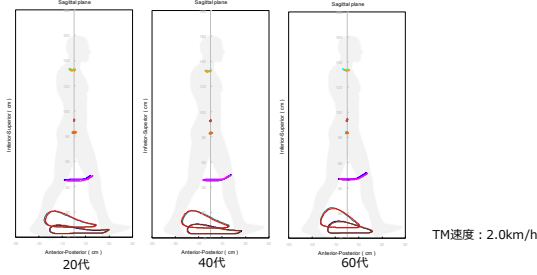


床反力



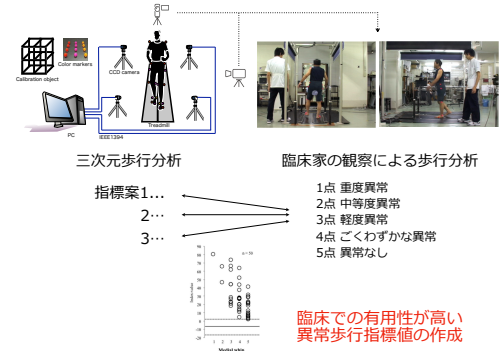
(n=17) Okada M et al Sogo Reha. 2004

トレッドミル歩行の健常者Grand Average リファレンスデータ



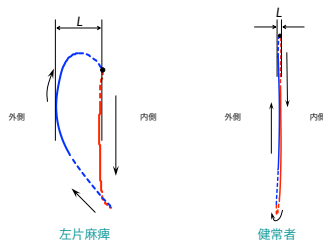
健常者(n=148)
20s-60s, 1.0-5.0km/h 時間距離因子, 関節角度, リサージュ図形

異常歩行の定量的評価



分回し歩行

定義：麻痺側遊脚初期～中期に股関節外転・外旋し、遊脚中期～終期に内転・内旋して麻痺側下肢が半円の軌跡を描くもの。



指標：足関節マーカの、遊脚期25-75%時間における最外側X座標と立脚期の25-75%時間における最内側X座標の差。

12種類の異常歩行を定量化

片麻痺患者に特徴的な12種類の異常歩行を、定量的に評価するための指標を作成

立脚期

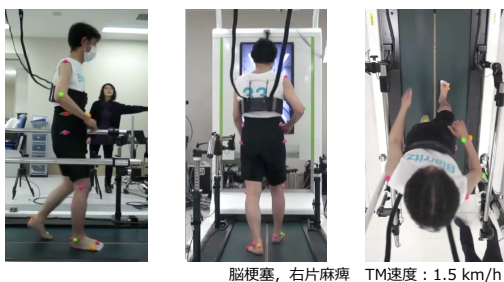
骨盤後退
前足部接地
急激な膝関節の伸展
膝屈曲位歩行
内側ホイップ

遊脚期

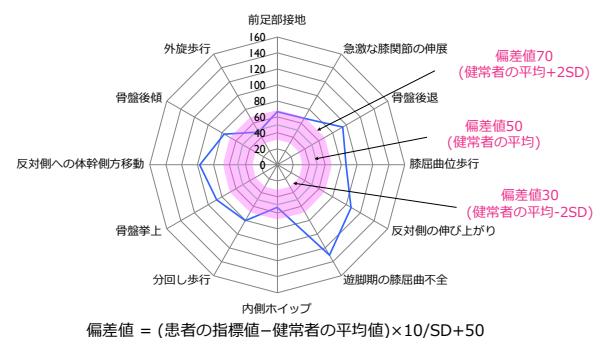
分回し歩行
骨盤挙上
骨盤後傾
外旋歩行
反対側の伸上り
遊脚期の膝屈曲不全
非麻痺側への体幹側方移動

異常歩行の定量的評価

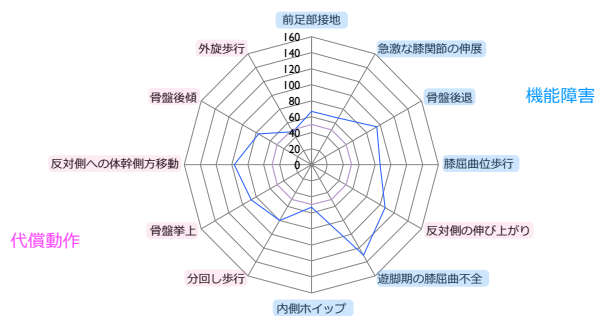
脳卒中片麻痺に特徴的な12種類の異常歩行の重症度を定量化



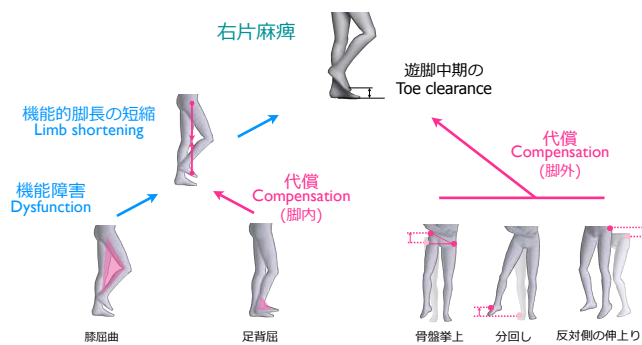
異常歩行の定量的評価



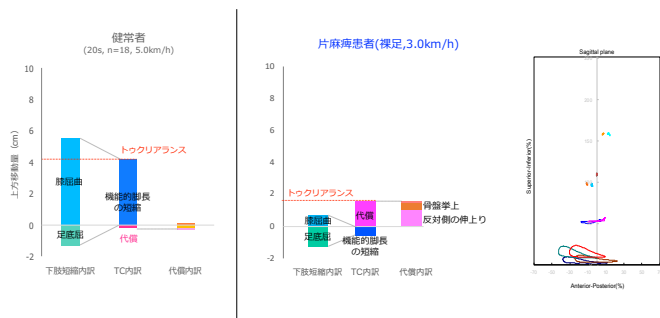
機能障害と代償動作



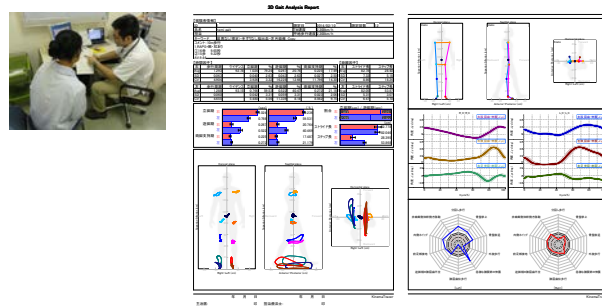
Toe clearanceを得るための戦略分析



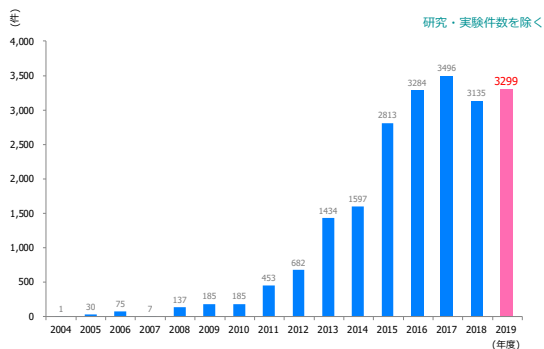
トゥクリアランスを得るための戦略分析



三次元トレッドミル歩行分析をルーティン化



三次元トレッドミル歩行分析の年度別検査件数 FHUHp



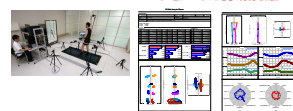
臨床指向的歩行分析

臨床と研究を橋渡するための歩行分析
客観的・定量的・臨床指向的

臨床指向的

- 1) 時間的・空間的コストが低い
- 2) 得られたデータが治療に役立つ

三次元トレッドミル歩行分析
リサージュ図形 (リサージュ外観図)
異常歩行定量化
トゥクリアランス分析
歩行分析レポート



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

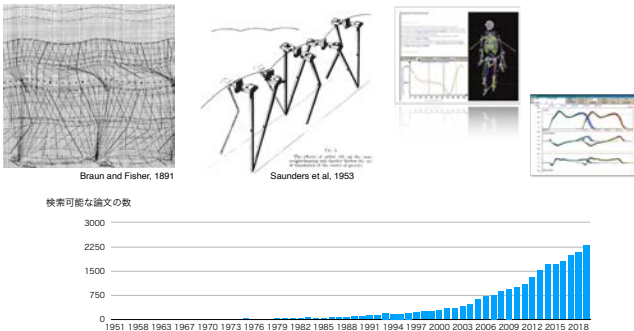
歩行障害の構造とその分析

向野 雅彦

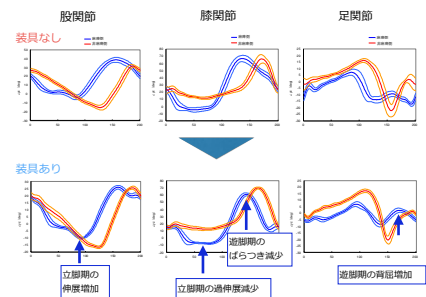
藤田医科大学医学部リハビリテーション医学講座

歩行分析

歩行分析の長い歴史



歩行分析の結果の有用性

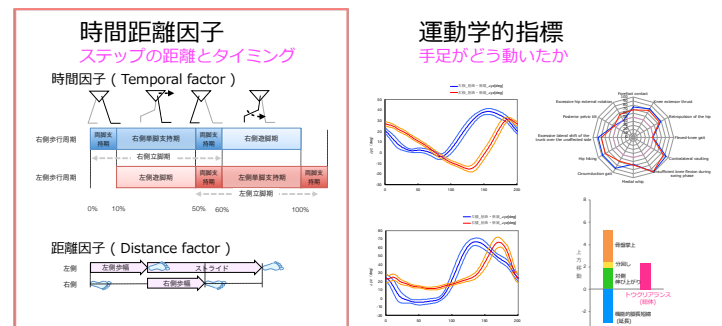


何がわかれば
臨床上有用な情報となるのか

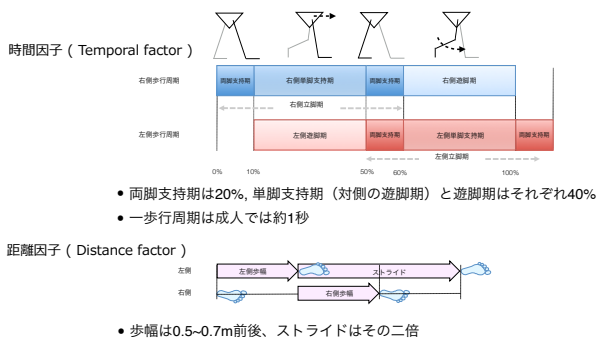
- 正常なのか異常なのかわかる
- それを修正すべきかどうか分かる
- どうすれば修正できるかわかる

臨床の実際のアクションに繋がられる

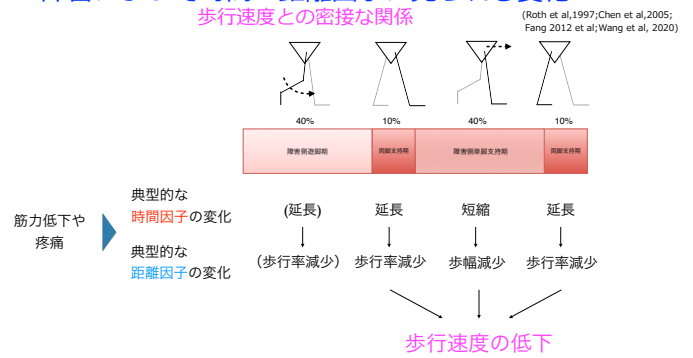
歩行分析の指標



時間・距離因子分析



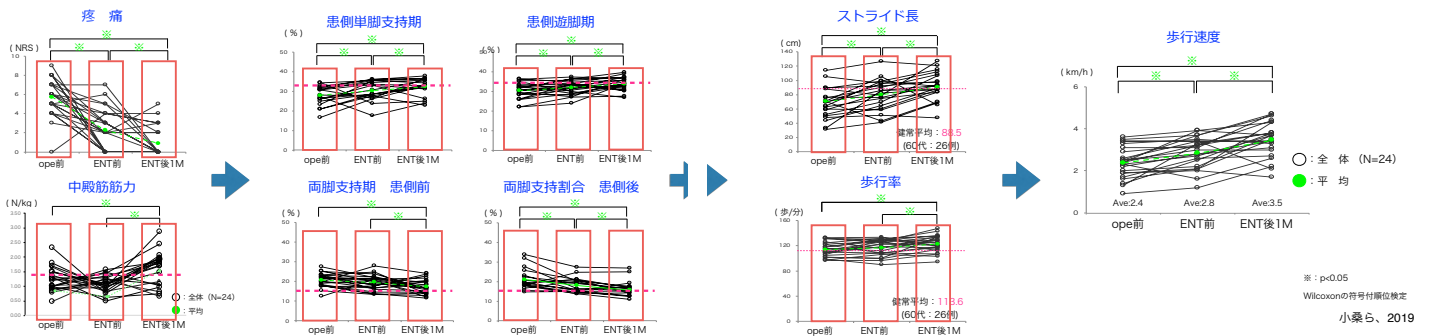
障害によって時間・距離因子に見られる変化



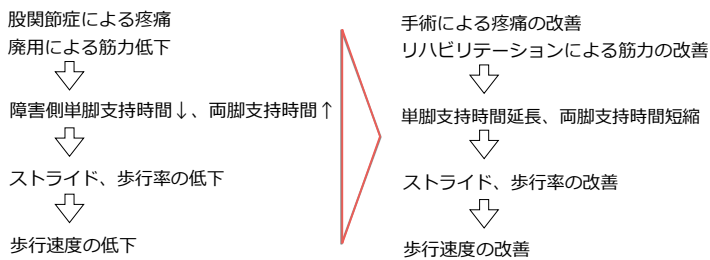
歩行分析による治療効果の理解

- MIS-THA術前後の歩行分析 -

小桑ら、2019



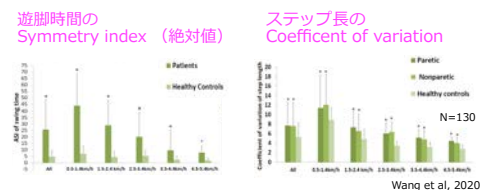
歩行分析による歩行障害と治療結果の理解



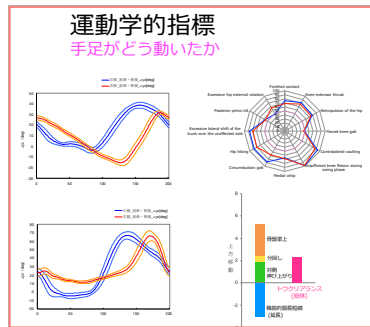
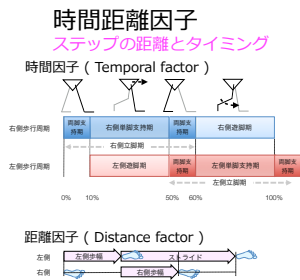
時間距離因子の非対称性とばらつき



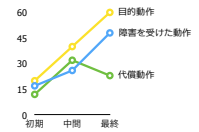
- 非対称性とばらつきは歩行の安定性、転倒リスクと関連する (Maki et al 1997,Hausdorff, 2001)
- 時間距離因子の非対称性とばらつきは歩行速度の速い軽度の片麻痺患者においても異常を示し、歩行異常指標として感度が高い (Wang et al, 2020)



歩行分析の指標



歩容の変化：障害と代償



障害そのものによる変化

- ・膝関節運動の減少
- ・足関節運動の減少



代償に伴う変化

- ・骨盤の挙上
- ・分回し
- ・体幹の傾き

→ 基本的に練習によって増加、増加は善

→ 足が上がらなければ必要
可能であれば減らした方がベター

何がわかれば
臨床上有用な情報となるのか

- 正常なのか異常なのかわかる
- それを修正すべきかどうか分かる
- どうすれば修正できるかがわかる



臨床の実際のアクションに繋がられる

異常歩行の定量的評価

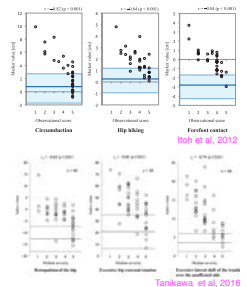
脳卒中片麻痺に特徴的な12種類の異常歩行の重症度を定量化
(Itoh et al 2012, Tanikawa et al 2016, Hishikawa et al 2018, Tanikawa et al 2020)

立脚期

- ・骨盤後退
- ・前足部接地
- ・急激な膝関節の伸展
- ・膝屈曲位歩行
- ・内側ホイップ

遊脚期

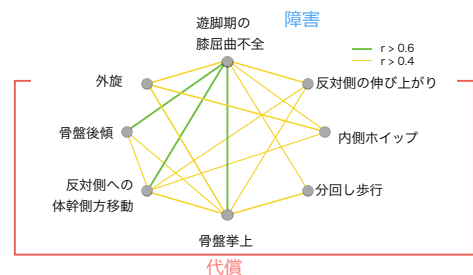
- ・ 分回し歩行
- ・ 骨盤挙上
- ・ 骨盤後傾
- ・ 過度な股関節外旋
- ・ 反体側の伸び上がり
- ・ 遊脚期の膝屈曲不全
- ・ 非麻痺側への体幹の過度な側方移動



指標同士の関連性



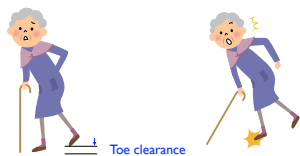
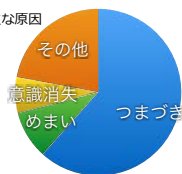
指標同士の関連性



膝屈曲不全により障害されたToe clearanceを代償する動き

Toe clearanceの重要性

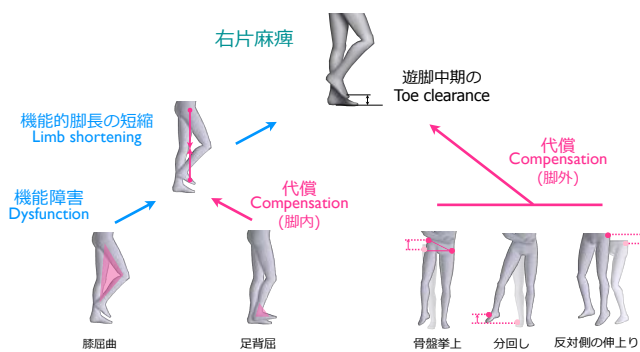
転倒の主な原因



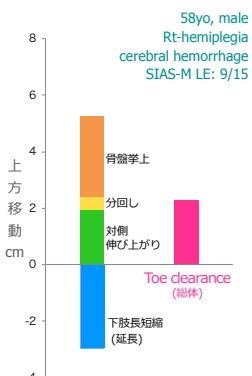
• “つまづき”は高齢者の転倒の主要なリスクファクター
(Blake et al 1988, Berg et al 1997)

• Toe clearanceの低下は“つまづき”の直接の原因となる

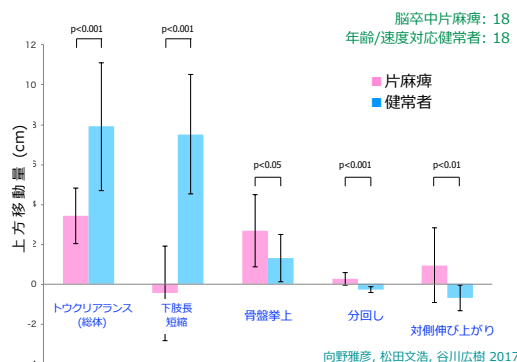
Toe clearance は下肢短縮と代償によって得られる



Toe clearanceの構成

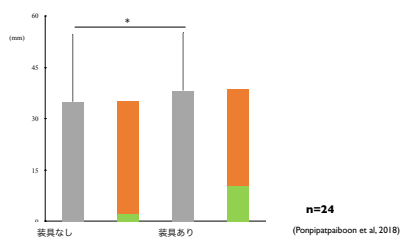


トウクリアランス戦略: 片麻痺と健常者の比較



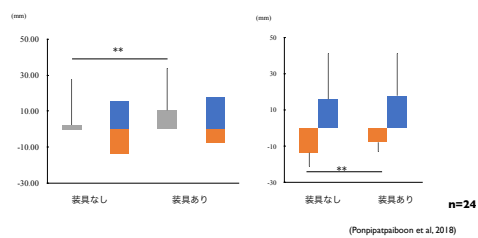
装具が Toe clearance獲得の戦略に与える影響

代償動作
下肢の短縮
トウクリアランス

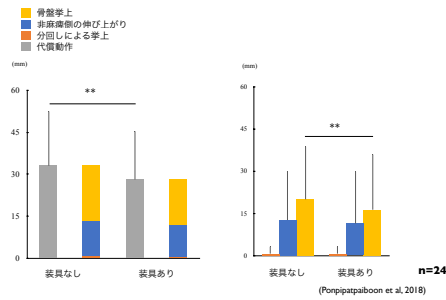


装具が Toe clearance獲得の戦略に与える影響

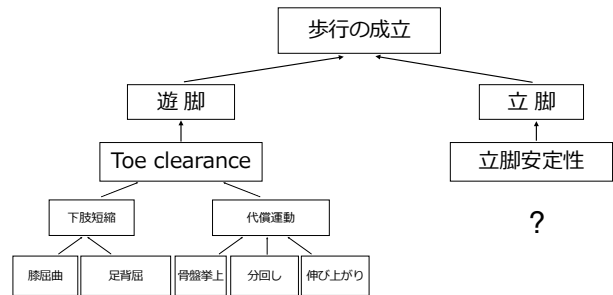
膝関節成分
足関節成分
下肢の短縮



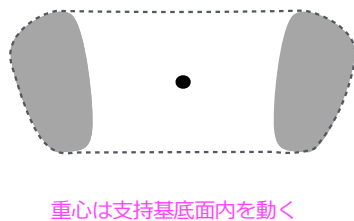
装具が Toe clearance獲得の戦略に与える影響



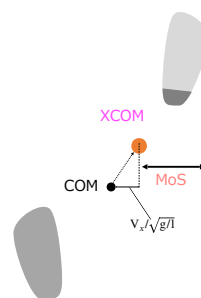
歩行成立の条件



支持基底面と重心



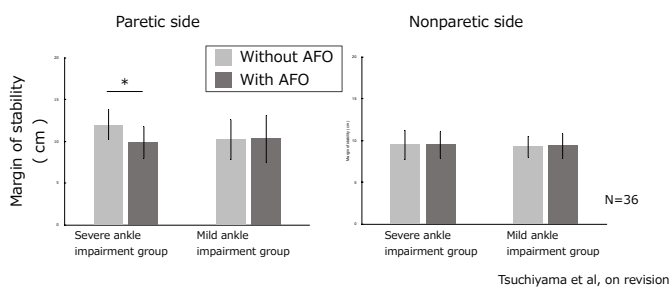
安定性限界：MoS (Margin of stability: Hof et al, 2005)



推定質量中心：
XCOM(extrapolated center of mass)
重心+重心の速度/倒立振子の振動数
≒ COMが向かう場所

- 動的バランスの維持にはXCOMが支持基底面に収まる必要がある
- バランス能力が良いと、XCOMから支持基底面の外縁までの距離 (MoS) が小さくできる

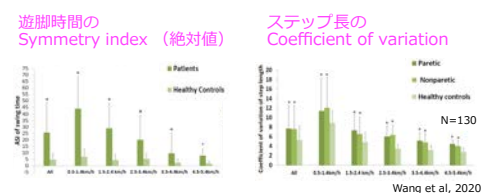
MoS: 装具の効果



時間距離因子の非対称性とばらつき

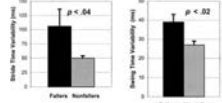


- 非対称性とばらつきは歩行の安定性、転倒リスクと関連する (Maki et al 1997, Hausdorff, 2001)
- 時間距離因子の非対称性とばらつきは歩行速度の速い軽度の片麻痺患者においても異常を示し、歩行異常指標として感度が高い (Wang et al, 2020)



転倒リスクと時間距離因子のばらつき

一年以内の転倒との関連



(Hausdorff et al. 2001)

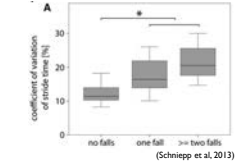
外傷を伴う転倒との関連

Table 3. Quantitative Gait Markers and Risk for Falls

Variables	Median (interquartile range)	Unit Change	Risk Ratio (95% confidence interval)		p	
			Value	Interval	Value	Interval
Speed	95.00 (90.00-100.00)	10 steps/minute	1.075 (1.052-1.100)	1.068 (1.045-1.092)	0.001	0.001
Stride length	101.80 (95.00-108.00)	10 cm	1.007 (1.000-1.014)	1.007 (1.000-1.014)	0.001	0.001
Stride time	11.70 (10.50-12.90)	10 ms	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride phase	50.00 (45.00-55.00)	10%	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride length	101.80 (95.00-108.00)	10 cm	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride time	11.70 (10.50-12.90)	10 ms	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride phase	50.00 (45.00-55.00)	10%	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride length	101.80 (95.00-108.00)	10 cm	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride time	11.70 (10.50-12.90)	10 ms	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001
Stride phase	50.00 (45.00-55.00)	10%	1.007 (1.004-1.010)	1.007 (1.004-1.010)	0.001	0.001

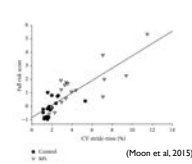
(Verghese et al. 2009)

小脳失調患者の転倒との関連



(Schniepp et al. 2013)

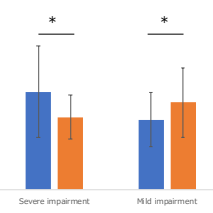
多発性硬化症患者の転倒リスクとの関連



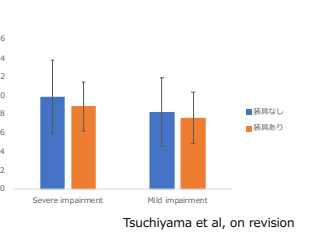
(Moon et al. 2015)

時間距離因子のばらつき：装具の効果

ストライド長の
Coefficient of Variation (CV)

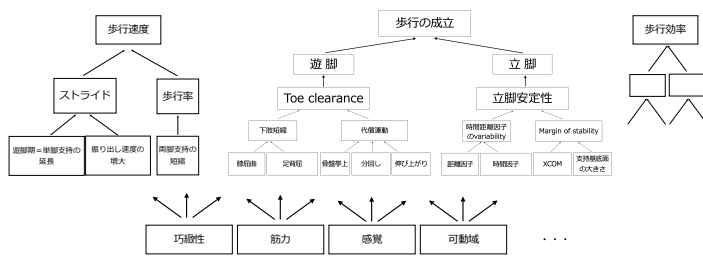


非歩行時間
Coefficient of Variation (CV)



Tsuchiyama et al, on revision

歩行能力とメカニズム



メカニズムの理解は、臨床における意思決定の基礎となる

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

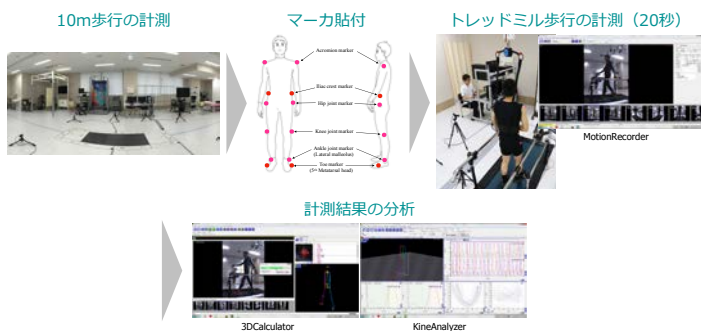
臨床における歩行分析適用の実際

松田 文浩

藤田医科大学 保健衛生学部リハビリテーション学科



三次元トレッドミル歩行分析の流れ



歩行分析の臨床活用事例

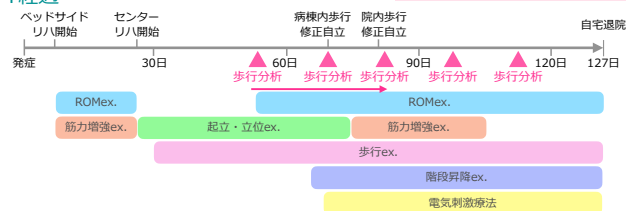
10歳代，男性

診断名：脳出血（左片麻痺） 既往歴：なし
病前の状態：ADLおよび社会生活自立

歩行分析の活用

- ・経時変化（練習の効果）
- ・短下肢装具の効果

PT経過



歩容の経過

発症後54日

SIAS-m下肢: 3-2-0
TM速度: 1.8km/h



発症後71日

SIAS-m下肢: 4-3-1
TM速度: 2.5km/h



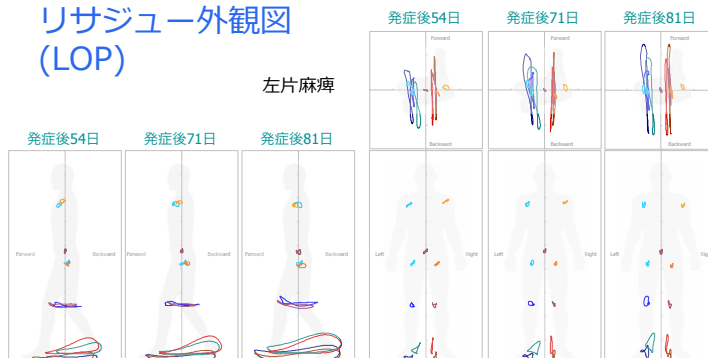
発症後81日

SIAS-m下肢: 4-3-1
TM速度: 3.8km/h

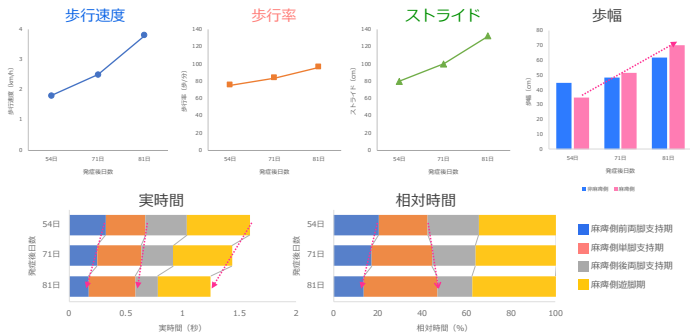


リサジュー外観図 (LOP)

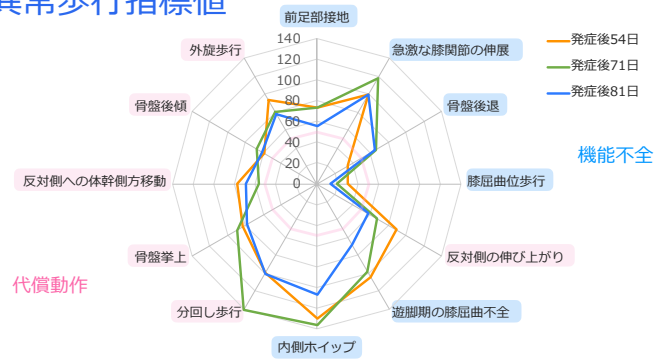
左片麻痺



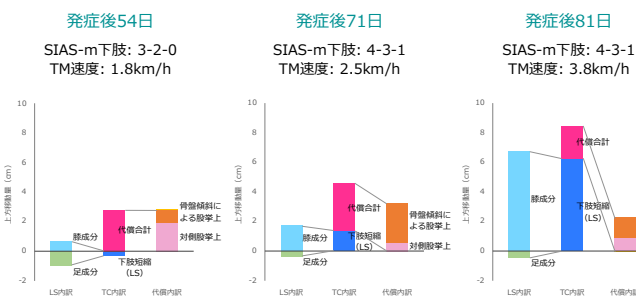
時間・距離因子



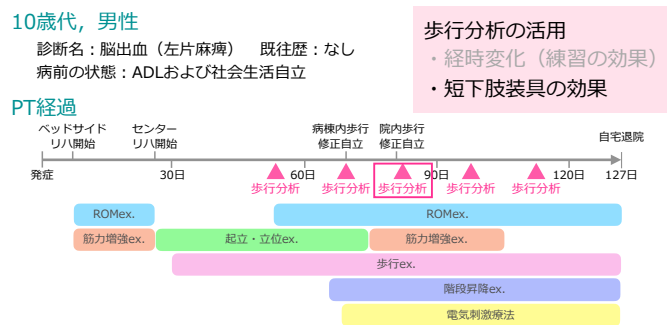
異常歩行指標値



トウクリアランス獲得戦略の分析

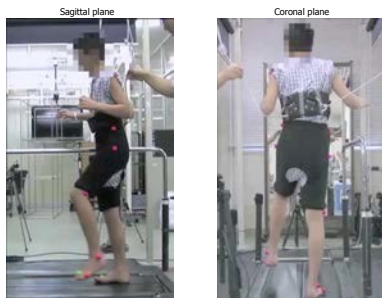


歩行分析の臨床活用事例



短下肢装具の効果

左片麻痺, TM速度: 2.3km/h, 装具なし

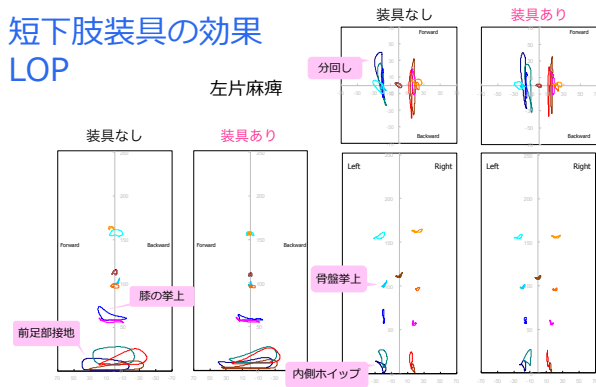


短下肢装具の効果

左片麻痺, TM速度: 2.3km/h, 装具なし, 装具あり



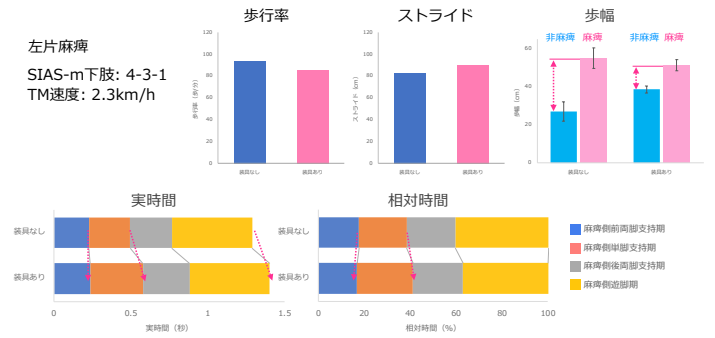
短下肢装具の効果 LOP



時間・距離因子

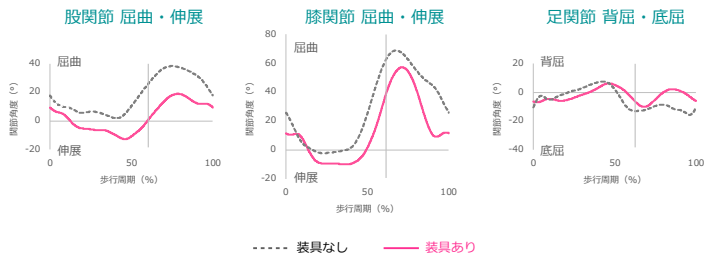
左片麻痺

SIAS-m下肢: 4-3-1
TM速度: 2.3km/h

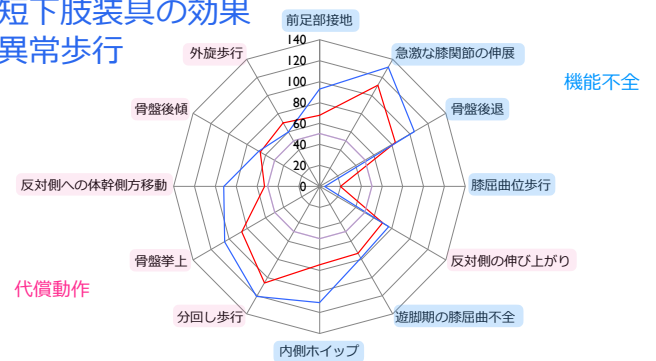


短下肢装具の効果 関節角度

左片麻痺, TM速度: 2.3km/h, 装具なし, 装具あり

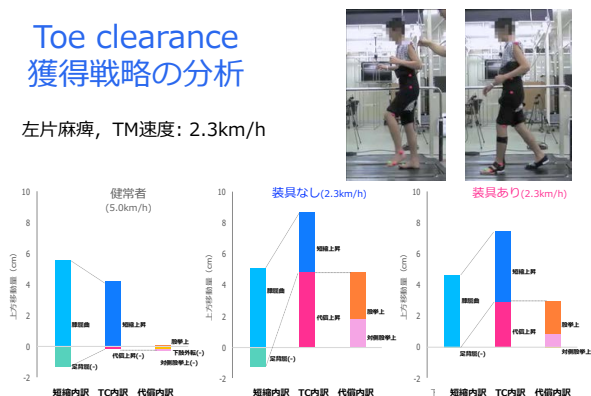


短下肢装具の効果 異常歩行



Toe clearance 獲得戦略の分析

左片麻痺, TM速度: 2.3km/h



まとめ

- 臨床における三次元動作解析装置を活用した歩行分析の適用の一例を紹介した。
- 10m歩行で算出できるのは歩行速度, 歩行率, ストライドのみであり, それ以上の客観的評価はできない。
- 客観的な歩行分析は, 患者の歩行を正確に評価し, 介入方法や介入効果を議論するために有用なツールである。
- 客観的なデータに基づいた議論を重ねることが, リハビリテーション医療の質の向上につながる。

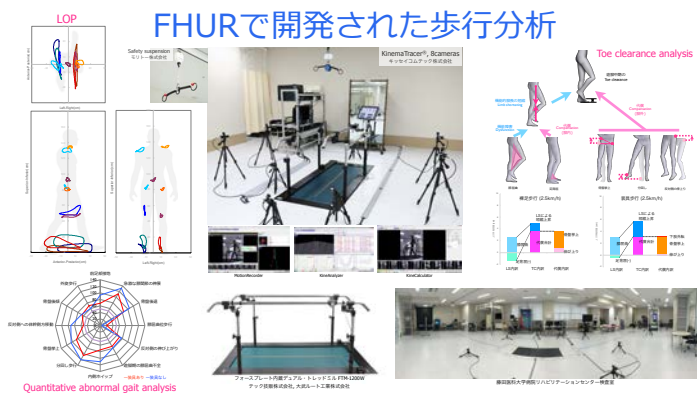
発表内容, テキスト, 画像などの
無断転載・無断使用を固く禁じます

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

歩行分析のイロハから最先端研究まで 歩行分析の新たな展開

大塚 圭
藤田医科大学 保健衛生学部リハビリテーション学科

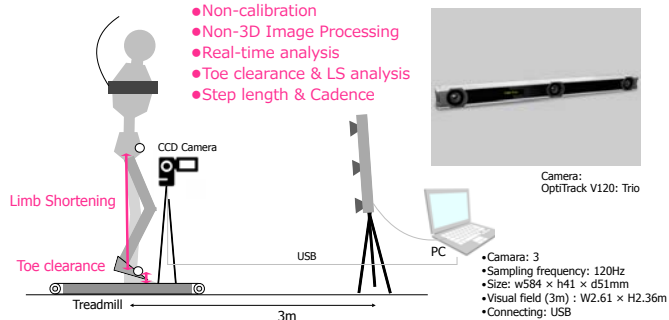


Toe Clearance Measure



Toe Clearance Measure

- Number of Marker: 4 (Hip & Toe)
- Non-calibration
- Non-3D Image Processing
- Real-time analysis
- Toe clearance & LS analysis
- Step length & Cadence



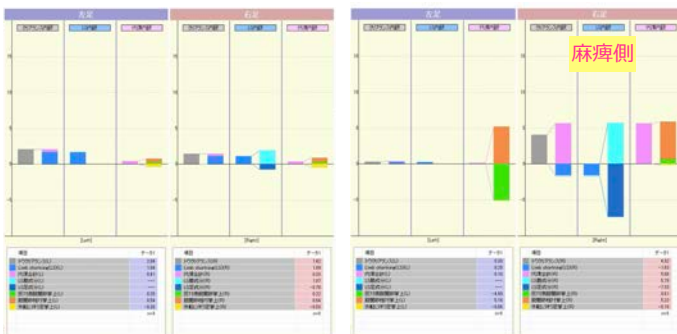
TCMの検査の流れ 検査時間 5min



健常者による模擬異常歩行の検査



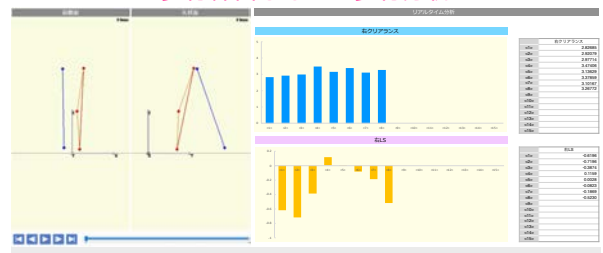
正常歩行 vs 模擬異常歩行



Toe clearance Measure 今後の開発

- レポート機能実装
- One step real-time analysis機能の実装

歩行練習しながら歩行分析



Success Measure of Walk

運動学習におけるKRとKP

結果の知識 (knowledge of result: KR)

環境目標に対する行為の成功についての言語情報

Success or Error/mistake

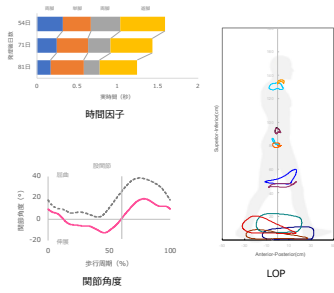
パフォーマンスの知識 (knowledge of performance: KP)

運動パターンについての付加的情報

歩幅, 歩行率, 角度, パターン

KR: Knowledge of Resultsの歩行分析

KPがメインの歩行分析



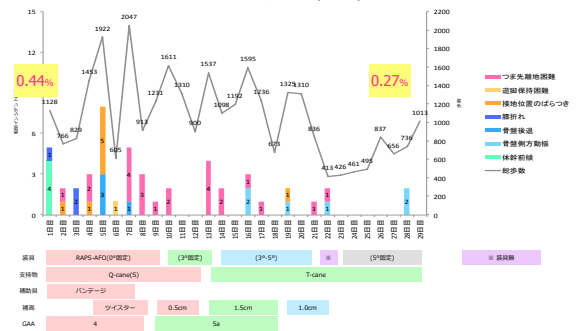
- 嚥下の失敗は誤嚥
- 歩行の失敗とは? 転倒: Fall



Fall or Near fallを定量化

歩行練習中の失敗

片麻痺症例 60代男性, 腦出血(左視床) TAO: 28日



Safety Suspension

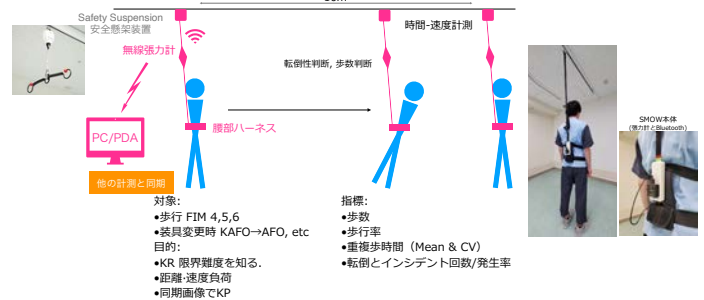
- 懸架装置を使用
- 体幹に簡易ハーネスを装着
- 免荷は行わない
- ケーブルには一定の緩み
- バランスを崩した際に張力発生



SMOW: Success Measure of Walk

10m歩行分析の場合
(TMGや6min歩行も検討)

安全な危険
簡単に定量的に安全性を知る



臨床指向的とは治療に役立つこと

