



リハビリテーションへのVR技術応用

田中敏明

札幌医科大学



1. はじめに

筆者は1998年第3回日本VR学会大会でシンポジストとして講演した折、1988年から1998年の10年間の欧米医学系の文献検索を実施した結果、医療に関連するVR研究はわずかに数十件であり、まさに創世記の感があったことを報告した。今回2003年から過去6年間で検索したところ、その数は10倍以上であった。まさにVR技術は先端科学技術を集約した発展性のある分野として成長していることを実感した。

医療系でのVR研究テーマは5年前と大きく変化しておらず、手術場面の立体映像化などによる技術向上のための手術シミュレーションシステムの医療・医学教育への応用、医療情報提供に関する遠隔通信（臨場感通信）利用、および不安除去訓練、ストレス、精神的疲労回復のためのリラクゼーションの支援、患者のモチベーション改善などが主な研究である。ただ、この5年で基礎研究から実用化へと一歩踏み込んだ応用研究にテーマは移行しつつある。

本論文では、2章において医療現場におけるVRの利用の状況を報告し、3章ではリハビリテーションへの応用としてバランス不良な高齢者・障害者のための視覚、聴覚、体性感覚刺激を用いたバランス治療へのVR利用について小著から概要を紹介し、4章では今後のVRの応用について考察を加えることとする。

2. 医療現場におけるVRの利用現状

1996年から本年3月までの欧米医療系におけるVR関連研究は700件程度であった。このうちリハビリテーションに関する研究は30件ほどであった。そのなかで

臨床応用プロジェクトの具体的内容を何件か紹介する。

一つはアメリカにある virtual reality medical center¹⁾で行っている研究である。主に心療内科的不安分析と不安除去訓練の一つとして、様々な恐怖症を克服するために原因となる環境条件の「経験」を積ませるVR技術を利用している。例えば閉所恐怖症、広場恐怖症、高所恐怖症、飛行恐怖症、対人恐怖症などの治療として用いている。そのほか、ストレス、精神的疲労回復のためのリラクゼーションの支援として、頭痛、高血圧、慢性痛、レイノー病、顎関節機能不全、注意欠損障害などの症状緩和にも応用されている。どの症状に関しても段階的に治療を行えるよう配慮され、患者がその「経験」に慣れ、快適に経験できるまで繰り返し行い、またレベルが高すぎた場合は速やかにVRを中止できるようプログラムは慎重になされている。機材としては主にHMDとTVモニター、ステレオヘッドフォンを使用する。具体例として飛行恐怖症改善のためのVR訓練には飛行場面設定が多種用意され、飛行機内を想定できる座位でのエンジンオフ体験、滑走離陸・着陸体験、天候環境（晴れ、雨天、嵐、乱気流）の変化による飛行体験、などが含まれる。

次に、火傷部位の治療に伴う痛みを軽減するためのVR研究が行われている。Hoffmanら²⁾は9歳から32歳までの7名の患者治療にVRを使用した。痛みを軽減させるためのVR技術の一つは、火傷部位付近の痛みを意識させないように意識の集中を分散させる方法がある。また、その他の方法としては、サイバーハンドを用いて日常生活場面での上肢下肢をVR環境で動かすこと

によって痛みを意識せず上下肢訓練を行う方法がある。いずれの方法によってもリハビリ実施中に VR を用いた場合は VR 無しの状況にくらべ、その痛みが有意に減少したと報告している。

最後に、脳血管障害者の麻痺側上肢に対する VR のリハビリテーション利用として、Jack ら³⁾ は力フィードバックグローブを用いることにより、患者の動機付けおよび患者の個々人の機能レベルの改善に合せてより適切な運動を段階的・漸増的に行うことが可能であると報告している。具体的には麻痺即上肢の関節可動域訓練として、まずディスプレイが家の窓のようにイメージされ、その窓を通して外の風景が見えるが、窓があたかも曇って霧がかかっているように見える。これを患者がグローブを装着して自分の手関節を動かすことによって、画面内のイメージされた自分の手が窓を拭き窓がきれいになり外の風景が見えるようにプログラムされている。その他、VR 環境を使用した関節運動速度改善、手指の分離運動促進、手指筋力強化などの訓練プログラムが用意されている。また、在宅リハビリの実践例として、在宅での手指訓練に関して、患者の手指の動きにあわせて振動触覚によって抵抗感を与えるシステムがあり、その動きと訓練状況をモニターすることによって訓練の難易度を遠隔地操作する。つまり、患者は在宅にいながら遠隔操作され、リハビリを実施できるように工夫されていて、これを Telerehabilitation と呼び報告されている⁴⁾。

3. 感覚刺激を用いたバランス治療への VR 利用

3-1 音像定位刺激および足底の触覚・視覚情報攪乱条件に関するバランストレーニングに関する基礎的研究

本研究では、音像定位によるフィードバックが姿勢動揺の安定にいかにか寄与するかを明らかにすることを目的とし、時計周り、反時計周りといった空間的な音像定位刺激を VR 技術により耳高レベルにて、あたかも周囲全体から与えた条件に足底の触覚・視覚情報攪乱条件を加えたなかで、各被検者の立位時重心動揺（圧中心変位）変化を分析することにより、若年者および高齢者が空間における身体の位置を認識し姿勢調整を行い得るかを比較検討した。

対象は若年者群（7名、平均年齢 21.9±1.5 歳）と高齢者群（5名、68.9±4.0 歳）の 2 群とした。被検者はバランスに大きく影響する視覚、聴覚機能および ADL 面での障害はなく、慢性的疾患（整形外科的、神経学的）を有する者は除外した。

実験方法は、平衡機能検査の 1 指標である圧中心変位計測には重心動揺計（ECG-1010DSA1B、共和電業社

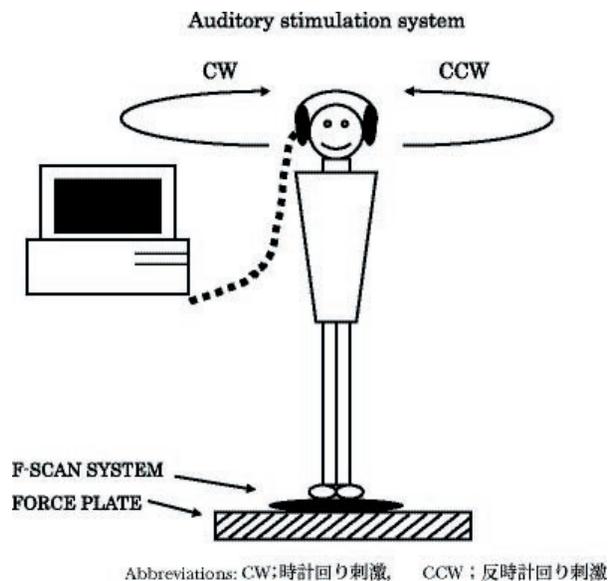


図 1 音像定位刺激による実験設定状況

製) を使用し、両側の足底圧分析には F-SCAN SYSTEM (Tekscan, Corp.) を用いた。また、右下肢の表面筋電図も同期記録した。音刺激量は 50dB にて白色雑音とし、音刺激の再現方法としてはバイノーラル再生を採用し刺激の方向は時計回り (CW) および反時計回り (CCW) の 2 方向とし、ともに平均周期は 4.76 秒、周波数 64.4fps であった (図 1)。

被検者の基本肢位は重心動揺計に F-SCAN センサを敷いた上に裸足で Romberg 肢位とし、両足底面は重心動揺計上で移動させないようにした。また、足底面からの感覚情報を変化させるため裸足と動揺計との接触面に何も敷かない通常状態を normal surface (NS) とし、間に足底面からの感覚情報を減少させるマットを敷いた状態を soft surface(SS) とした。計測手順としては、まず開眼で音刺激のない状態で 20 秒間基本肢位を計測後、NS、SS の各環境下で、音刺激を時計回り (CW) と反時計回り (CCW) それぞれ 20 秒間計測した。次に閉眼でも同様に施行した。

結果は、重心動揺分析においては若年者群では聴覚刺激に加え足底および視覚情報を変化させても影響は少なく、高齢者群では NS と SS 間で有意差が拡大した (図 2)。特に左右の最大振幅にその影響が認められた (図 3)。これは、2 群を比較した場合において、SS 条件下で開閉眼とも最大左右振幅に若年者と高齢者で差を認められたことから聴覚刺激に加え足底感覚または視覚情報を減少させると重心動揺においては左右への動揺が大となる傾向が伺えた。以上より高齢者は若年者に比べ、音刺激により重心動揺および足底圧は影響を受けるが、特に音刺激

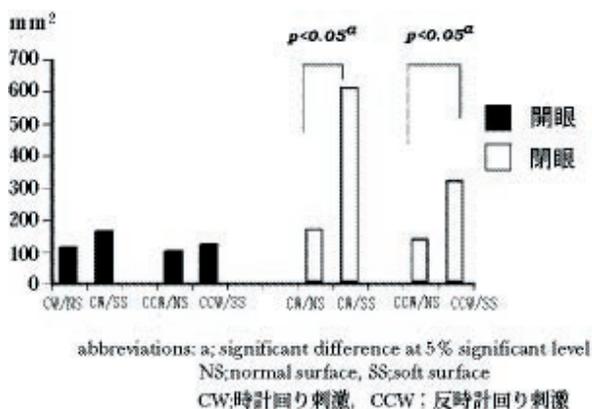


図2 高齢者に対する音像定位刺激時の立位重心動揺平均面積

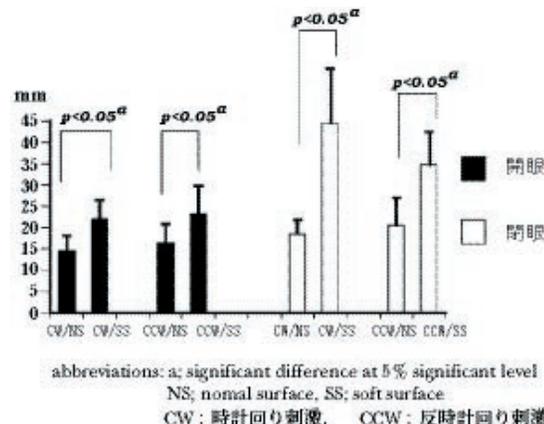


図3 高齢者に対する音像定位刺激時の立位重心動揺平均最大左右変位

に加え足底感覚や視覚情報を変化させた場合影響を受けた。

この結果より、高齢者のバランスは複合して感覚情報の攪乱が起こった場合、バランス保持が若年者に比べ困難であった。つまり、足底感覚、視覚情報、および聴覚刺激を混合させて多様に変化させた条件は、高齢者・障害者のバランス能力をより明らかにすることができ、かつ、感覚攪乱環境をつくる意味でVR技術の臨床治療への応用の可能性が示唆された。本研究に関しては文献を参照していただきたい5)。

3-2. 足底面への振動刺激が若年者および高齢者の立位バランスに与える影響

本研究では立位バランスの制御に重要と思われる足底面を中心とした体性感覚に注目し、特に足底面における複数部位への移動式振動刺激が静的立位バランスに与える影響を、若年者と高齢者について明らかにすることを

目的とした。

対象は、健康な若年者19名(平均23.7±2.7歳)と介護老人保健施設を入・通所利用している高齢者20名(平均81.1±3.9歳)とした。また、対象は神経学的な疾患がなく、下肢に重篤な整形外科的既往のない者とし、高齢者では独歩が可能で過去6ヶ月間に転倒のない者とした。振動刺激は、両足底面の各部(母趾部、第1中足骨骨頭部、第5中足骨骨頭部、踵部)に配置した計8個の小型バイブレータ(直径14.0mm×高さ3.7mm、重さ1.6g、周波数約100Hz)によって呈示した。バイブレータは軟質スポンジ製のマット(縦30mm×横30mm×厚さ13mm)に埋め込み、制御装置を用いて検者が手で操作できるよう設定した(図4)。本研究で用いた振動刺激パターンは、右方、左方、前方、後方、右回転、左回転の6パターンとし、各条件下で足圧中心軌跡と下肢筋群活動を同期記録した(図5)。

結果として、身体重心の足圧中心(COP)位置に関す

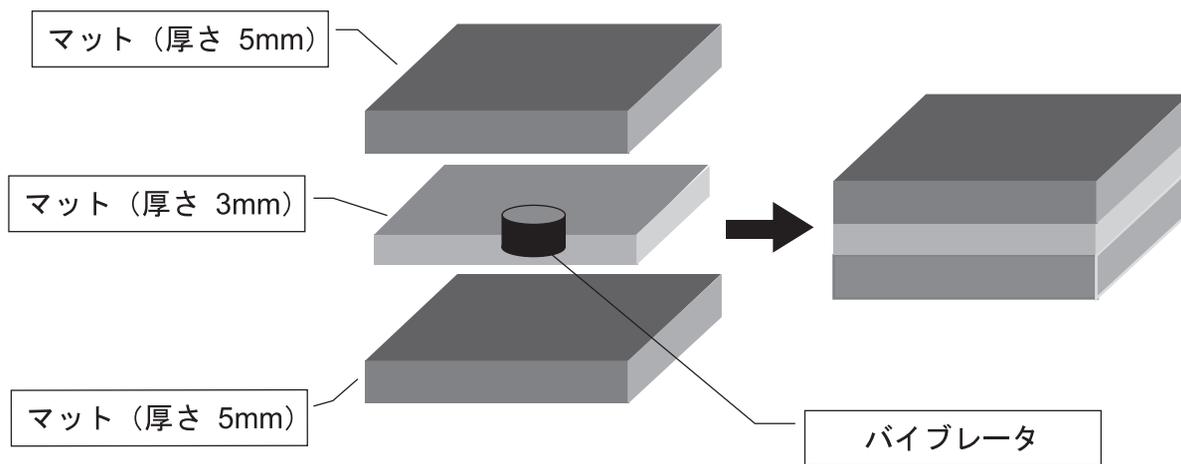
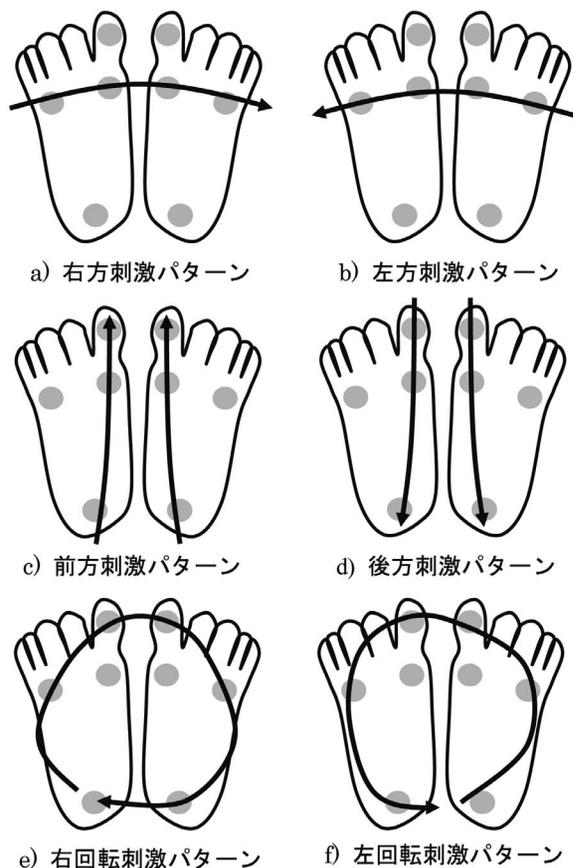


図4 振動呈示用マットの構造



a) 右方刺激パターン (左第 5 中足骨骨頭部→左第 1 中足骨骨頭部→右第 1 中足骨骨頭部→右第 5 中足骨骨頭部); b) 左方刺激パターン (右方の逆); c) 前方刺激パターン (両踵部→両第 1 中足骨骨頭部→両母趾部); d) 後方刺激パターン (前方の逆); e) 右回転刺激パターン (左踵部→左第 5 中足骨骨頭部→左母趾部→右母趾部→左第 5 中足骨骨頭部→右踵部); f) 左回転刺激パターン (右回転の逆)

図 5 振動刺激の 6 パターン

る各重心動揺項目では、すべての項目において、若年者・高齢者両群とも左右方向を「x」、前後方向を「y」とすると、前・後方向の移動振動刺激では x 方向に比べ y 方向の動揺が大きくなり、左・右方向の移動振動刺激では y 方向に比べ x 方向の動揺が大きくなる傾向がみられた。また、振動刺激方向と逆方向へ圧中心が移動する傾向を示した。例えば、振動刺激が前足部から踵部へ移動振動した場合、人は刺激前に比べ前方へ圧中心が移動した。2 群の代表例として若年者のデータを図 6 に示す。

このように、移動式振動刺激によってあたかも重心移動を制御したり攪乱したりすることによってバランストレーニングに VR を利用したり、感覚検査機器、視覚・聴覚障害者へのアラームとしての応用が期待できると考える。

4. 今後の医療への VR 展望

VR の医療への応用研究はここ 5 年で飛躍的に進歩し

ている。我々は日常生活活動 (ADL) において、環境条件の多様な変化に伴い運動および感覚機能に含まれるあらゆるヒトの機能を活用することによって、ADL 能力を維持し自立している。高齢者・障害者の心身能力を医師、セラピスト等が正しく評価するためにはまさしく VR 技術は実際の場面より安全に、かつ、多様な環境条件下で評価・治療・予防を行える可能性があると考えられる。また、より実践的な状況での評価・治療には MR 技術が役立つであろう。例えば、座位や立位は可能であるが動的な歩行までは自立していない障害度が重い患者の場合は VR 技術を利用し、歩行の自立や家庭・職業復帰を考慮し始めた患者には MR 技術を用いてより積極的なリハビリを実践する。このように医師やセラピストの判断による VR・MR の選択的利用が将来考えられる。

しかしながら、このような臨床応用のためにはクリアしなくてはならない問題もある。一つには、VR の生体への影響を考慮するため基礎データを収集し十分検討する必要がある。例えば、VR 酔いなどが起こるメカニズムを明らかにし解決することは大きな課題である。その他、特に VR 環境が子供の心身に与える影響も重要な課題であり、VR 環境が違和感の少ない、より現実的で、快適、安全な VR システムを構築すべきであろう。この実現のためには、工学、医学、社会学、心理学など関連分野との共同研究は欠かすことのできないものであると考える。

また、理想的な VR システムは、高性能ワークステーション、軽量化・広視野・高解像度の HMD に加え、3 次元的運動学的・運動力学的分析機器、および自律神経系情報装置、聴覚・体性感覚刺激装置などで構成されるべきであろう。しかしながら、臨床においては高性能・多機能であれば良いということではなく、高齢者・障害者が自立するために、その残存能力を引き出すため、支援するために VR は利用されるべきである。主役はあくまで高齢者・障害者自身であり、VR は彼らをサポートする脇役であるべきと考える。

医療職に限らず VR 技術を応用する臨床家・研究者・技術者は、あくまでも VR はより良い医療を目指す上で道具としての存在であることを自覚し、患者・障害者を思いやる心なくして VR の医療および広く社会への貢献はありえないということを意識するべきであろう。そのためには障害・疾病のみを理解するのではなく障害・疾病を持った患者・障害者を理解することが大切である。以上のような課題を常に念頭におきながら今後、ますます VR、MR 技術の発展を期待し、また自らも貢献していきたいと考える

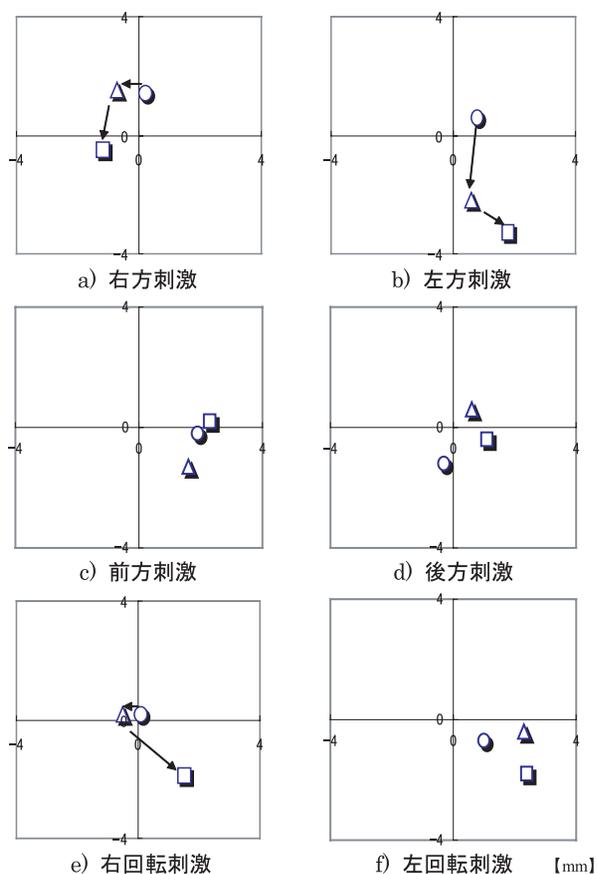


図6 若年者群の振動刺激による平均圧中心位置の変化

○：振動前1秒間の平均圧中心位置
 △：振動中1秒間の平均圧中心位置
 □：振動後1秒間の平均圧中心位置

参考文献

- 1) <http://www.vrphobia.com/about.htm>
- 2) Hoffman HG, Patterson DR, Carrougher GJ, Sharar SR. Effectiveness of virtual reality based pain control with multiple treatment. *Clinical Journal of Pain.* 17(3):229-235,2001.
- 3) Jack D, Boian R, Merians AS, Tremaine M, Burder GC, Adamovich SV, Poizner H. Virtual Reality-Enhanced Stroke Rehabilitation. *IEEE TRANSACTION ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING.* 9(3):308-318,2001.
- 4) Popescu VG, Burdea GC, Bouzit M, Hentz VR. A virtual reality based telerehabilitation system with force feedback. *IEEE TRANSACTION ON Information Technology in Biomedicine.* 4(1):45-51,2000.
- 5) T. Tanaka, S. Kojima, H. Takeda, S. Ino, T. Ifukube: The influence of moving auditory stimuli on standing balance in healthy adults with aging. *Ergonomics*,2001, vol.44 (15):1403-1412.

【略歴】

田中敏明 (TANAKA Toshiaki)
 1984年 理学療法士免許取得, 1992年 ニューヨーク大学大学院理学療法学科修士課病態運動学コース修了, 1998年 北海道大学より博士(工学)授与. 1992年より札幌医科大学保健医療学部理学療法学科助手, 1996年同講師, 1999年助教授, 現在に至る. VR・MR技術を用いた高齢者・障害者のためのバランス制御に関する研究, 積雪寒冷地向け在宅介護福祉機器研究開発に従事.