

心拍変動解析を用いた視覚障害と理学療法臨床実習のストレス評価

松下昌之助

筑波技術大学 保健科学部 保健学科

要旨: 視覚障害学生の理学療法臨床実習におけるストレスの変化を、心拍変動による自律神経の定量的測定法 (HRV) を用いて評価した。晴眼者、理学療法専攻視覚障害学生各5名を対象とした。安静時計測では、視覚障害学生では心拍数が有意に高く、自律神経評価では、副交感神経活性の低下が認められた。理学療法の臨床実習では、視覚障害学生は、患者に対する運動指導を開始するとき大きく交感神経が緊張した。実習におけるストレス反応性には、実習前の自律神経のバランスの変化が影響を与えている可能性が示唆された。

キーワード: 心拍変動, 視覚障害, 自律神経, 臨床実習, ストレス

1. はじめに

自律神経系は、交感神経と副交感神経からなり、身体の様々な自律機能を相補的に調節しており、そのバランスの維持 (恒常性の維持: ホメオスタシス) は健康を保持するために重要である。一方、ストレスはさまざまなストレスを介してホメオスタシスに影響を与える。自律神経系はストレスに対する主要な反応系であり、ストレス下ではそのバランスがくずれ、交感神経の緊張亢進が引き起こされる [1]。

本学保健科学部理学療法科は視覚障害の学生を対象としている。理学療法科では、カリキュラムの一環として、4期にわたる長期の病院実習が行われているが、視覚障害の学生にとって、臨床実習では晴眼者の学生にはないストレスが加わることが予想される。その実習中のストレスを評価する方法として、心拍変動による心臓自律神経の定量的計測法 (Heart Rate Variability: HRV) を用いることを立案した。しかし、従来の心拍変動の評価は安静時に短時間に行うか、あるいは Holter 心電計を用いた 24 時間連続評価であり、日常生活の任意の時間を行動に即して抽出し、評価することが出来なかった。今回、H24 年度教育研究高度化推進事業の研究資金により、活動型心拍変動計測器を用意することができたため、これを用いて視覚障害学生の基本的な自律神経バランス、および理学療法時のストレスを臨床実習の内容に即して検討をすることを目指した。

2. 研究の目的

心拍変動法 (HRV) を用いて、視覚障害者の自律神経系のバランスの特徴を健常者との比較で明らかにする。HRV を理学療法病院臨床実習における視覚障害学生

のストレス評価法として応用可能かどうか検討する。

3. 研究の方法

3.1 測定機器

心電図計測は、ECG ロガー (ECL-100、ユニークメディカル社、東京) を用いた。双極電極を体表標準十二誘導の II 誘導の方向に設置し、不感電極を右側腹部に設置した。電極は Vitrode F (F-150F、日本光電、東京) を用いた。Sampling rate は 1K/sec とし、デジタル信号を、解析ソフトウェア (LabChart ver.7, ADInstrument, Australia) を用いて、心電波形に変換し、Windows PC 上に展開した。

3.2 心拍変動の評価法

心電波形の RR 間隔を、解析ソフト HRV ver.1.1 (ADInstrument, Australia) を用いて心拍変動の様々な解析指標に変換した。

3.3 心拍変動の指標

3.3.1 時間領域解析

時間領域解析は、連続心電図解析で求められる不整脈を除外した通常の RR 間隔 (normal-to-normal R-R interval, NN, 単位は msec) を求めることから始まる。時間領域解析のすべての指標は NN をもとにして算出される。本研究では、SDNN, RMSSD を指標とした。SDNN は Standard deviation of all NN interval の略語であり、すべての RR 間隔の標準偏差である。また、RMSSD は The square root of the mean of the sum of the square of differences between adjacent NN interval

の略語で、隣り合う RR 間隔の差を 2 乗し、合計したものを平均し、平方根化したもので、隣り合う RR 間隔の差が大きいほど数値は大きくなる。心電図の短時間解析 (short-term analysis; 5 min) では、SDNN の低下と RMSSD の低下は、副交感神経活性の低下と解釈されている [2]。

3.3.2 周波数領域解析

本検討に用いた周波数解析法は、隣接する RR 間隔の差を y 軸に、時間を x 軸において作成される 2 次元平面上に形成される点成分の集合に対し、高速フーリエ解析法により 1 Hz 毎の sine 曲線をあてはめ、その各周期の sine 曲線の周波数 (Hz) と power (単位: msec²) をそれぞれ x 軸と y 軸に再構成したものである。0.05 ~ 0.15 Hz の周波数帯を Low Frequency (LF, 低周波数成分) と定義し、その power は交感神経活動量を反映する。また、0.15 ~ 0.40 Hz の周波数帯を High Frequency (HF, 高周波数成分) と定義し、副交感神経活動量を反映する [3] (図 1)。これらの周波数帯の意義は、それぞれの自律神経遮断薬を用いることによって確認できる [4]。また、両者の比である LH/HF は、交感神経活動を際立たせると考えられている。

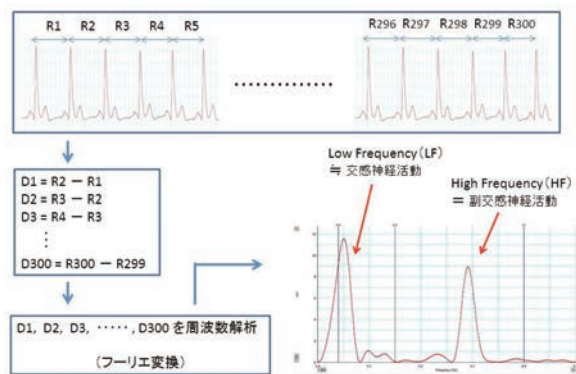


図1 HRVの周波数解析法

3.3.3 対象

視覚障害者 (n=5), 保健科学部学生。年齢:10 代 1 名, 20 代 3 名, 40 代 1 名

晴眼者 (n=5), 年齢:10 代 1 名, 20 代 1 名, 30 代 1 名, 50 代 2 名

3.3.4 計測方法

- (1) 安静時に 5 分間 HRV を計測する。
- (2) 理学療法臨床実習中に HRV を計測する。

3.3.5 統計

2 群間の比較は, unpaired T test を用い, $p < 0.05$ を有意とした。

4. 結果

4.1 安静時心拍数

視覚障害者は, 晴眼者に比べて安静時心拍数が有意に高かった (85 ± 11 vs. 64 ± 5 bpm, $p < 0.005$)。

4.2 安静時の副交感神経指標

SDNN は視覚障害者で有意に低値を示した (72 ± 29 vs. 43 ± 3 msec, $p < 0.05$)。また, RMSSD も視覚障害者で低い傾向を示した (68 ± 40 vs. 25 ± 11 msec)。心拍数と SDNN, 心拍数と RMSSD はいずれも有意な負の相関を示した ($p < 0.05$, 図 2)。視覚障害者の安静時心拍数増加の背景には, 副交感神経機能の低下があることが示唆された。

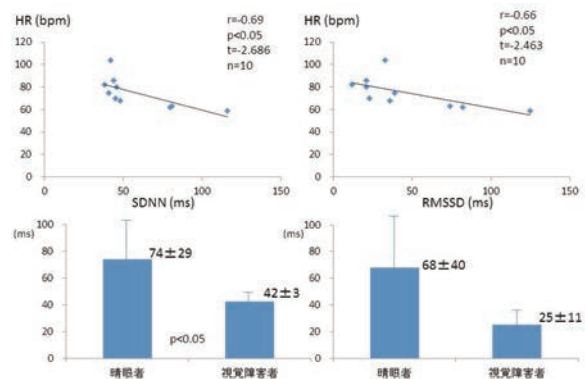


図2 安静時のSDNNとRMSSD

4.3 安静時パワースペクトラム

周波数解析のパワースペクトラムでは, 晴眼者では高周波数領域に副交感神経の活性を示すパワーが一般に認められやすいのに対し, 視覚障害者では, 副交感神経活動示すパワーが極端に減少している場合も観察された (図 3)。

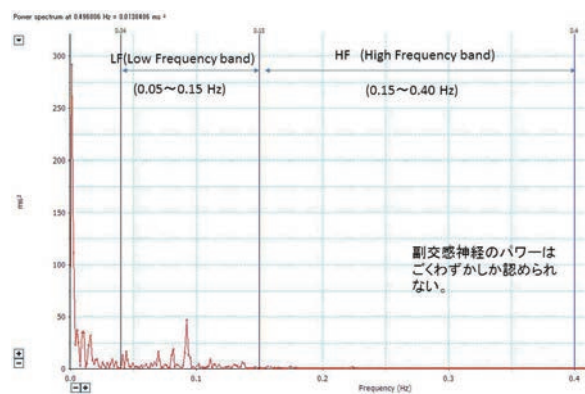


図3 視覚障害者のパワースペクトラムの例

4.4 安静時の交感神経指標

心臓交感神経機能の指標である LF/HF は視覚障害者で高い傾向にあった (0.89 ± 0.27 vs. 3.19 ± 3.03)。

4.5 HRV 計測のリハビリテーション実習への応用

リハビリテーション実習中に、心電波形を連続して計測し、HRVによる自律神経指標の変化を検討した。点線より左がリハビリ前、点線より右が患者リハビリ指導中である。LF/HFは交感神経指標、HRは心拍数、HFとRMSSDはいずれも副交感神経指標である。

4.5.1 晴眼者の運動指導

晴眼者では、リハビリ開始前には緊張はなく、LF/HFは低下傾向になり、交感神経活性(LF/HF)は低下し、副交感神経活性(HF, RMSSD)は増加傾向になり、心拍数は低下している。リハビリ指導が始まって、自律神経機能には大きな影響は与えていない(図4)。

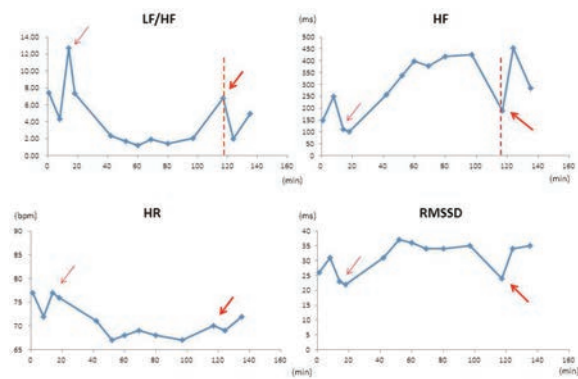


図4 晴眼者の運動指導

4.5.2 視覚障害者の運動指導

視覚障害者#1では、リハビリ指導前に心拍数が次第に高まっているが、これは、交感神経の緊張(LF/HFの増加)ではなく、副交感神経活性の低下(HF, RMSSD)よることが示唆される。リハビリ指導の開始により交感神経は急増加し、ストレスが加わっていることが示唆される(図5)。

視覚障害者#2では、リハビリ開始前には、心拍数の増加はみられないが、リハビリの開始後、交感神経の緊張(LF/HF)が増大している。

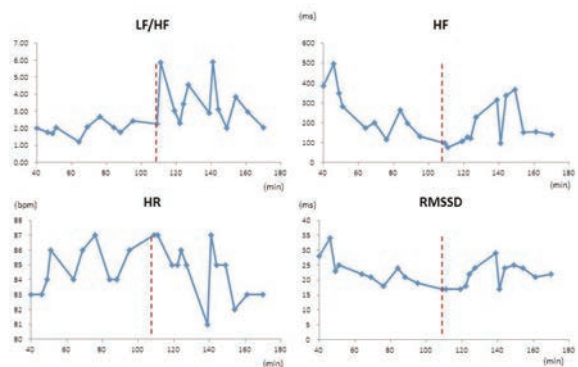


図5 視覚障害者(#1)の運動指導

5. 考察

自律神経活動は、心拍変動(Heart Rate Variability: HRV)により定量的に評価される。心拍変動は1心拍毎の心拍の長さ(波長)のゆらぎであるが、このゆらぎは自律神経の動態を反映していると考えられており、心拍の波長の差が検討の対象となる。その差を母集団とした標準偏差の大きさを検討の対象とする検討が時間領域解析であり、また、ある一定区間の変動に1 Hz 毎の周期関数(sine関数)をあてはめて、その周期関数の強さを検討する方法が周波数解析である。HRVの周波数解析では、0.15~0.4 Hzの周波数帯のパワーを高周波数成分(HF)といい、副交感神経の活性を示している。また、0.05~0.15 Hzの周波数帯のパワーを低周波数成分(LF)とよび、交感神経の活性を表しているが、とくにLF/HFの比で示された場合、交感神経活性としての感度は上がる[5]。このようにして、心電図から得られる心拍変動を用いて自律神経機能を定量的に評価することができる。

今回の検討に用いた時間領域、周波数解析の標準値は、44論文、合計21,438例を対象としたメタアナリシス[6]によると下記である(数値はmean ± SD)。

- (1) SDNN (msec) : 50 ± 16 (中央値: 51)
- (2) RMSSD (msec) : 42 ± 15 (中央値: 42)
- (3) HF (msec²) : 657 ± 777 (中央値: 385)
- (4) LF/HF : 2.8 ± 2.6 (中央値: 2.1)

本研究では、HRVを晴眼者と視覚障害者に対しそれぞれ安静時に5分間施行し、比較した(HRVのshort time recording)。その結果、視覚障害者の方が有意な心拍数の高値を示した。心拍数が上昇する場合、交感神経活性の増加と副交感神経活性の低下の2つの場合がある。視覚障害者群において時間領域解析のSDNNとRMSSDはそれぞれ、42 ± 3 msecと25 ± 11 msecと低値を示していることより、副交感神経活性の低下があると考えられる。このことより、視覚障害者では、安静時に副交感神経活性が低下していることが、心拍数の増加の背景にあることが示された。

心臓リハビリテーションの領域でも、HRVは治療効果の判定に応用されつつある[7]。しかし、これらの検討はすべて、患者を安静にして心電図を測定する方法であった。一方、リハビリテーションの病院実習におけるストレス評価を心拍変動で行うためには、携帯可能な心電装置を準備する必要があった。そこで、当初に示した研究資金を活用し、ユニークメディカル社に携帯型心電計の開発依頼を行い購入した(ECL-100)。これを用いることにより、リハビリテーションの病院実習の主要部分において、運動指導の内容に則した自律神経機能評価が可能になった。

実習時のHRV解析では、視覚障害者において患者指

導時に交感神経活性が急激に増加した。本報告の病院実習例は3例であるので、確定的なことは言えないが、視覚障害学生では、実習前にすでに自律神経バランスは交感神経の緊張と副交感神経の低下があり、実習参加では、見学時から自律神経バランスに変化を示し、実際に患者指導を始めると交感神経活性が大きく増加する場合があることが示された。

本研究の結果により、視覚障害者の理学療法病院実習のストレス評価にHRVが有用であることが推測されるが、本方法を普及させるには、実習時の体動で発生する心電波形ノイズに対する対策が必要であり、新しい周波数解析法（AR法を基盤としたMemCalc法）の応用[4]も考慮する必要があると考えられた。

6. 結論

視覚障害者では、安静時の副交感神経活性が抑制され、心拍数が増加していた。この交感神経と副交感神経のバランスの変化は、臨床実習における患者運動始動時の交感神経緊張の増大を促進していると考えられた。

参考文献

- [1] Campos LA, Pereira VL Jr, Muralikrishna A, et al. Mathematical biomarkers for the autonomic regulation of cardiovascular system. *Front. Physiol.* 2013; 4: p.1-9. doi:10.3389/fphys.2013.00279.
- [2] Guidelines. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur. Heart. J.* 1996;17(3): p.354-381. doi:10.2345/journal.cs.0012345.
- [3] Xhyheri B, Manfrini O, Mazzolini M, et al. Heart Rate Variability Today. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2012;55: p.321-331.
- [4] Silva GJJ, Ushizima MR, Lessa PS, et al. Critical analysis of autoregressive and fast Fourier transform markers of cardiovascular variability in rats and humans. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2009;42(4): p.386-396.
- [5] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation.* 1996; 93: p.1043-1065.
- [6] Nunan D, Gavin RH, Sandercock RH, et al. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *PACE* 2010; 33(11): p.1407-1417.
- [7] Routledge FS, Campbell TS, McFetridge-Durdle JA, et al. Improvements in heart rate variability with exercise therapy. *Can J Cardiol.* 2010; 26(6): p.303-312.

Evaluation of Stress in Students with Visual Impairment in Clinical Training for Physical Therapy based on Heart Rate Variability

MATSUSHITA Shonosuke

Course of Physical Therapy, Department of Health, Faculty of Health Sciences,
Tsukuba University of Technology

Abstract: Changes in autonomic nervous balance in students with visual impairment were evaluated by using heart rate variability. At rest, students with visual impairment ($n = 5$) showed higher heart rate compared to sighted persons ($n = 5$) due to decreased parasympathetic activity. In clinical training for physical therapy, students with visual impairment showed abrupt high sympathetic activity, especially when participating in exercises involving patients. These temporal changes in autonomic nervous activity, possibly due to stress in such settings, were effectively assessed based on heart rate variability.

Keywords: Heart Rate Variability (HRV), Visual impairment, Autonomic nervous system, Clinical practice, Stress