



ウェアラブル・センサは、
購入して、装着（ウェア）
しなければセンシングできない。

<http://thedianerehms.org/shows/2014-06-26/boom-high-tech-health-apps-and-wireless-devices>



ビデオカメラ（パソコン内蔵カメラ・Webカメラなど）

ビデオカメラから得られる**映像脈波**は、
何も身に付けず（ウェア**“レス”**に）、
遠隔・**非**接触的なセンシングができる！

ウェアラブル から ウェア**“レス”** へ 1

自律神経機能評価のための従来の指標

心拍数変動を用いた心臓の
交感神経・副交感神経機能

副交感神経

- $CVRR$
- $pNN50$

交感神経

- LF/HF

心拍数・血圧変動を用いた
圧受容器反射機能

感受性

- BRS_{Seq}
- α_{LF}

線形性

- ρ_{max}

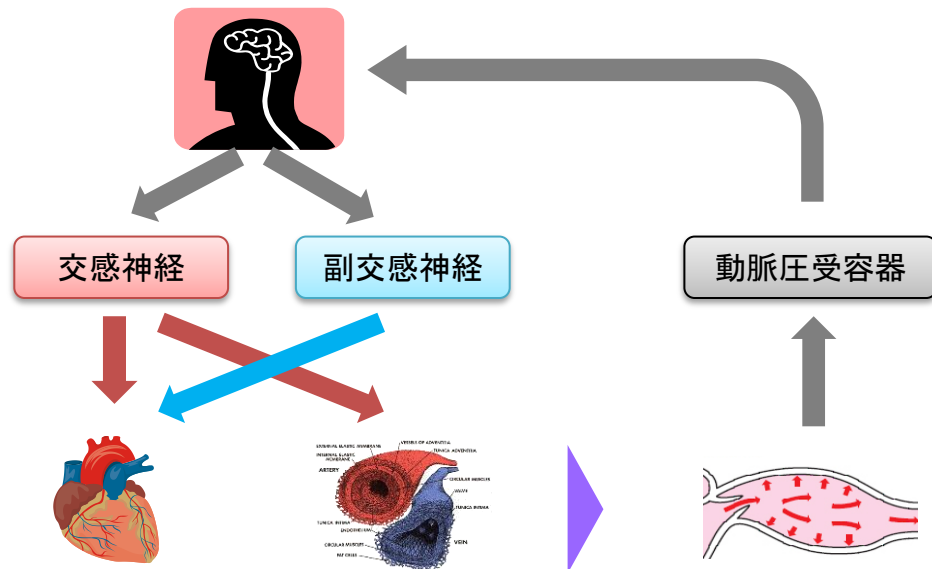
脈波を用いた
血管系の交感神経機能

交感神経

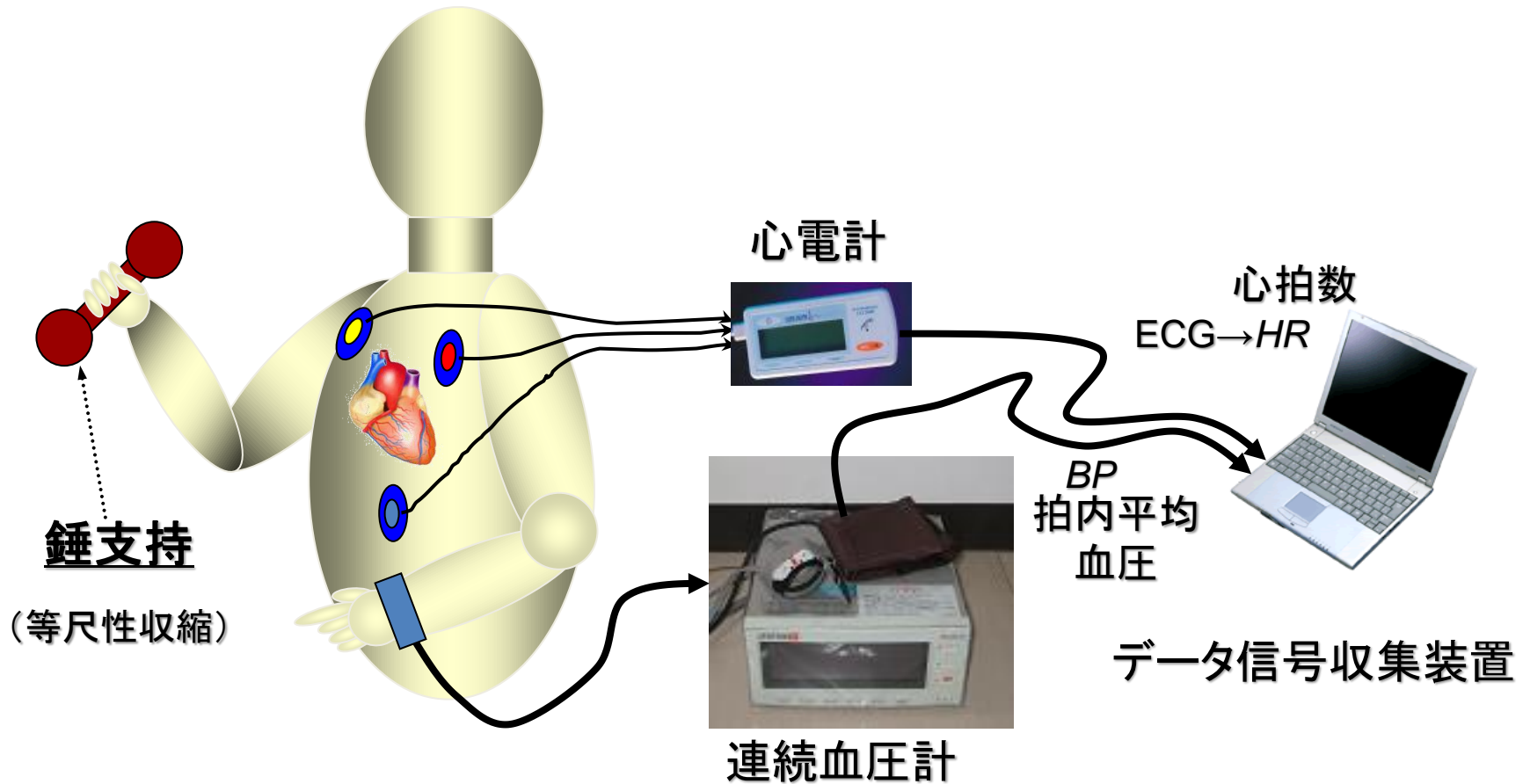
- $CVwh$

必要な計測量

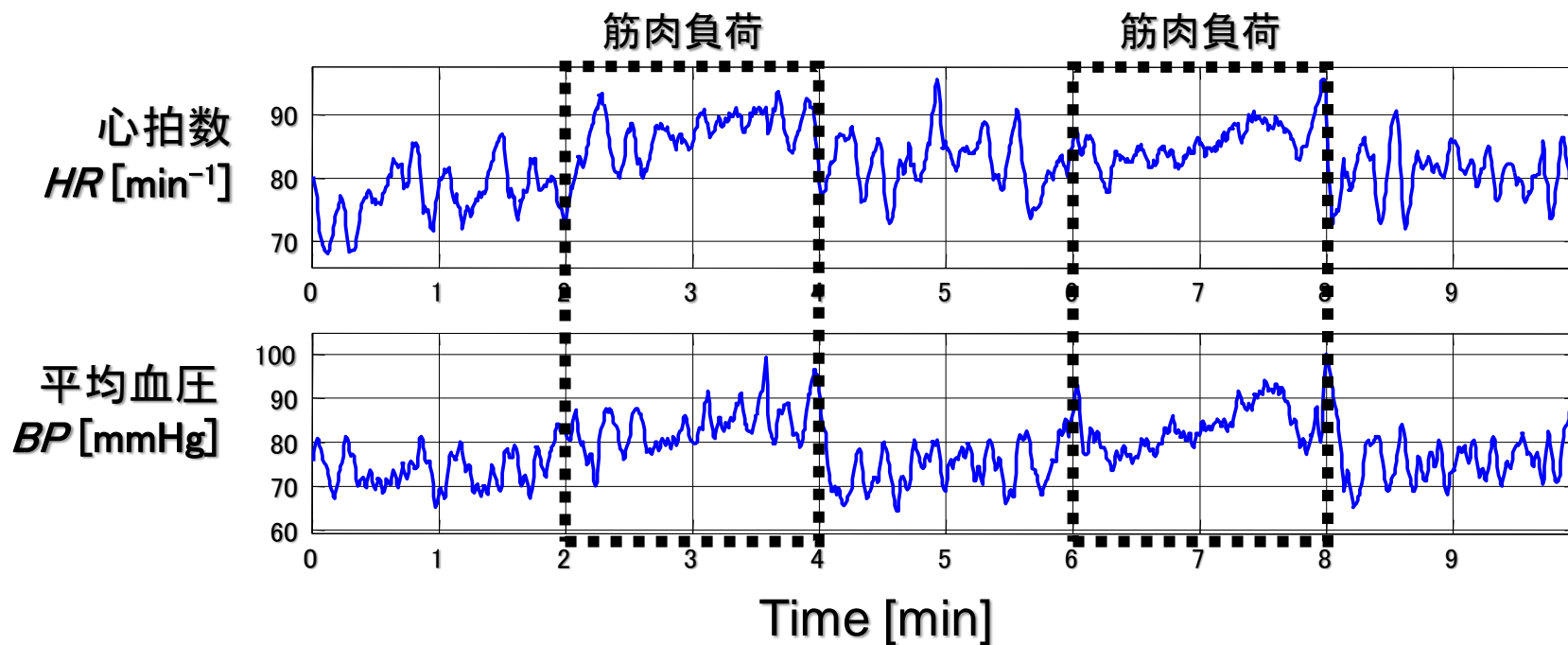
心電計, 脈波計, 連続血圧計



筋肉負荷実験



ある被験者の筋肉負荷時の諸量の時系列(フィルタ処理なし)



心拍間隔変動（再サンプリング後）のパワースペクトル密度関数

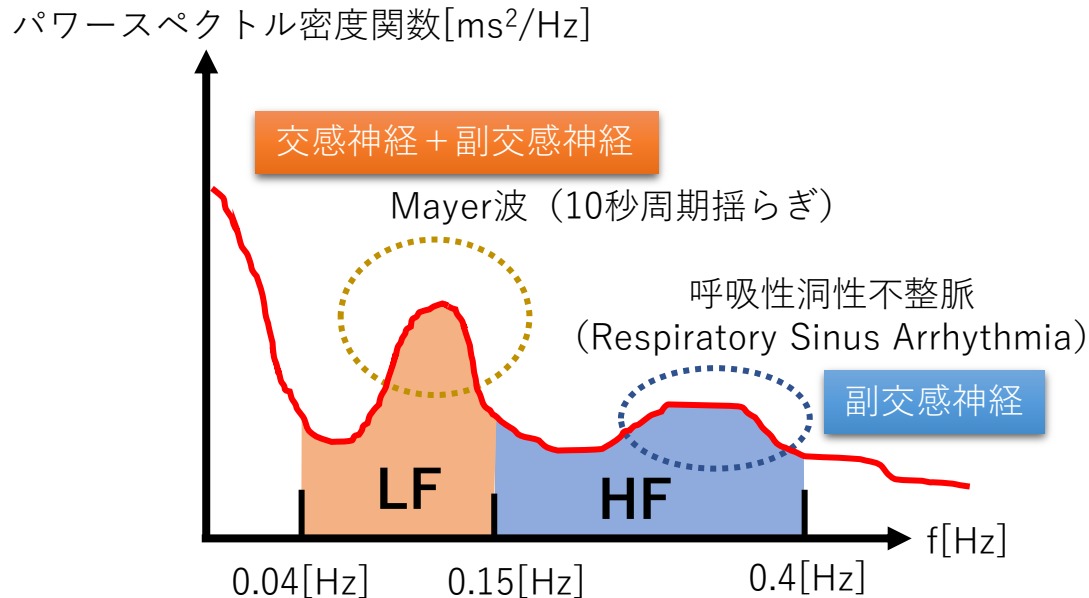
- Mayer波 (10秒周期ゆらぎ)

心拍数を操作量として血圧を調整するための圧反射系の活動性を反映

血管運動に関係 (交感神経系+副交感神経系)

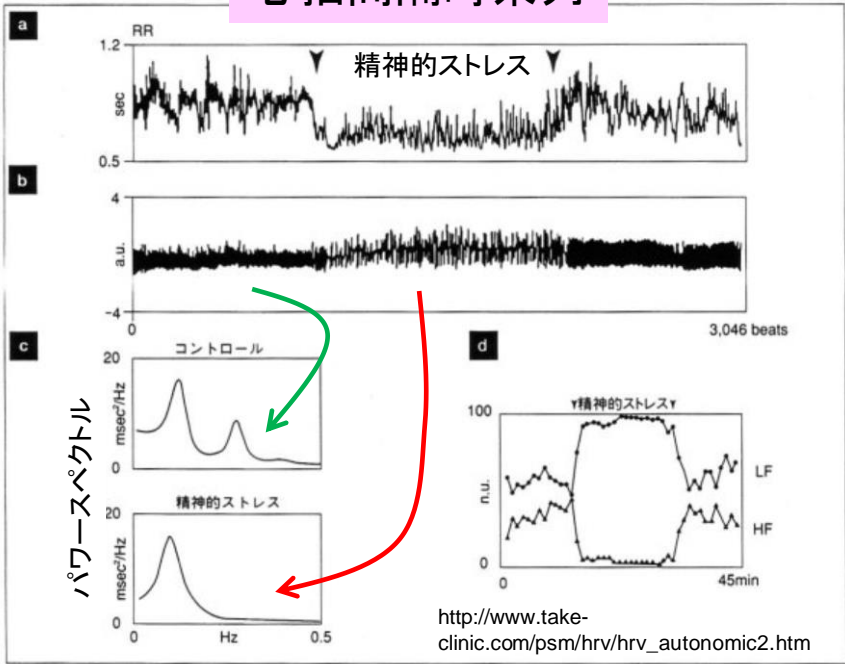
- 呼吸性洞性不整脈 (呼吸周波数に一致)

肺の換気効率を高めるため、吸気期に心拍数を高める (副交感神経系)

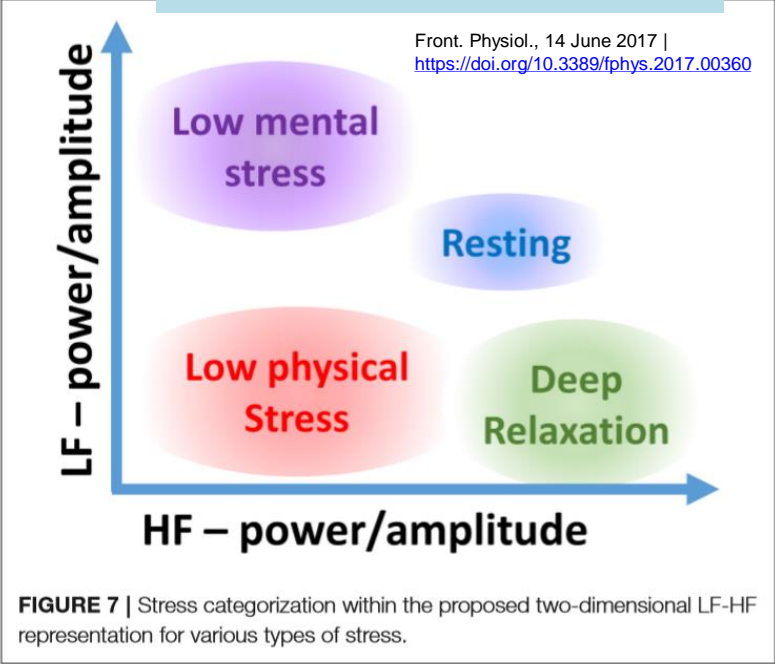


$$\text{LF/HF} = \frac{\text{交感神経活動} + \text{副交感神経活動}}{\text{副交感神経活動}} = \frac{\text{交感神経活動}}{\text{副交感神経活動}} + 1$$

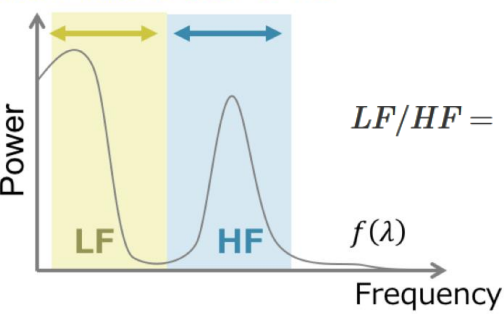
心拍間隔時系列



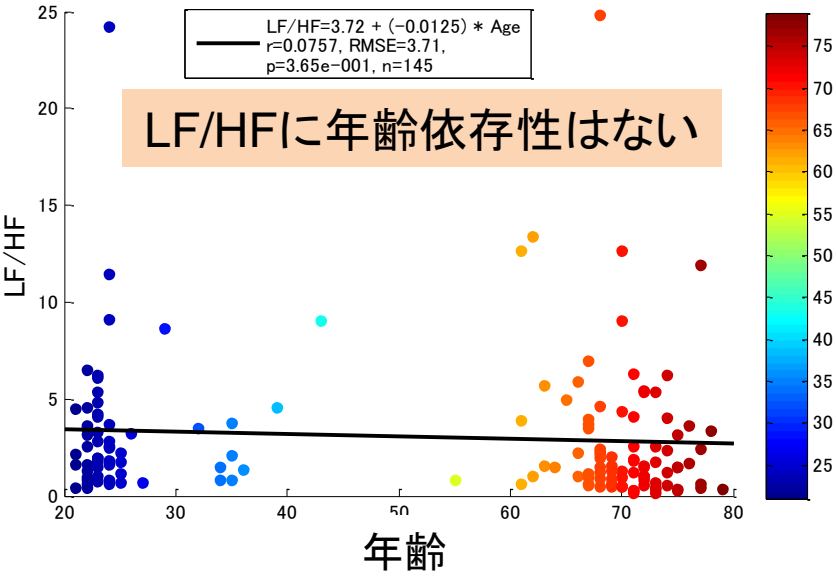
LF/HFはストレスを表す？



0.04~0.15Hz 0.15~0.4Hz

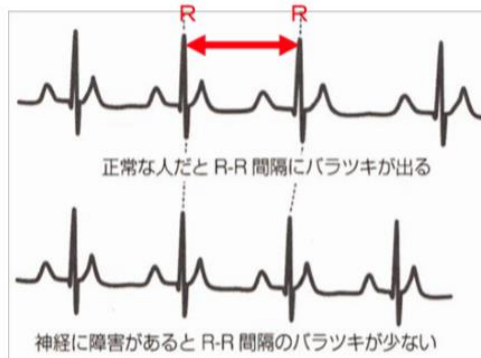


$$LF/HF = \frac{\int_{0.04Hz}^{0.15Hz} f(\lambda)d\lambda}{\int_{0.15Hz}^{0.40Hz} f(\lambda)d\lambda}$$



心拍間隔のばらつき(CVRR)には年齢依存性がある

<http://lab-tky.umin.jp/contribution/e01.pdf>



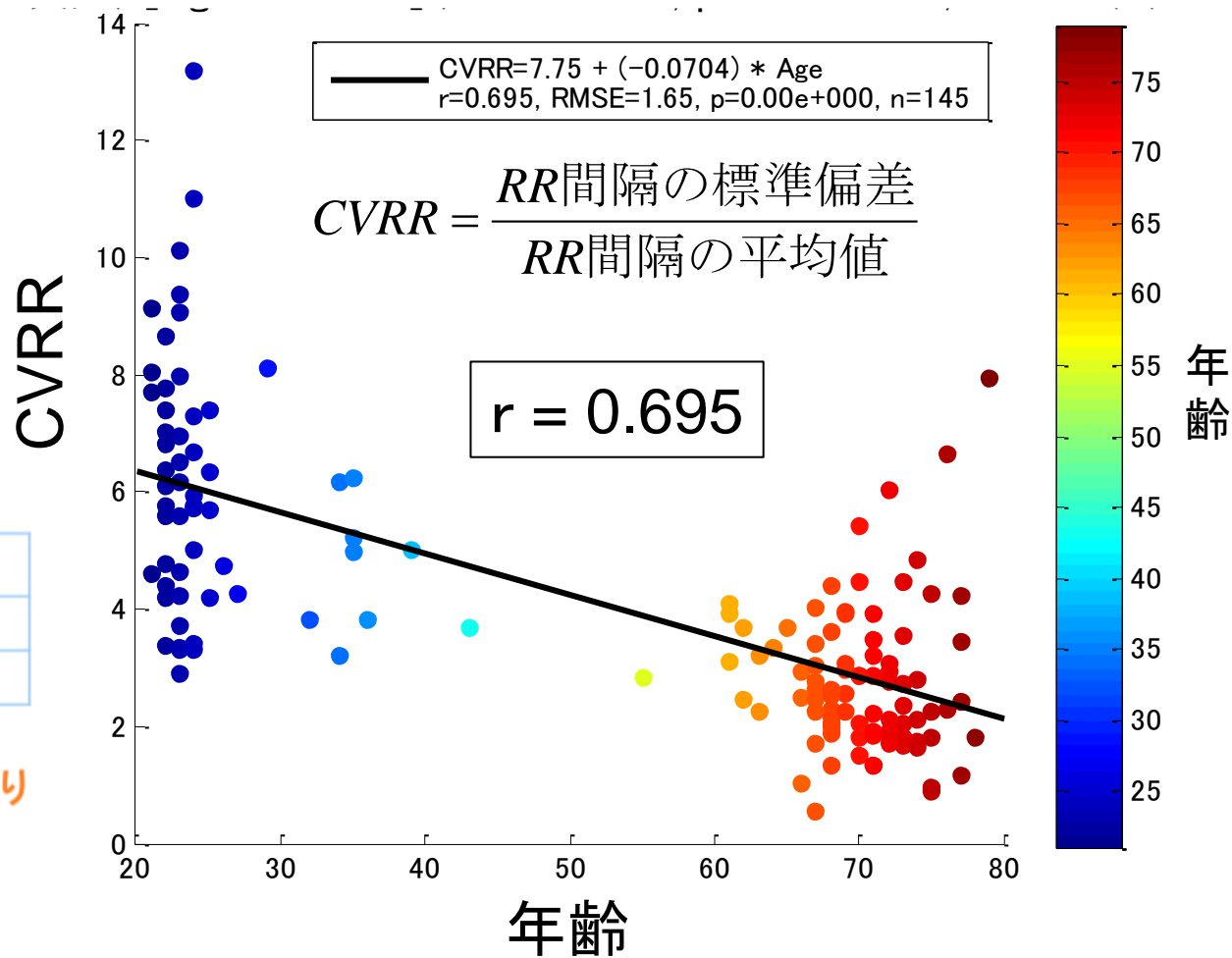
CVR-Rの平均値

対象	30~59歳	60歳以上
健常者	3.4%	2.8%
糖尿病	2.2%	1.7%

* 心臓副交感神経機能の作用により
心拍数は

吸気時⇒増加 呼気時⇒減少

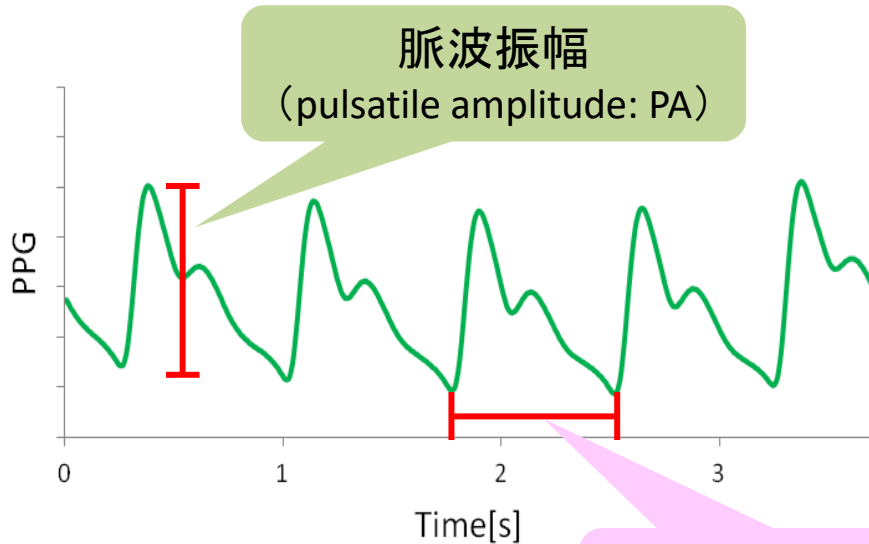
↓
変動を調べ、自律神経評価をする



光電容積脈波

光電容積脈波 …… 光の吸収を利用して血流量変化を計測

(photoplethysmogram: PPG)

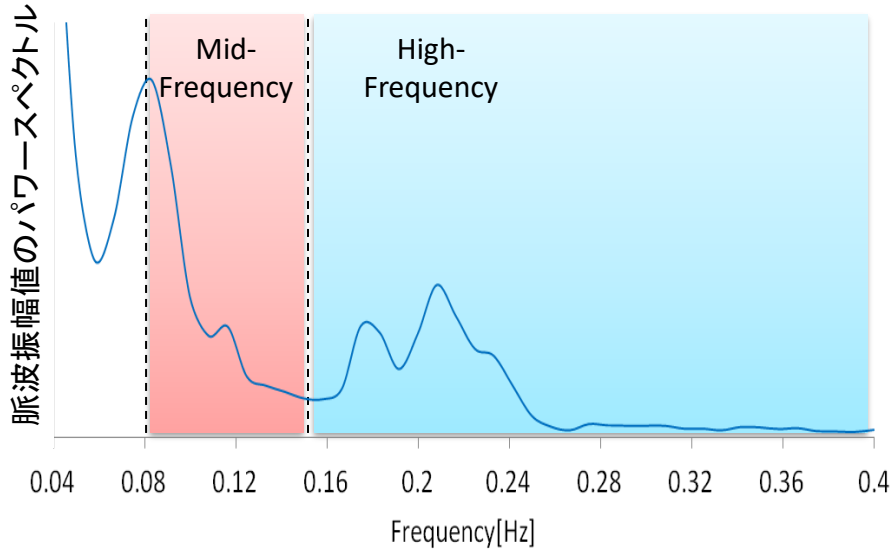


- 心拍間隔(RRI or FFI) : 心臓の収縮のタイミング → 心臓の時变的調整機能
- 脈波振幅(PA) : 動脈の血流量を反映 → 血管運動調整機能

時系列信号 → 周波数スペクトル解析 → 自律神経機能の推定

提案指標 μ_{PA}

脈波振幅値のパワースペクトル



$$\mu_{PA} = \ln \left(\frac{MF_{PA}}{HF_{PA}} \right)$$

LF_{PA} : 0.04-0.15Hz

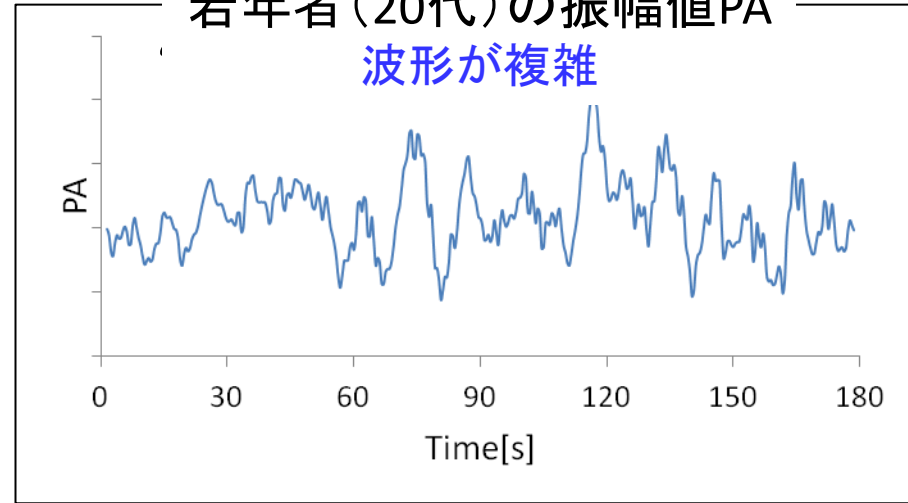
MF_{PA} : 0.08-0.15Hz

HF_{PA} : 0.15-0.40Hz

圧受容器反射に起因する変動^[1]

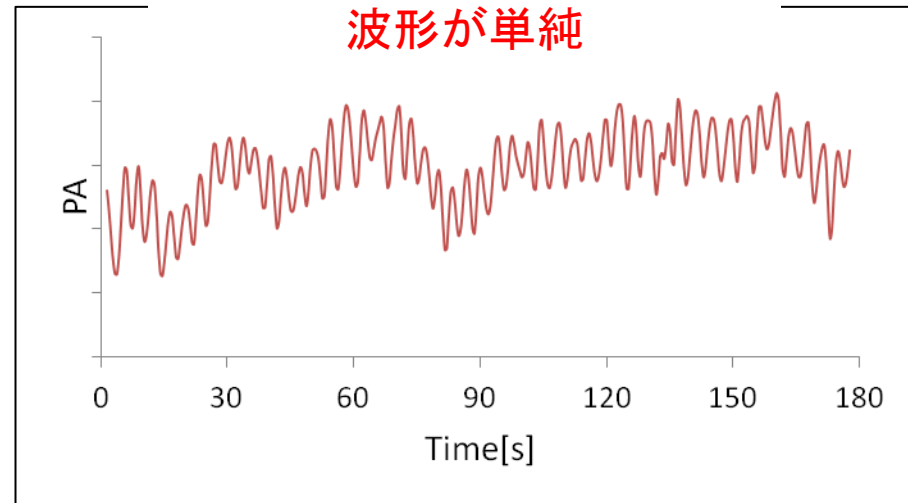
若年者(20代)の振幅値PA

波形が複雑



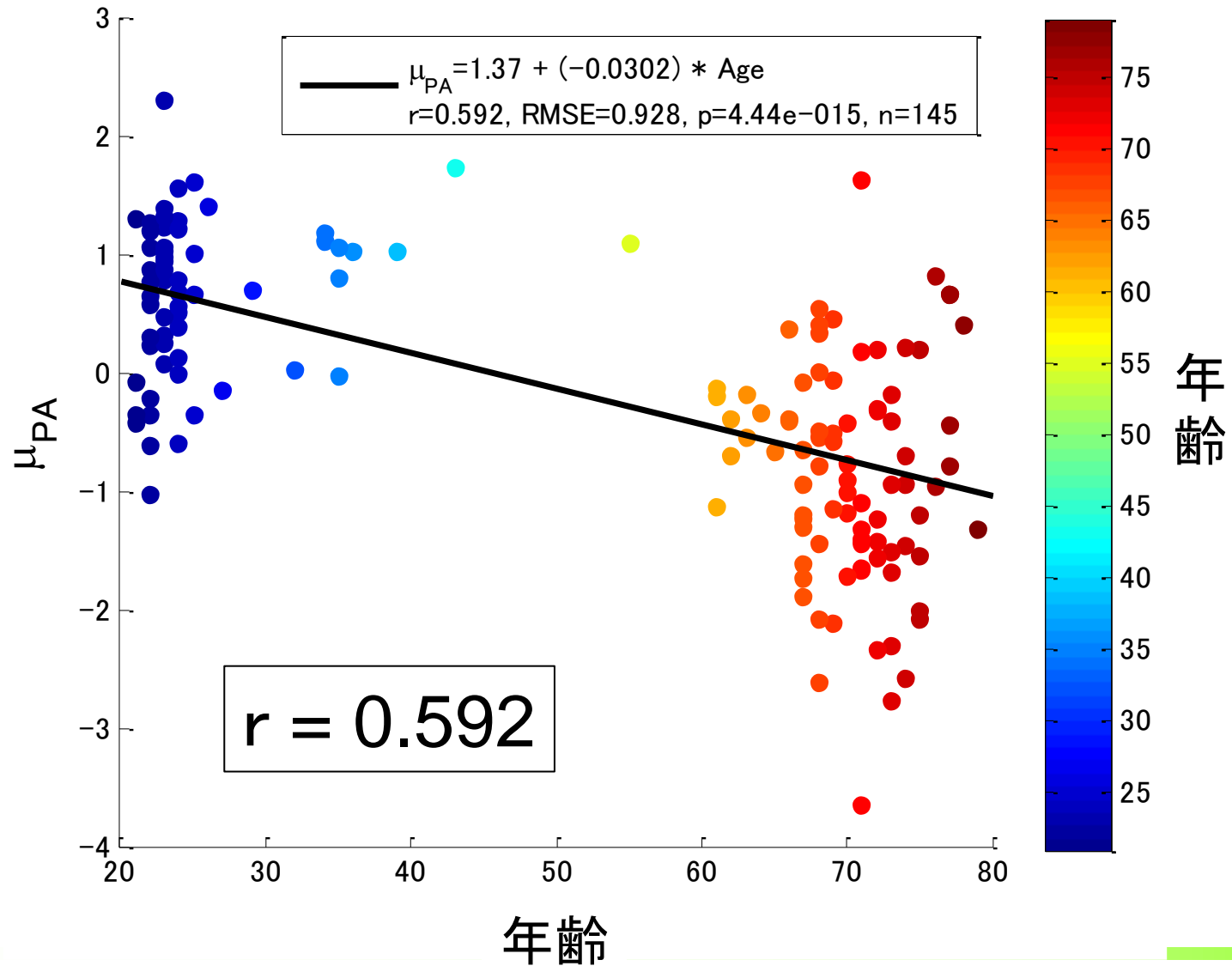
高齢者(70代)の振幅値PA

波形が単純

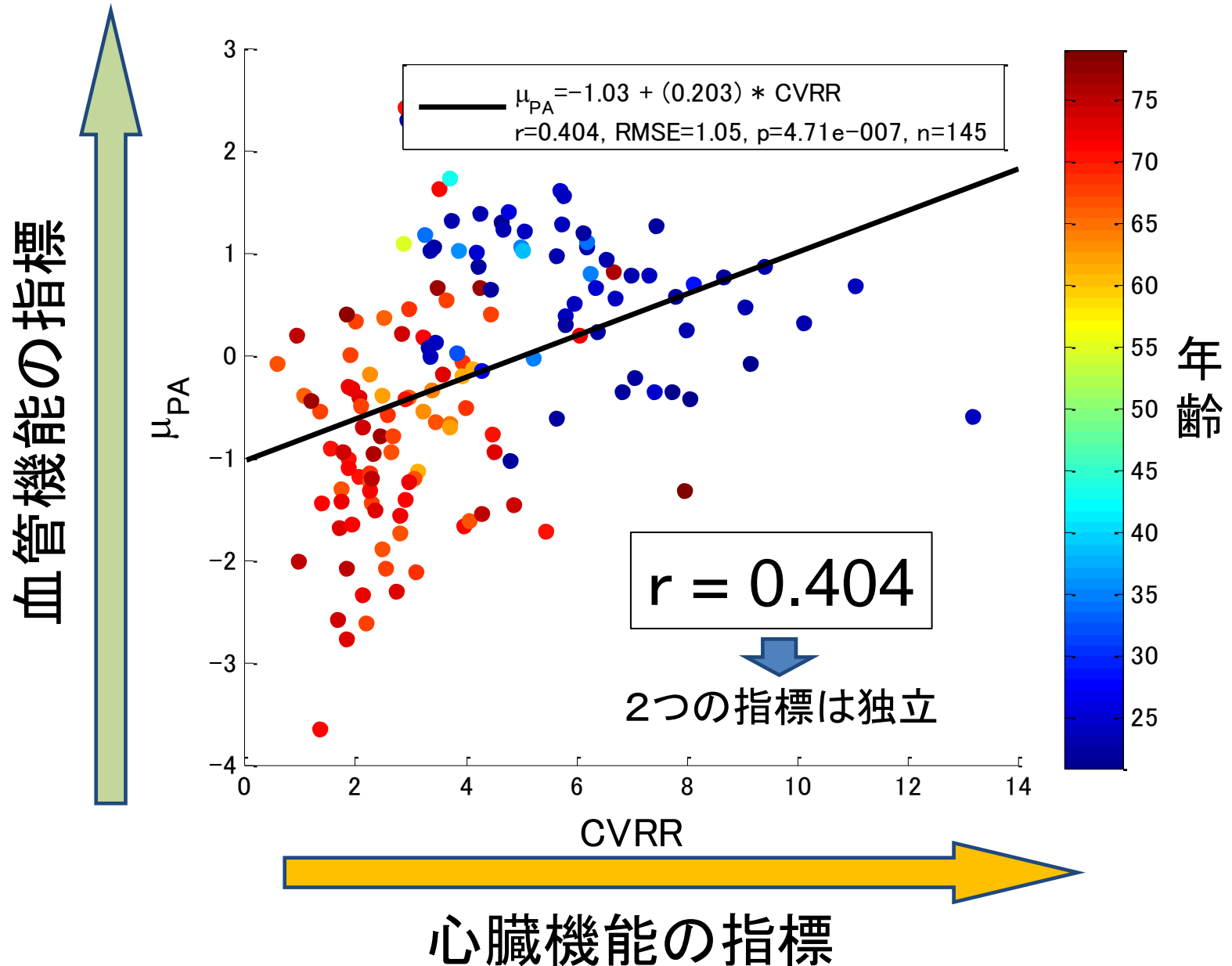


[1] Middleton, Journal of Clinical Monitoring and Computing, 2011

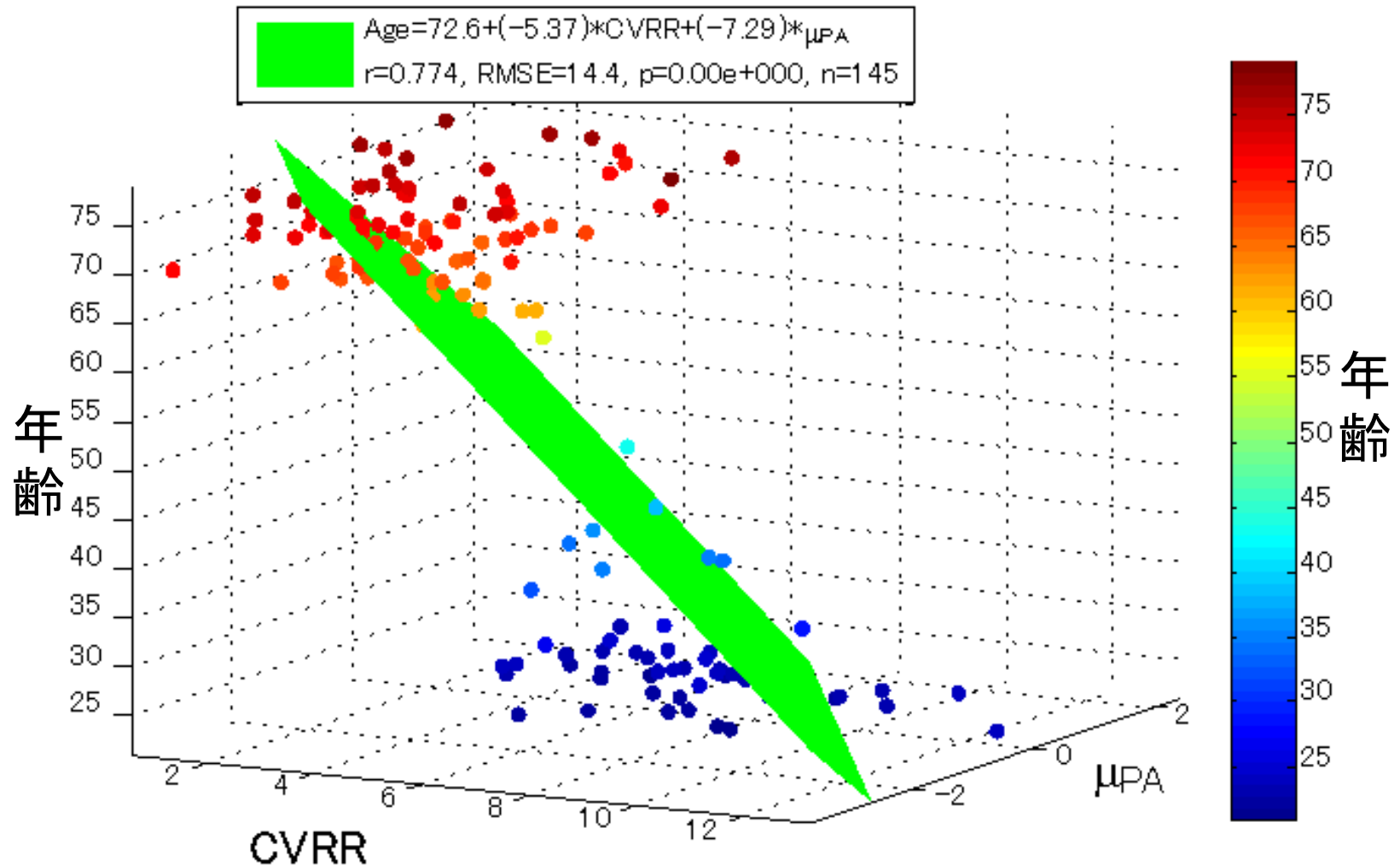
提案指標 μ_{PA} の年齢に対する変化



自律神経指標CVRRと提案指標 μ_{PA} の相関

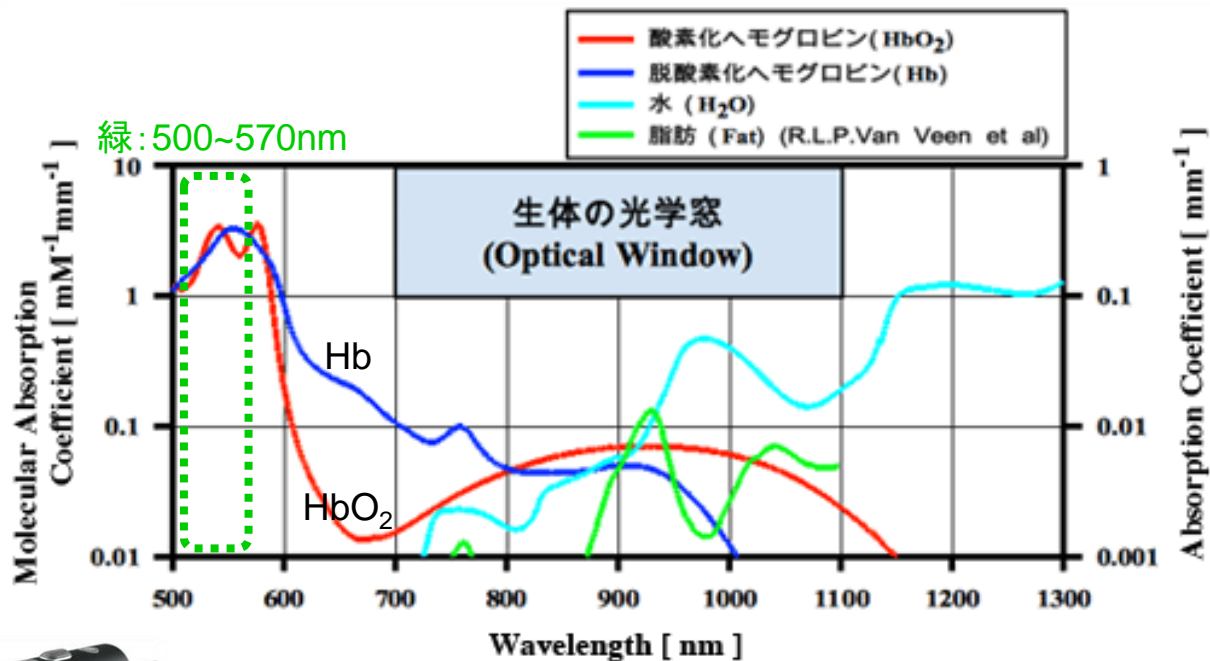


CVRRと μ_{PA} から年齢を推定する回帰平面



$$Age = 72.6 - 5.37 \cdot CVRR - 7.29 \cdot \mu_{PA}$$

ヘモグロビンの吸光特性



可視光

ヘモグロビンが吸光

- 普通のカメラ
- 緑色PPG

近赤外光

光が生体組織に深く侵入

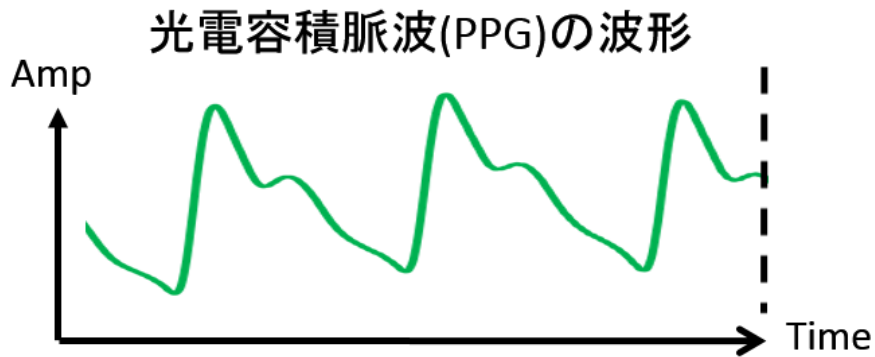
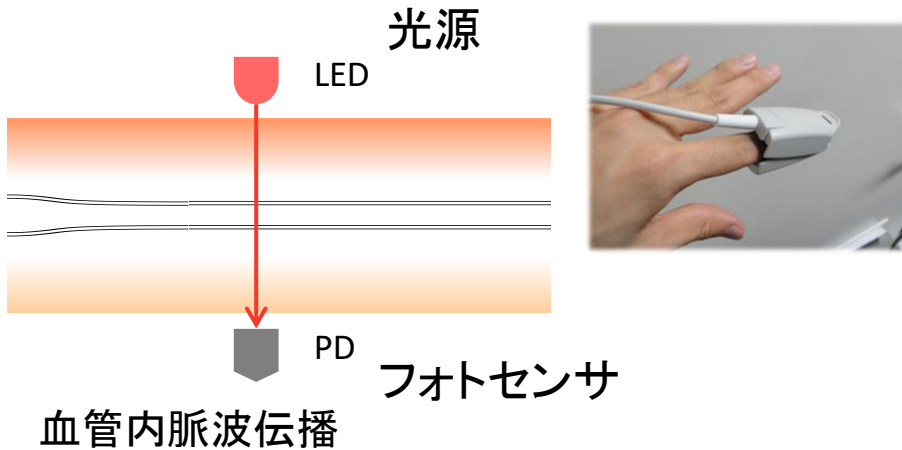
- 赤外光PPG



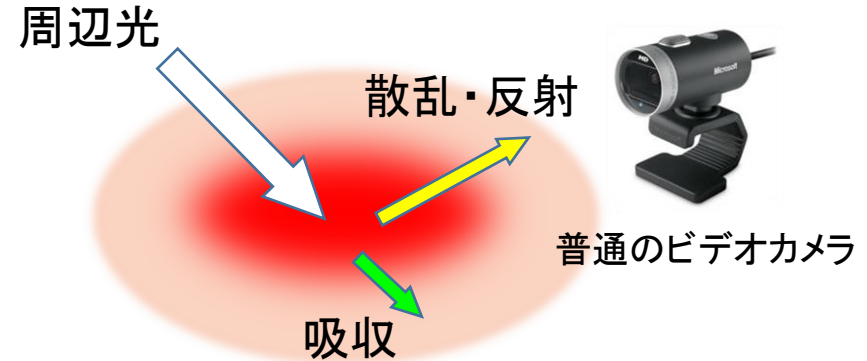
水が吸光

脈波情報抽出

接触式

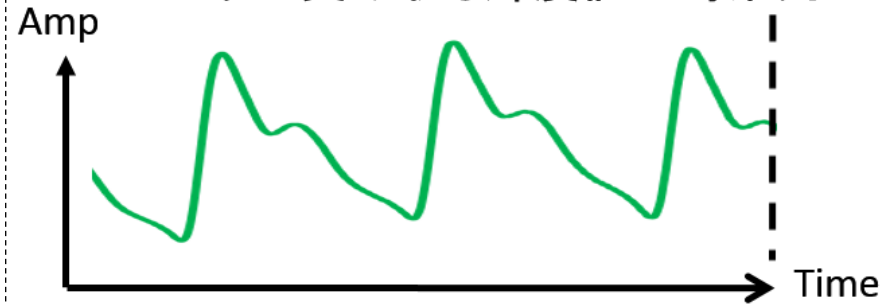


遠隔・非接触式



皮膚の紅潮のイメージ
(皮膚表面の微小な色の変化をカメラが受け取る)

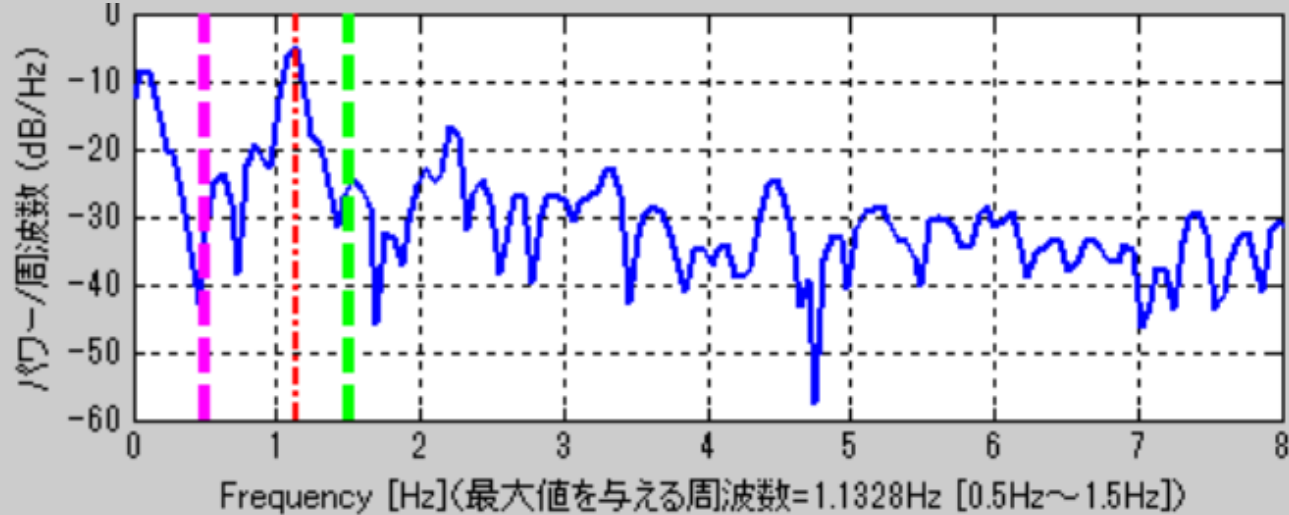
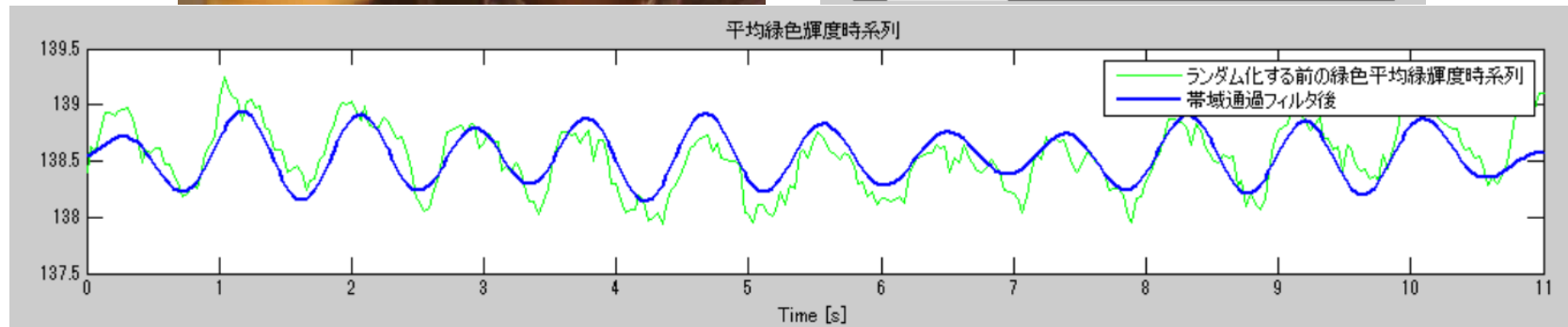
カメラが受け取る輝度値の時系列



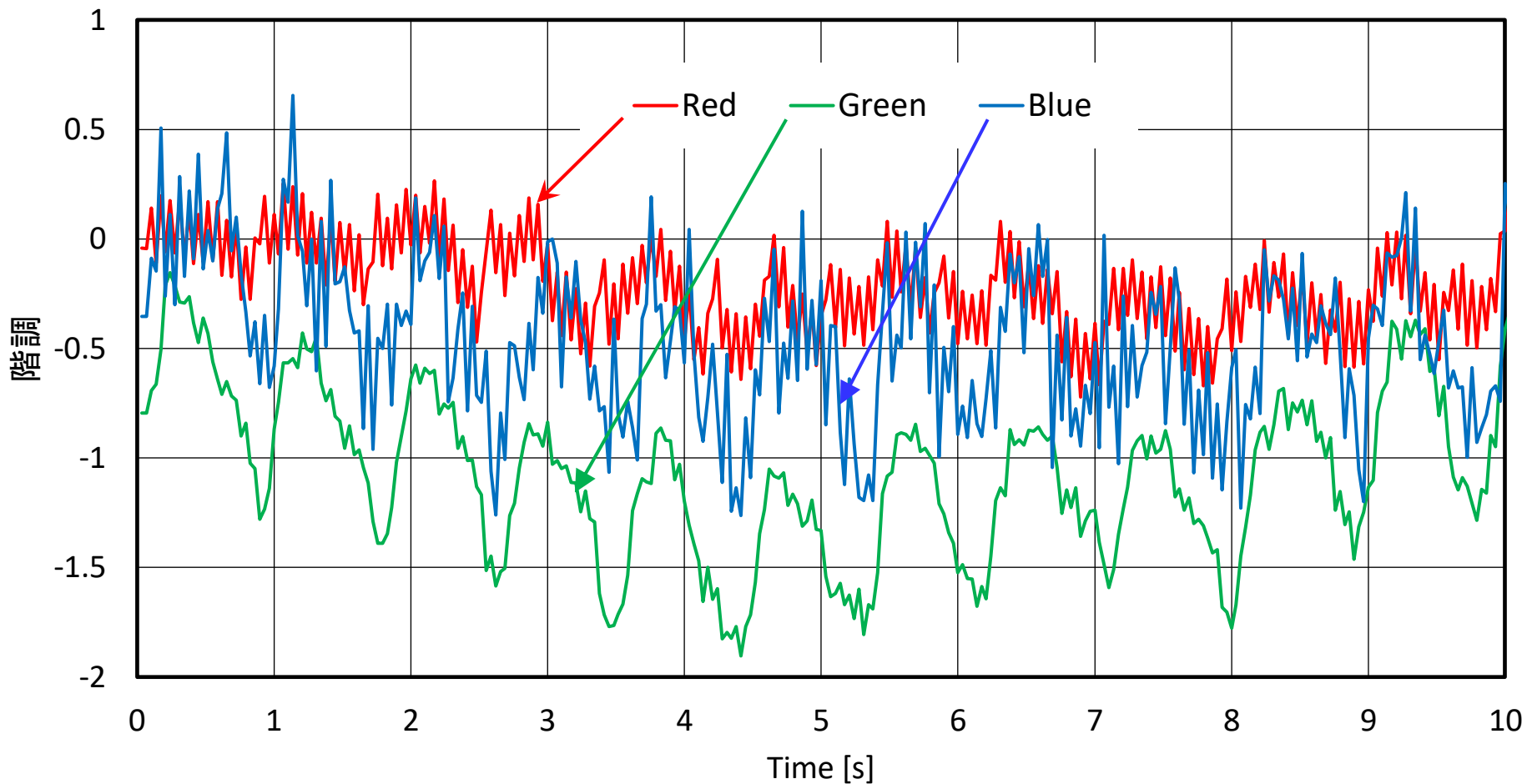
血中**ヘモグロビン**が周辺光の**緑色**成分を吸収

→ ビデオの**G**信号で光電脈波と同様の脈波が得られる

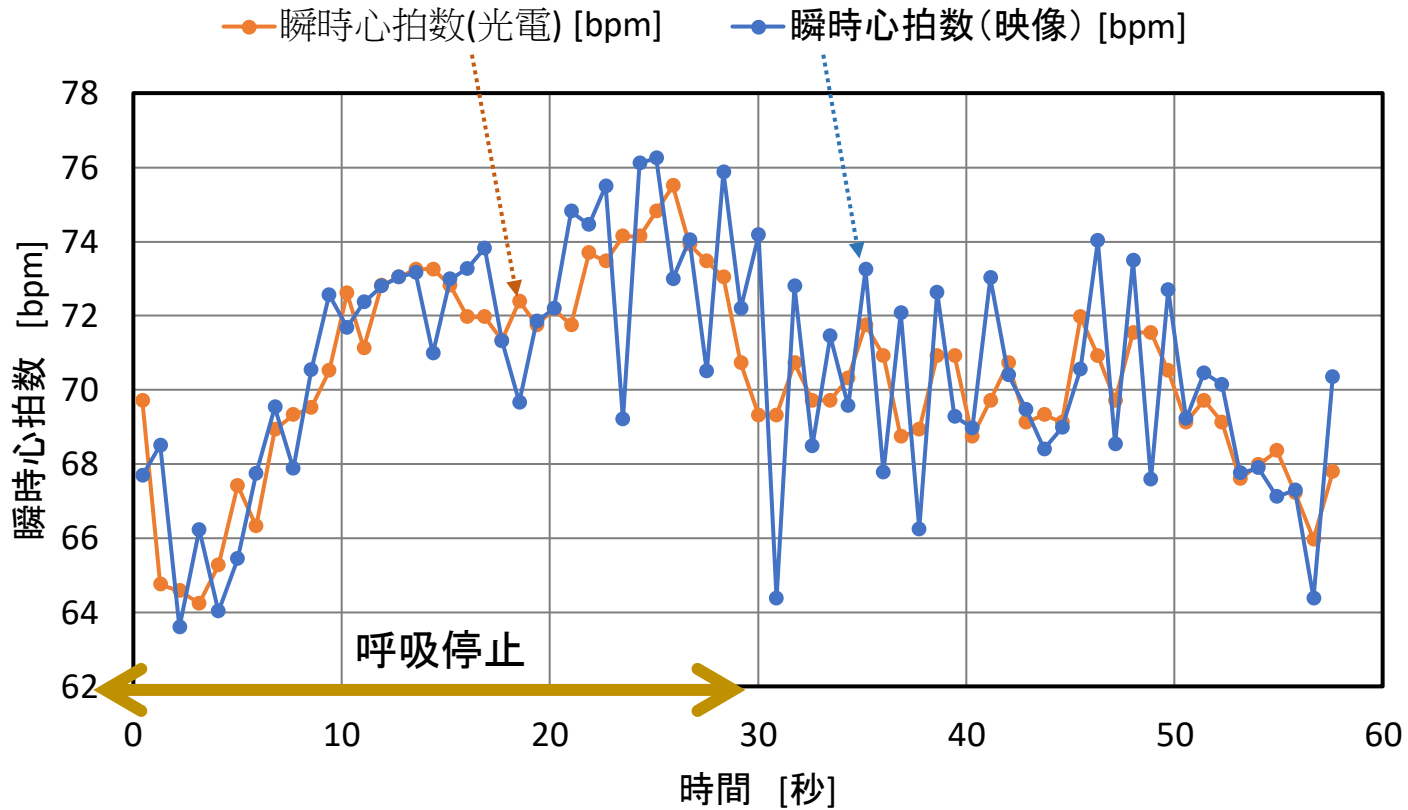
肌色領域全体の緑色輝度平均値時系列には心拍成分が含まれる



緑色輝度時系列が最も脈波に近い



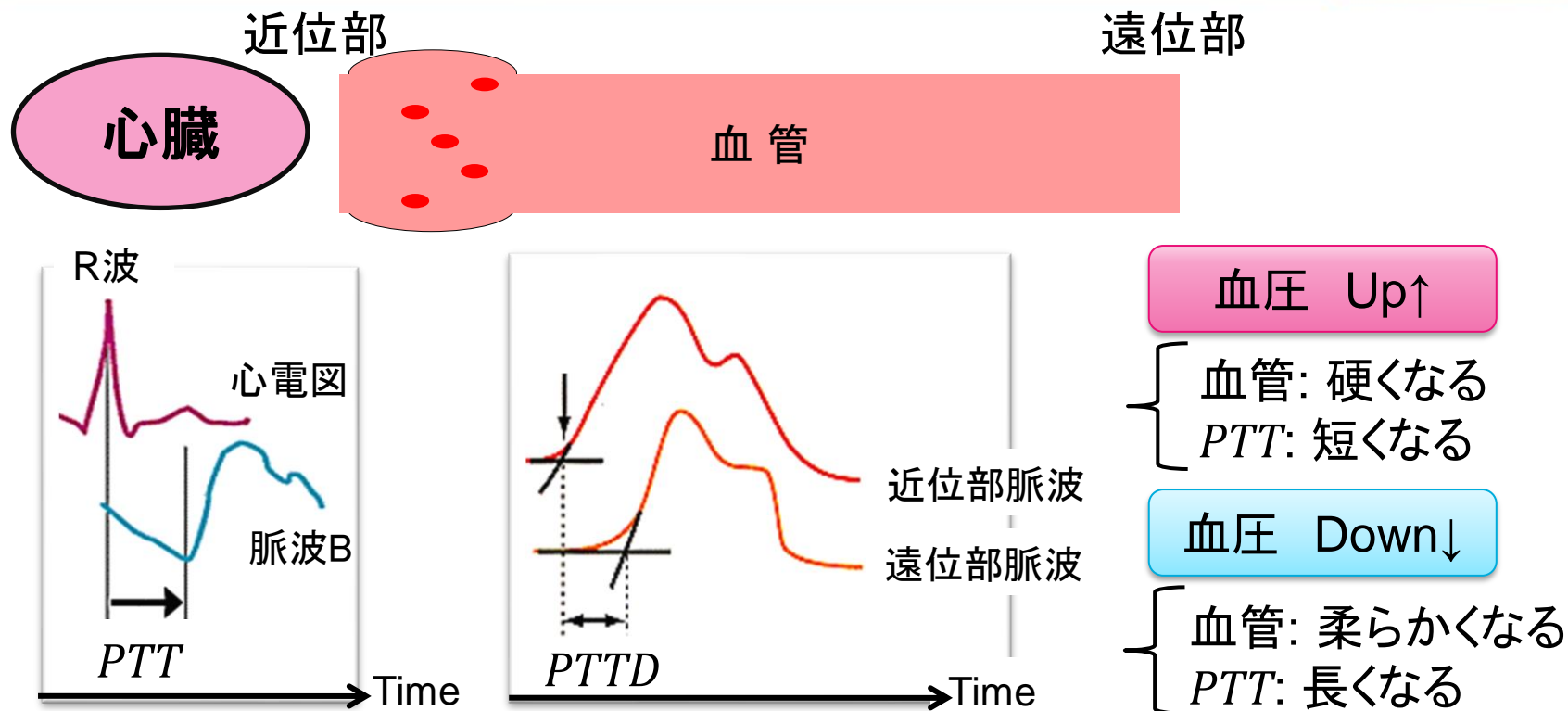
瞬時心拍数の推移



1分間(68拍)の光電と映像の誤差

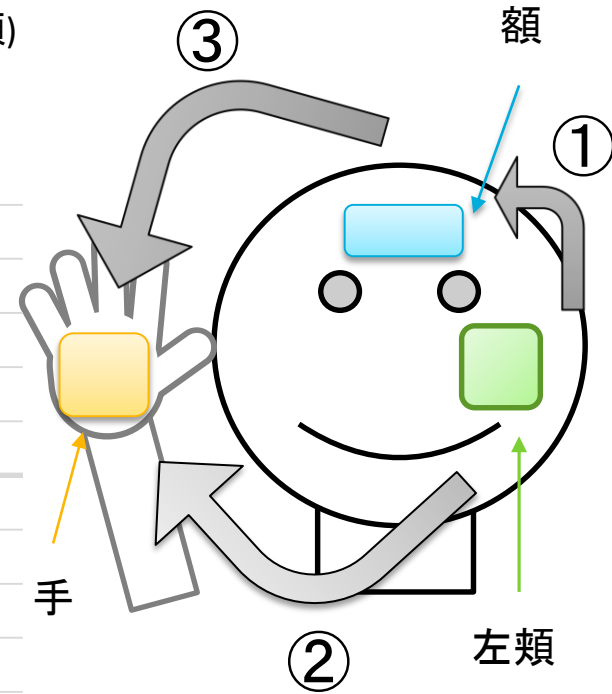
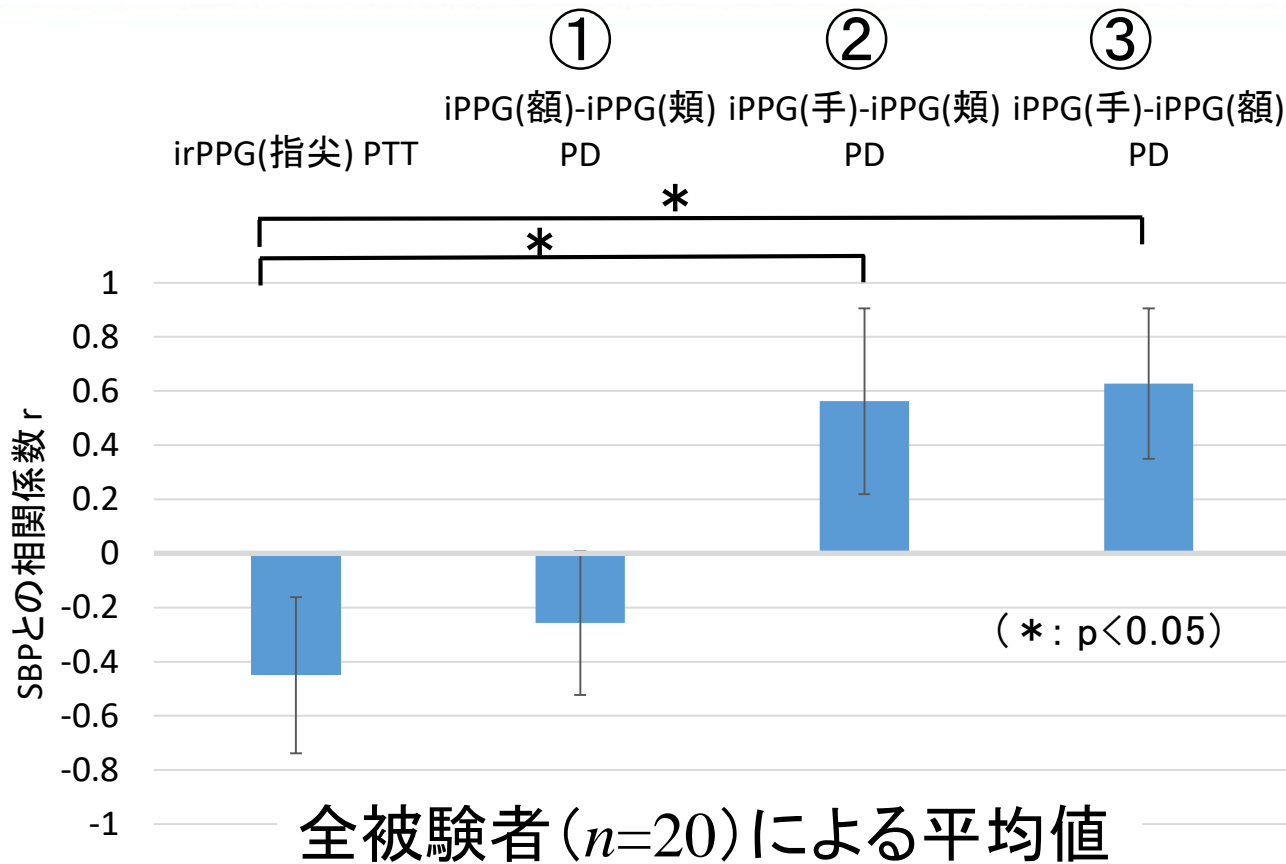
心拍間隔の誤差の平均値 19.53 [ms]
心拍間隔の相対誤差の平均値 2.29 [%]

心拍数の誤差の平均値 1.61 [bpm]
心拍数の相対誤差の平均値 2.29 [%]



- 脈波伝播時間: PTT (pulse transit time)
 - 脈波伝播時間差: $PTTD$ (pulse transit time difference)
- $PTT, PTTD$ と **血圧** は負の相関

(波が管を伝播する速度 \Rightarrow 硬い管ほど速く伝わる)

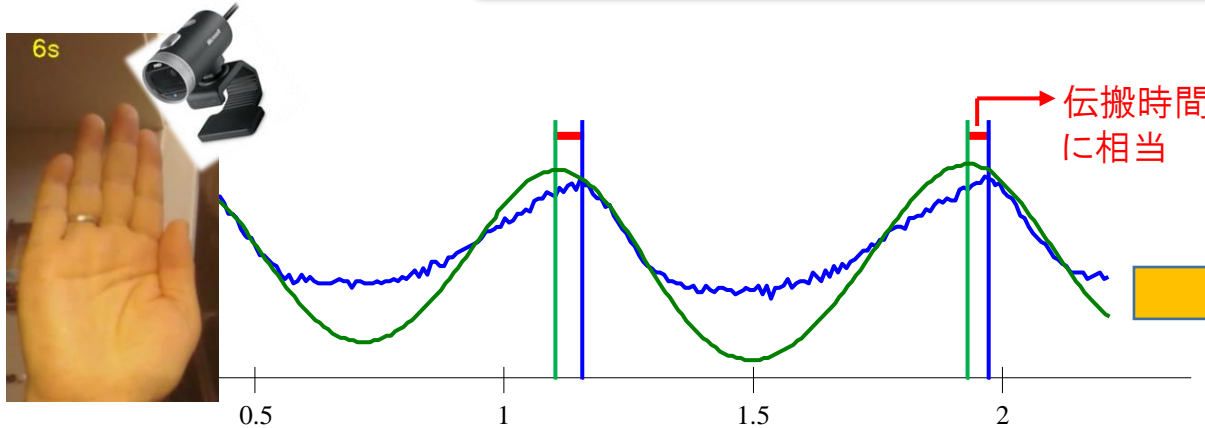


②手と頬の間,あるいは,③手と額の間の脈波伝搬時間差は,
 血圧変動と**正の相関**(相関係数0.6程度)をした。 → **特許取得済み**

1か所の映像脈波から血圧変動を推定する新手法の開発

1つの映像脈波から血圧変動が推定でき、従来の2つの映像脈波を用いる方法と同等の性能。

血圧変動推定 → 血圧サージの検出

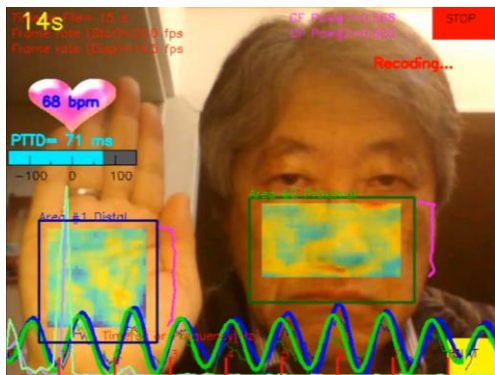


基本波の極大点と、元波形の近似直線による交点の時間差

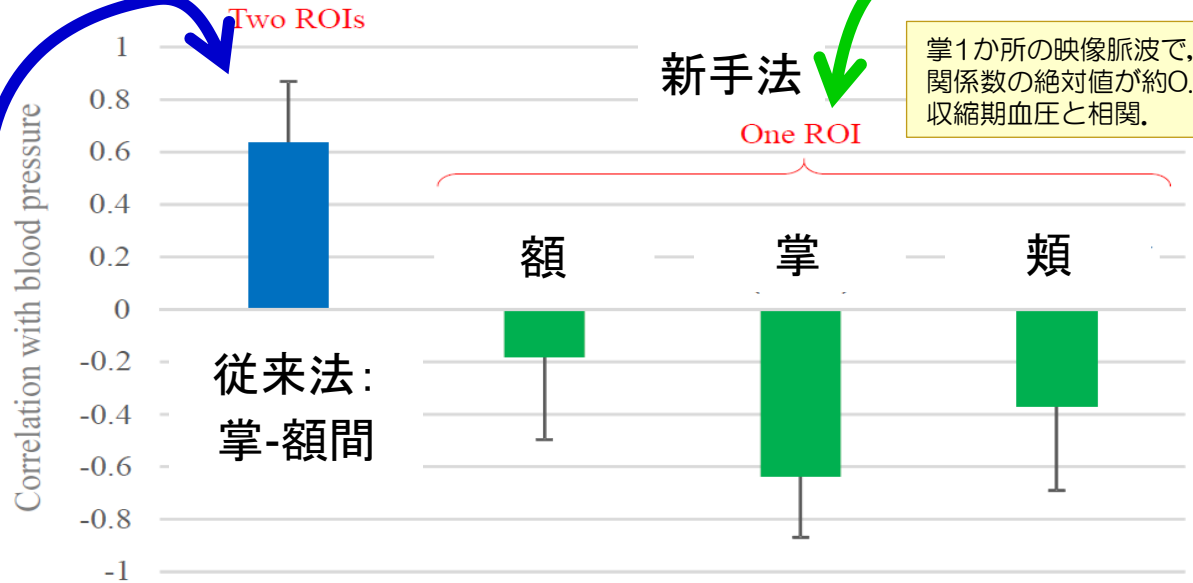
新手法

【特許登録】

吉澤誠、杉田典大: 生体情報計測装置、生体情報計測プログラム、及び生体情報計測方法、特許第6620999号 (登録日2019年11月29日), 出願番号: 特願2017-230362 (出願日2017年11月30日)



2波の位相差を使う従来法



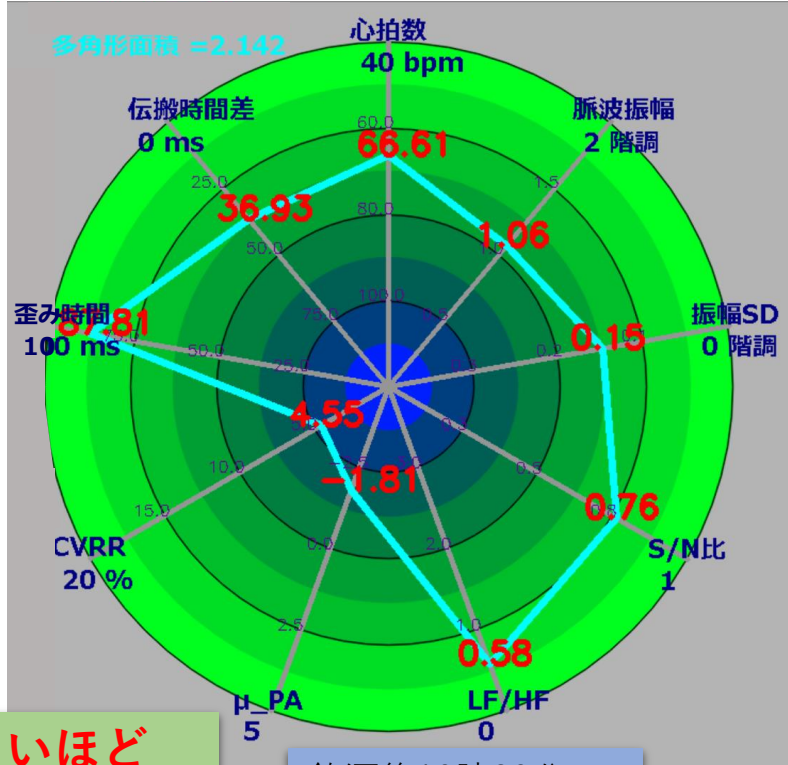
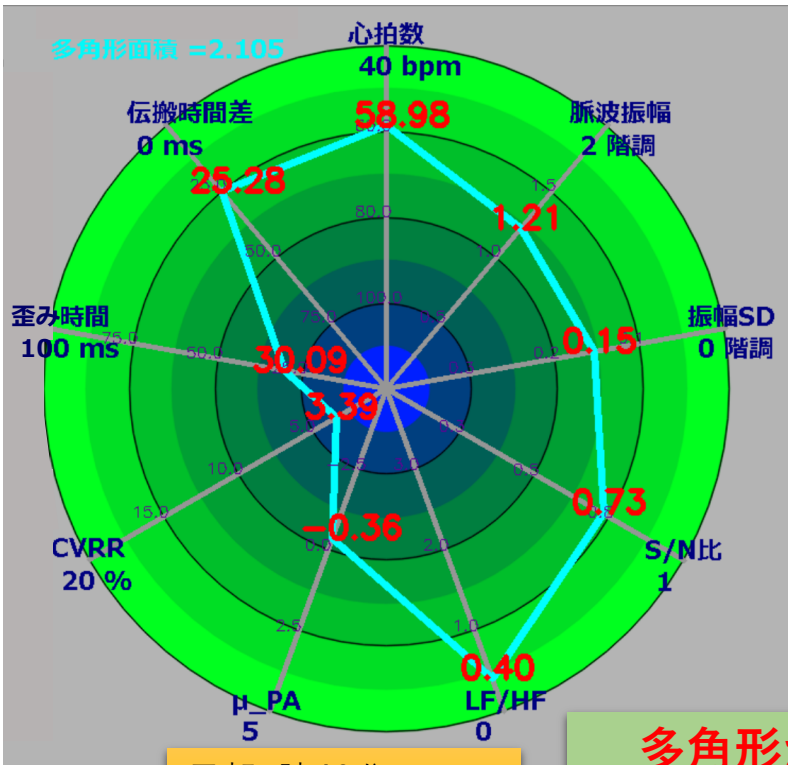
掌1か所の映像脈波で、相関係数の絶対値が約0.6で収縮期血圧と相関。

収縮期血圧との相関係数 (健康者20名)

特許6683367号出力例

- ① 平均心拍数
- ② 血行の良さ (平均脈波振幅)
- ③ 自律神経バランス (LF/HF)
- ④ 血管調整指標 (交感神経系; μ_{PA})
- ⑤ 心拍調整指標 (副交感神経系; CVRR)
- ⑥ 血圧相関値 (歪み時間特許6620999号・脈波伝搬時間差特許6072893号)
- ⑦ 計測雑音の指標 (S/N比・振幅の標準偏差)
- ⑧ 自律神経年齢

$$= 72.6 - 5.37 \times CVRR - 7.29 \times \mu_{PA}$$
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25570325> : 特許5408751号



早晨5時40分
 最高血圧126mmHg
 最低血圧 86mmHg
 心拍数60bpm

多角形が大きいほど
体調がよい可能性がある

飲酒後19時30分
 最高血圧108mmHg
 最低血圧 67mmHg
 心拍数67bpm

推定された自律神経年齢 : 57歳

健常男性
 実年齢 : 63歳

推定された自律神経年齢 : 61歳

取得済特許：

1. 山家智之, 丸山満也, 川田浩, 吉澤誠, 田中明, 杉田典大, 金野敏, 仁田新一, 西條芳文, 宗像正徳：血压反射機能測定装置（特許4789203）, 登録日：2011年7月29日
2. 古田律克, 吉澤誠, 山家智之, 杉田典大：情報処理プログラム, 情報処理装置, 情報処理システム, および情報処理方法（特許4936479）, 登録日：2012年3月2日
3. ニツ山幸樹, 難波晋治, 中川剛, 吉澤誠, 杉田典大, 中村信志：空調装置（特許4968023）, 登録日：2012年4月13日
4. 吉澤誠, 阿部誠, 杉田典大, ケンジ・パウ, 山中篤：生体状況評価装置および生体評価信号算出方法（特許5161671）, 登録日：2012年12月21日
5. 木村 賢治, 山家 智之, 川島 隆太, 阿部 恒之, 吉澤 誠：車両用自律神経機能診断装置, 車両用自律神経機能診断方法,（特許5390851）, 登録日：2013年10月18日
6. 吉澤 誠, 杉田典大, 狩野佑介, 山家智之：自律神経機能測定装置（特許5408751号）, 登録日：2013年11月15日
7. 古田律克, 阿部悟郎, 吉澤 誠, 杉田典大, 山家智之：呼吸指示プログラムを記録した記録媒体、呼吸指示装置、呼吸指示システム、および呼吸指示処理方法, 特願2010-133425,（特許5578518）, 登録日：2014年7月18日
8. 古田律克, 阿部悟郎, 吉澤 誠, 杉田典大, 山家智之：ゲームプログラム、ゲーム装置、ゲームシステム、およびゲーム処理方法, 特願2010-027970,（特許5656160）, 登録日：2014年12月5日
9. 古田律克, 阿部悟郎, 吉澤 誠, 杉田典大, 山家智之：ゲームプログラム、ゲーム装置、制御方法、およびゲームシステム, 特願2010-012500,（特許5721067）, 登録日：2015年4月3日
10. 高森哲弥, 吉澤 誠, 本間経康, 杉田典大, 阿部 誠, 田中 明：脈波伝搬速度の測定方法およびシステム並びに撮像装置,（特許6072893, 特願2015-504122, 登録日：2017年1月13日
11. 吉澤誠、杉田典大：生体情報計測装置、生体情報計測プログラム、及び生体情報計測方法, 出願番号：特願2017-230362（出願日2017年11月30日）, 特許第6620999号（登録日2019年11月29日）
12. 吉澤誠, 杉田典大, 阿部誠, 山家智之, 本間経康, 小原一誠, 田中明, 堀畑友希：生体情報計測装置、生体情報計測方法及び生体情報計測プログラム, 出願番号：特願2016-032467（出願日2018年2月23日）, 特許第6683367号（登録日2020年3月30日）

出願中特許：

1. 吉澤誠、杉田典大：信号制御装置、信号制御プログラム、及び信号制御方法, 特願2018-58836, 出願日：2018年3月26日

脈波関連発表論文

1. Evaluation of autonomic nervous function for elderly people using electrocardiogram and plethysmogram. Proc. of SICE Annual Conference 2012, pp.1665-1668 (2012). Yoshizawa M, Sugita N, Abe M, *et al.*
2. A Great Impact of Green Video Signals on Tele-Healthcare in Daily Life, Especially for Rural or Disaster Areas, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS. Osaka, Japan, 3-7 July, 2013, Makoto Yoshizawa, Akira Tanaka, Norihiro Sugita, *et al.*
3. Discrimination ability and reproducibility of a new index reflecting autonomic nervous function based on pulsatile amplitude of photoplethysmography. 36th Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2014, 2014:1794-800, (August 2014), Y. Kano, M. Yoshizawa, N. Sugita, *et al.*
4. Evaluation of Baroreflex Function Using Green Light Photoplethysmogram in Consideration of Resistance to Artifacts. Advanced Biomedical Engineering, accepted, (2015). Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Kazuma Obara, *et al.*
5. Easy Extraction of Blood Pressure Variability from Body Video Images Using Simulink. Proc. of 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), (2015). Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, *et al.*

脈波関連発表論文

6. Techniques for Estimating Blood Pressure Variation using Video Images. Proc. of 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), (2015). Norihiro Sugita, Kazuma Obara, Makoto Yoshizawa, *et al.*
7. Blood Perfusion Display Based on Video Pulse Wave. Proc. of 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2016), (2016). Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, *et al.*
8. Non-Contact Blood Pressure Estimation Using Video Pulse Waves for Ubiquitous Health Monitoring, 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), (Osaka, Oct. 24-27, 2017), Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, *et al.*
9. 血行状態ディスプレイ「魔法の鏡」を使ったゲームの可能性, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2017) , (仙台, 2017年9月16日-18日), 吉澤 誠, 杉田典大, 他
10. 血行状態モニタリング装置“魔法の鏡”の開発, 光技術コンタクト, 55(10), pp.4-11 (2017). 吉澤誠, 杉田典大
11. Contactless Technique for Measuring Blood-Pressure Variability from One Region in Video Plethysmography, Journal of Medical and Biological Engineering. pp.1-10, (March, 2018) <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0388-8>. Norihiro Sugita, Makoto Yoshizawa, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe