

IV 章

VAD管理のための 在宅モニタリング

1 心電図モニタリング

1-1 心電図モニタリングの必要性

補助人工心臓（ventricular assist device：VAD）治療が必要なほど重症な心不全であるということは、心房性・心室性の不整脈を起こしやすい状態であるということである。もちろん心不全に陥った心臓をVADでサポートし、とくに左心系を減圧することにより、不整脈の発生頻度は通常、減少する。したがって、植込型左室心補助人工心臓（LVAD）の臨床応用が始まった当初は、VAD装着後は、装着前ほどの心電図モニタリングは必要ないと考えられてきた。

しかしながら、拍動流式ポンプの時代から連続流ポンプの時代となってより長期の循環補助が可能となり、また心臓移植待機期間の長期化に伴ってブリッジ（bridge to transplantation：BTT）目的に装着されたVADの装着期間も長期化し、在宅患者も増加してきている。このような現状で、不整脈によりVADの流量低下を来すというような事態に遭遇することもまれではない。もちろん、VADを装着している場合は、たとえ心室細動（ventricular fibrillation：VF）になってもある程度の流量は維持される場合が多い。VAD装着下にVFで長期補助を行い、心臓移植まで到達した例も報告されている¹⁾。しかし、個々の患者の肺血管抵抗や右心機能、残存左心機能により、VFや心室頻拍（ventricular tachycardia：VT）のみならず、心房細動（atrial fibrillation：AF）などでも流量が大きく低下する場合もあり、まさにケースバイケースであると考えられる。

入院中のVAD装着患者（以下、VAD患者）は、心電図モニタをほとんど装着していると考えられるので、不整脈の発見に関する問題は少ない。問題となるのは、在宅のVAD患者が気分不良や意識消失を訴えた場合で、そのような場合は不整脈も原因として疑わなければならない。近年は、心臓移植待機患者は、植込型除細動器（implantable cardioverter defibrillator：ICD）、心臓再同期療法（cardiac resynchronization therapy：CRT）などのペースメーカー（pacemaker：PM）を装着している場合が多く、その場合は、PMのモニタリング機能を用いることができる。リアルタイムではないが、外来受診時にどのような不整脈がどのような発生頻度で起こっているかを確認することが可能であり、早めに薬物治療などで対処することができる。

VAD患者、特に在宅患者の管理においては、通常の重症心不全患者とは異なるリズムトラブルへの配慮、心電図モニタリングが必要であることを意識することが肝要である。[西村元延]

1-2 不整脈発作検出時の対処方法

1-2-1 VAD サポート中のリズムトラブル（不整脈）

VAD は、心臓移植ドナーの不足に加え、デバイスの向上や管理技術の向上に伴い、長期にわたり重症心不全患者の循環補助にますます用いられるようになってきた。末期の重症心不全患者の心臓は、そもそも心房性・心室性の不整脈を起こしやすい病理・病態に陥っており、長期の移植待機に伴う病状の進行も相まって、VAD サポート中のリズムトラブルは、VAD 患者の日常診療の中でしばしば遭遇する問題である。

現在では臨床上用いられることなくなった第 1 世代の拍動流式植込型 VAD においては、VAD の filling（血液の充填）に自己心機能が大きく貢献していた。すなわち、前負荷依存性（preload-dependent）が高かったため、不整脈による自己心拍出の低下に伴い、大きく補助流量が低下することがしばしばあった。現在主に臨床使用されている定常流式の VAD、とくに軸流型の VAD においては、その血液流入側に陰圧を生じさせることにより filling するため、自己心機能による補助流量の変化がより少なくなっている。そのため、不整脈による自己心拍出の低下による補助流量の低下はより起こりにくくなっており、時には心室細動下においても患者が意識を失わない程度の補助を継続できることがある。

しかしながら、突然の不整脈により右心機能が著しく低下する可能性は残っており、不整脈により VAD の流量低下を来すことは、依然として実際の臨床現場ではたびたび遭遇する。

1-2-2 心房性不整脈

(1) 頻度と影響

AF の頻度は、心不全の進行と共に増加することが知られており、VAD 患者においては 50% が AF を有するとの報告もある²⁾。VAD が AF に及ぼす影響は不明であるが、左室・左房の負荷の解除と僧帽弁逆流の軽減は、良い方向に働くことが予測される。心房細動・粗動の発生により VAD の流量が直接受ける影響は少ないが、とくに頻脈性の心房細動・粗動の時には右心不全を発症するリスクはある³⁾。

VAD を装着していない患者において、心房性不整脈は血栓塞栓症のリスクであることが知られているが、そもそも血栓塞栓症の高いリスクを有し、強力な抗血栓療法を受けている VAD 患者において心房性不整脈はさらなるリスクの追加になるかどうかは不明である。VAD 装着術前の AF が術後の血栓塞栓症のリスクになるという報告がある一方⁴⁾、そうではないとする報告もある²⁾。

(2) 治療

通常は AF によっても全身循環が大きく崩れることはなく、レートコントロールのみで十分なことが多い。心不全患者のレートコントロールには β 遮断薬が選択されることが多い。ジゴキシンは副交感神経の緊張を高めることで AF に対する心室の応答を遅くする作用があり、単独治療としては効果が低いとされるが、 β 遮断薬の補助療法として有用である⁵⁾。カルシ

ウムチャンネル阻害薬もレートコントロールには有用であるが、収縮期心不全患者に用いられることは少ない。レートコントロールという意味では、房室結節のアブレーションも有用であるが、アブレーション後には心室ペーシングが必要となる。

レートコントロールによっても右心不全を生じる症例や、薬物によるレートコントロールが無効な症例では、除細動が必要になる。除細動の方法としては、電気的除細動、薬物による除細動、アブレーションがある。VAD 患者におけるデータは少ないが、わが国で使用可能な薬剤のうち、収縮期心不全患者の予後を悪化させないことが臨床試験で立証されているのはアミオダロンのみである⁶⁾。

1-2-3 心室性不整脈

(1) 頻度と影響

心室性不整脈は末期重症心不全患者に高頻度に合併し、VAD 患者では 22～59%に認めるとされている⁷⁾。もともとの病態に加え、定常流式 VAD では、血液ポンプによる脱血が強すぎたり（とくに軸流ポンプで起きやすい）、患者が脱水状態だったりすると、左室内腔が小さくなりすぎて sucking を起こし、脱血管が左室心筋に接触してこれが VT の原因となることが知られている⁸⁾。

前述のごとく、現在臨床使用されている定常流式 VAD では、心室性不整脈が起こっても、直ちに患者が低心拍出量症候群に陥るとは限らない。図 1 に示すのは、定常流式 VAD を装着した外来患者が、「数時間持続する動悸」を主訴に外来受診した際の 12 誘導心電図である。心拍数 197 回 / 分の VT であり、VAD を装着していない患者であれば著しい心不全を呈する、あるいは意識を失うであろう不整脈にもかかわらず、意識は清明であり、動悸以外の症状は認めなかった。VAD のモニタ上、補助流量の低下は認めなかった。

一方で、図 2 に示す症例は、VAD の外来患者が、「昨夜から持続する全身倦怠感」を主訴に来院した際の心電図である。VF であり、通常は直ちに蘇生を行わなければ数分で不可逆的な脳障害を来す病態である。詳細に問診をすると、少なくとも 12 時間以上前からこの状態であったと判断された。VAD のモニタ上、補助流量の低下を認めたが、アラームが鳴る水準ではなかった。経過中、一度も意識の消失は認めなかったが、来院時には右心不全症状を呈しており、軽度の肝・腎機能の悪化を認めた。

(2) 治療

心室性の不整脈により、VAD 患者が突然死する可能性は高くないが、心室性の不整脈が持続すると、患者に症状が出現したり右心不全を引き起こしたりする可能性がある。また、持続性の VT が血栓塞栓症を引き起こすこともある⁹⁾。

心室性不整脈を発症した場合、12 誘導心電図、電解質の検査に加え、患者の volume status を確認することは重要である。VAD の記録で、suction event が起きていないか、心エコー図検査で左室が虚脱していないか、脱血管の先端が心筋と接触していないか等を確認し、患者が脱水傾向かどうかを判断する。12 誘導心電図は VT の exit site を特定するのに役立つ。心室中隔であれば、suction event であることが疑われるし、心尖部であれば

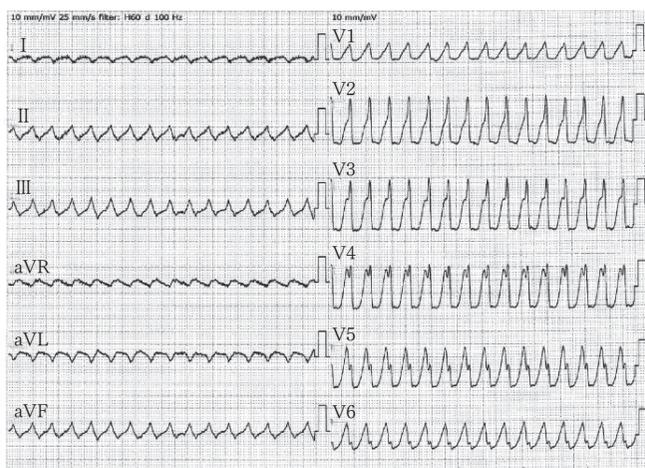


図1 「数時間持続する動悸」を主訴に外来受診した患者の12誘導心電図

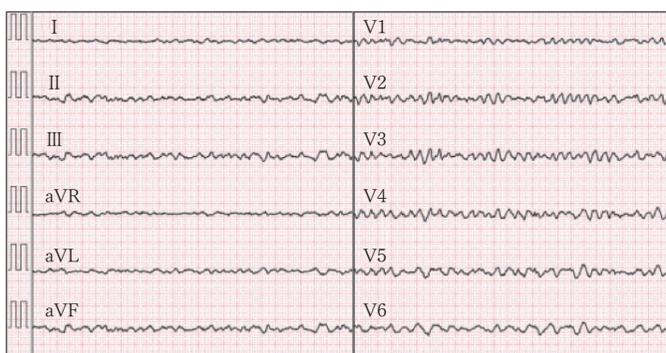


図2 「昨夜から持続する全身倦怠感」を主訴に来院した患者の12誘導心電図

脱血管の挿入部におけるリエントリーが疑われる。

VAD 装着の急性期においては、強心薬の減量・中止と β 遮断薬の開始が重要である。 β 遮断薬の不使用が心室性不整脈の発生と関係することが指摘されている¹⁰⁾。Suction event が疑われるときは、脱水の補正や人工心臓の回転数を下げる必要がある。電解質は、 $K > 4.0$ 、 $Mg > 2.0$ を目標とする。薬物療法は、VAD 患者において心室性不整脈の停止には無効な場合も多いが、発症予防には有効であり、経口のアミオダロンも推奨される¹¹⁾。心室性不整脈が血行動態に影響している場合や患者の症状がある場合、また上記の治療によっても持続する場合には心内血栓の除外を行ったうえで電気的除細動を行う。

心室性不整脈が血行動態に大きな影響を与えていない場合にはリスクとベネフィットを十分に検討する必要があるが、薬物療法が無効な場合には、カテーテルアブレーションの適応になる¹²⁾。通常のアブレーションと比較すると、VAD 患者においては、左室内腔が小さくなっていたり、VAD のデバイスによりマッピングが難しかったり、特発性心筋症患者では心外膜起源であることが多い等の問題があるほか、アブレーション後の再発率も高い¹²⁾。

心室性不整脈が何をしてもコントロール不能で、血行動態の破綻を来す場合には、右室

補助人工心臓（right ventricle assist device：RVAD）の装着が必要になる。

1-2-4 ICD

心筋症患者の1次・2次予防に、ガイドライン上ではICDが推奨されているため¹³⁾、VAD患者ではすでにICDが装着されている場合が多い。VAD患者においては、心室性不整脈の発生時にも血行動態はある程度維持されることが多く、心室性不整脈の存在下にも患者の意識は清明であることが多いため、ICDの作動による電気ショックは、患者の生活の質（quality of life：QOL）を著しく損なうことがある。そのため、ICDの設定をどうするかについては、施設間で異なることが多い。

2013年の国際心肺移植学会（International Society for Heart and Lung Transplantation：ISHTL）の機械的循環補助ガイドラインでは、ICD装着患者ではICDの機能をonにし、VAD装着前の患者ではICDを装着することを推奨している¹⁴⁾。しかし、これまでの研究でICDがVAD患者に有効という結果を報告しているものは拍動流式VADの時代に多く^{15),16)}、定常流式VAD装着患者においては心室性不整脈が死因になることは少なく、ICDの有無が生命予後には関係ないとする報告が多い^{17),18)}。[斎藤俊輔]

1-3 PMやCRT-Dを用いたモニタリング

洞不全症候群や完全房室ブロックをはじめとする徐脈性の不整脈に対しPMが植え込まれ、致命的な不整脈であるVT・VFに対してはICDが植え込まれる。さらにCRTは心不全や拡張障害がある病態に有効であるとされ、低心機能（low ejection fraction：low EF）や左室内非同期（dyssynchrony）が認められる病態で植え込まれる。しかしながら、CRT植込みのうち20～50%は再同期療法無効症例（non-responder）群（表1）¹⁹⁾に分けられ、重症心不全として扱われる。

実際に、VAD患者の約6割にICD・CRT等の何らかのデバイスが植え込まれている²⁰⁾。

そして昨今PM、両室ペーシング機能付き植込型除細動器（cardiac resynchronization therapy defibrillator：CRT-D）等のデバイスには単に脈拍を維持するだけでなく、様々なモニタリング機能が付加されている。

本項ではこのようなモニタリング機能について概説を行っていく。

1-3-1 不整脈イベントモニタ機能

PMやCRT-Dでは上室性、心室性ともに不整脈のイベントを記録することができる。VAD患者では不整脈が起きていても血行動態の大きな破綻がないことや症状がない場合があり、早期の検出は難しい。しかしこのような状態でもデバイスに不整脈が記録されており、不整脈の発生頻度や持続時間を確認することができる。図3ではAFが捉えられている症

表1 再同期療法無効症例 (non-responder) の頻度

著者	報告年	Responder の定義	Non-responder の頻度(%)
Auricchio A	2002	↑ Pulse pressure > 5%	12 / 39 (31%)
Alonso C	1999	Survivor, ↓ NYHA > 10% VO ₂ max	7 / 26 (27%)
Ansalone G	2001	NYHA, 6MWD, ET, EF	11 / 21 (52%) (by TDI)
Reuter S	2002	↓ NYHA & ↑ QOL	18 / 102 (18%)
Kim WY	2001	> 20% 6MWD	20%
Vogt J	2000	> 20% VO ₂ max	40%
Abraham WT	2002	Clinical composite response	75 / 228 (33%)
Kerwin WF	2000	Any ↓ in inter-V asynchrony	5 / 13 (38%)
Stellbrink	2001	LVVs(∠LVVs < 15%)	9 / 25 (36%)
Yu CM	2002	LVVs(∠LVVs < 15%)	13 / 30 (43%)

EF = 左室駆出率, ET = 駆出時間, inter-V = 心室内, LVVs = 左室収縮期容積, 6MWD = 6 分間歩行距離, TDI = 組織ドプラ法, Ts = 駆出期の局所心筋最大速度までの時間, VO₂max = 最高酸素摂取量

(冨田 浩. 心臓再同期療法の適応: 効果決定因子とレスポンスの見極め. Ther Res 2007; 28: 109-18 より引用)

例で、その後抗不整脈薬等を使用することで AF の発生頻度や持続時間が減少していることが確認できる。このように薬物効果等も継続して評価を行うことが可能である。

図4では VT・VF が捉えられている症例である。VAD 患者では心室性不整脈が起きてもすぐに血行動態が破綻することは少なく、覚醒下で除細動機能が作動し苦痛を生じさせてしまうため、治療を無効にしている状況が多い。このように治療を無効にしている場合、機種(メーカー)によっては不整脈の検出さえもできないものもある。提示症例は不整脈の検出は可能であるが、治療機能は無効にしているため、来院し鎮静後に体外式で除細動を行い停止させた。体内に植え込まれている除細動器でも停止させることは可能であるが、その際には電池残量等を考慮する必要がある。放出するエネルギー量にもよるが、1回の除細動で14～28日分の電池を消耗する。

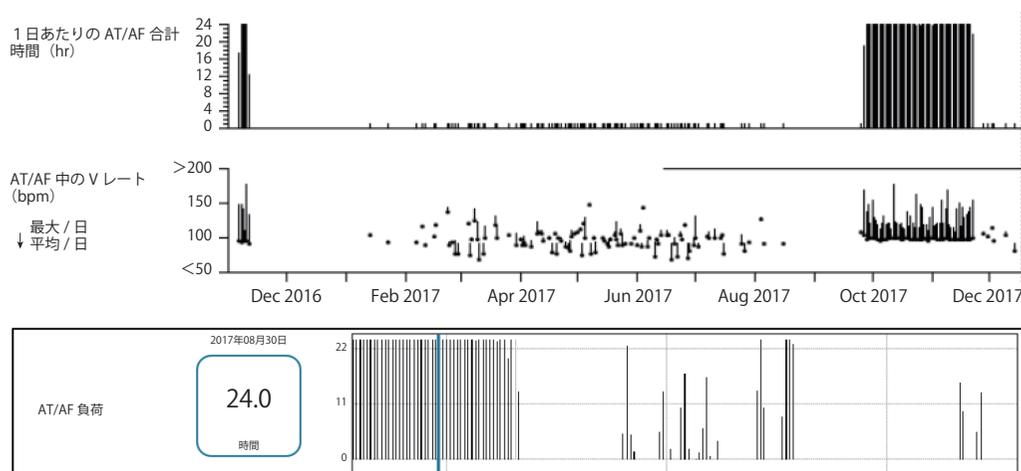


図3 不整脈イベントモニタ

2016年12月21日08:56	心室細動203min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月21日08:55	心室頻拍160min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月20日00:05	心室頻拍186min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月20日00:05	NonSustV151min ¹ @, Non Sustained
2016年12月19日22:56	心室頻拍163min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日22:56	心室頻拍153min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日22:55	心室頻拍155min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日22:49	心室頻拍153min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日22:49	心室頻拍153min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日22:47	心室頻拍155min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日21:54	心室頻拍152min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日21:54	心室頻拍151min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:36	心室細動242min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:33	心室細動247min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:31	心室細動242min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:31	心室細動243min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:26	心室細動248min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:22	心室細動248min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:21	心室細動248min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:19	心室細動236min ¹ @, 治療が行われていません
2016年12月19日13:18	心室細動243min ¹ @, 治療が行われていません

図4 不整脈イベントログ

1-3-2 その他のモニタ機能

(1) 心不全モニタ（胸郭インピーダンス等）として

心不全の早期検出は心不全管理において非常に重要であるが、VAD患者でも同様である。心不全の早期検出に体重測定や臨床症状のモニタリングはガイドラインでも推奨されており²¹⁾ 通常管理として行われている。その他脳性ナトリウム利尿ペプチド（brain natriuretic peptide：BNP）の推移を観察することも有効であるとされるが、VAD植え込み後に生じる心不全は右心不全によるものの発生頻度が高く²²⁾、右心不全の影響や腎機能の低下等、BNPが恒常的に高値を示している症例も散見する。

そこで注目されるのが胸郭インピーダンス等の心不全モニタである。胸郭インピーダンスとはPMやCRT-D等の本体と植え込まれているリード（主に右心室）の間に微弱な電流を流し、抵抗値（組織間インピーダンス）を示し、数値やグラフで表示される。実際には体液量の上昇や肺水腫の際に胸郭インピーダンスが低下することが証明されており²³⁾、自施設例においても同様の波形が確認されている（図5）。

この症例では胸郭インピーダンスの数値が急激に下がっており、この時に体重増加や肺うっ血を認め心不全管理入院となった。心不全症状の緩和と共に胸郭インピーダンスの数値も上昇を認めている。

このような変化をもたらす胸郭インピーダンスの感度は自施設例においては、約60%であり十分に活用できると考える。

(2) アクティビティ（活動度合い）モニタとして

PMやCRT-Dでは脈拍が上昇しないような病態（洞機能不全症候群等）に対し、レートレスポンス機能が搭載されている。レートレスポンス機能とは本体にセンサが内蔵されており、本体が受ける加速度や分時換気量を元に自動的に脈拍を上昇させる機能のことである。この機能を活用し、患者がどの程度活動しているか（アクティビティ）を確認することもできる。

図6の症例でも急激に活動度合いが落ちている期間（矢印部分）を認めている。とくに在宅で管理されている患者に対しては、直接聴取しなくても活動度合いのおおよそが把握で

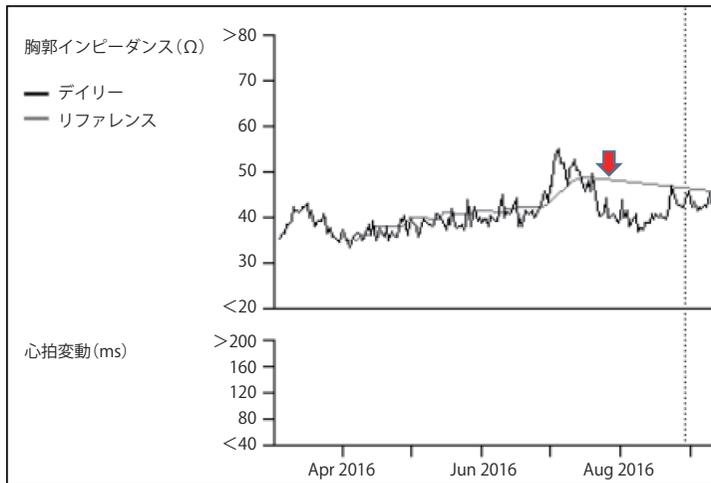


図5 心不全モニタ

胸郭インピーダンスの変化と心不全が一致した例。矢印の部分で下がっていることが確認できる

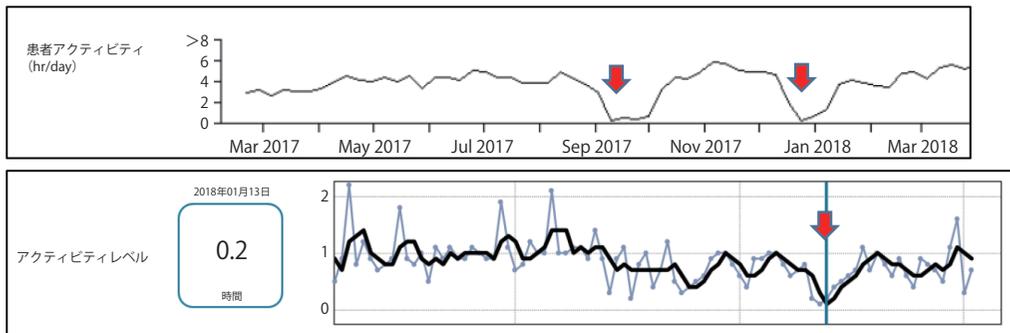


図6 アクティビティモニタ

矢印の部分でアクティビティが下がっているのが確認できる

きるため、後述する遠隔モニタリングと併用することで、在宅中のより詳細な管理に役立てることができる。

1-3-3 遠隔モニタリング

わが国においては2009年より導入され、ICDやCRT-D等を中心に広く用いられている。遠隔モニタリングで得られる情報には設定の他、先述した不整脈イベント、心不全モニタ、アクティビティモニタ等についても確認することができる(図7)。

この遠隔モニタリングは定期的にデータ送信する以外に、アラート機能による臨時送信機能もある。不整脈のイベントや心不全モニタに対してもアラート機能を活用することで早期に対処することが可能である。

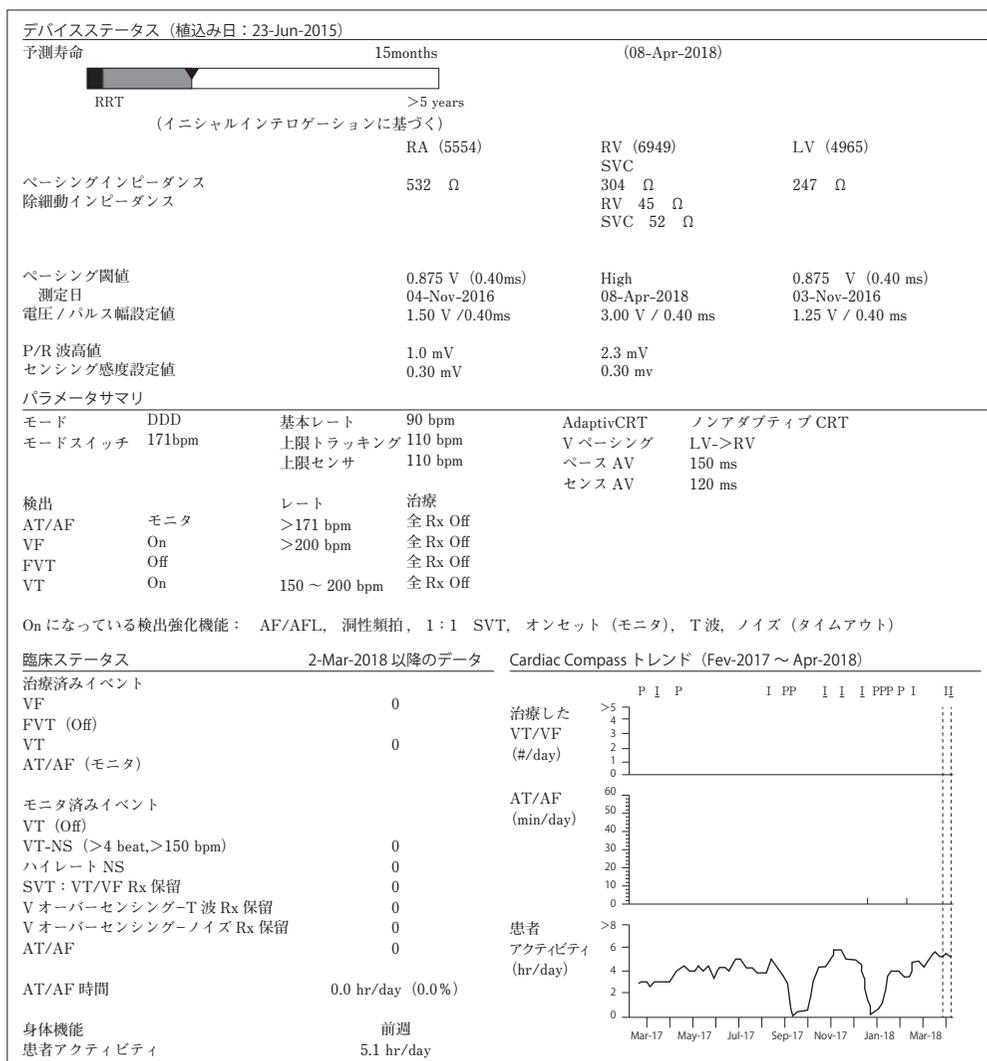


図 7 遠隔モニタリングで得られたデータ

1-3-4 在宅医療における有用性

VAD 患者に対し, PM や CRT-D に付加されているモニタリング機能は非常に有用であると思われる. とくに在宅においては, 遠隔モニタリングの効果は活動度合いも確認できるため, 管理する医療者だけでなく患者本人・介護者にも安心を与えることができるデバイスであると考えられる. [村澤孝秀]

文献

- 1) Nishimura M, Ogiwara M, Ishikawa M, et al. Fifteen-month circulatory support for sustained ventricular fibrillation by left ventricular assist device. J Thorac Cardiovasc Surg 2003; 236: 1190-2.
- 2) Enriquez AD, Calenda B, Gandhi PU, et al. Clinical impact of atrial fibrillation in patients with the HeartMate II left ventricular assist device. J Am Coll Cardiol 2014; 64: 1883-90.