症例報告

運動療法の実施時期の違いが運動中の筋酸素飽和度に与える影響：症例検討による非透析日と透析後の比較 *

村上佳菜 [1)]・矢部広樹 [2)]・清田明保 [1)]・伊藤沙夜香 [1)]・森山善文 [3)]
日比野貴志 [4)]・櫻井ひとみ [5)]・春日弘毅 [6)]

【要　旨】

【目的】本症例検討の目的は，高齢の血液透析患者に対して同一負荷の運動を非透析日と透析後に実施し，筋酸素飽和度の違いを比較することである．【症例】当院入院中の 60 歳代女性で血液透析歴は 18 年であった．【方法】退院前の非透析日と透析後に同一の運動を実施した．運動は，5 分安静にした後，20 分間のアシスト付きエルゴメータを実施し，その際に筋酸素モニタにて筋酸素飽和度，総ヘモグロビン，脈拍数，血圧，自覚的疲労度を測定した．【結果】透析後は運動開始 10 分後に中断となった．透析後は非透析日と比較して，安静時・運動時ともに筋酸素飽和度と総ヘモグロビンが低値で推移していた．【考察】透析後の筋酸素飽和度の低値は，非透析日よりも骨格筋への負荷が相対的に大きいことを示す結果である．透析での除水により活動筋への血流供給が乏しくなった結果，酸素供給が低下し，同一運動負荷での筋酸素飽和度が低下していた可能性がある．

キーワード：血液透析，筋酸素飽和度，運動処方

はじめに

近年，外来血液透析患者に対するリハビリテーションの効果が多く検討されており，外来透析中に運動療法を実施することで，筋力や体力が向上することが報告されている [1)]．一方，現状では理学療法士が介入する透析患者の多くは，原疾患の増悪や新たな疾患の発症により入院した患者である．先行研究において，入院血液透析患者は，筋力や体力等の身体機能が低く，リハビリテーションの介入効果が小さいと報告されている [2) 3)]．さらに，日本理学療法士協会の調査によれば，透析患者に対して毎日リハビリテーションを実施する施設は 44.7% と半数に満たず，透析日にはリハビリテーション介入をしない施設が多いのが現状である [4)]．一方，入院加療している透析患者に対しては，非透析日に加えて透析日もリハビリテーション介入をすることで，機能的自立度評価法（Functional Independence Measure：以下，FIM）効

＊ A case study on the effect of exercise therapy concerning muscle oxygen saturation: comparison between hemodialysis day and non-hemodialysis day

1）医療法人偕行会　名古屋共立病院
リハビリテーション課
（〒 454-0933　愛知県名古屋市中川区法華 1 丁目 172）
Yoshina Murakami, PT, Akiho Kiyota, PT, Sayaka Ito, PT: Department of Rehabilitation, Nagoya Kyoritsu Hospital

2）聖隷クリストファー大学　リハビリテーション学部
理学療法学科
Hiroki Yabe, PT, PhD: Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation Sciences, Seirei Christopher University

3）医療法人偕行会　名古屋共立病院　ウェルネスセンター
Yoshifumi Moriyama, HFP: Department Wellness Center, Nagoya Kyoritsu Hospital

4）医療法人偕行会　偕行会城西病院　技術部リハビリ課
Takashi Hibino, PT: Department of Rehabilitation, Jyousai Hospital

5）医療法人偕行会　名古屋共立病院　透析室
Hitomi Sakurai, Ns: Department of Nurse, Nagoya Kyoritsu Hospital

6）医療法人偕行会　名古屋共立病院　腎臓内科
Hirotake Kasuga, MD: Department of Nephrology, Nagoya Kyoritsu Hospital

＃ E-mail: yoshina.0811@gmail.com

率（FIM 利得［退院時 FIM 得点－入院時 FIM 得点］÷ 入院日数）が改善することが示されている[5]ため，入院血液透析患者に対するリハビリテーションでは，非透析日に加えて透析日も積極的に介入する必要があると考えられる．

透析日のリハビリテーション介入は，透析前，透析中，透析後に介入する可能性があるが，日本理学療法士協会の調査によれば，透析日のリハビリテーションは約 80% が透析後に介入されている[4]．透析治療による除水は，透析後の運動時の循環動態を変化させる可能性がある．また，透析後の疲労感は，多くの患者が経験する問題であり，リハビリテーションの実施の障害になることが多い．しかしながら，透析後に実施する運動時の循環動態はほとんど検討されておらず，透析後に実施する運動療法の効果的な方法やリスク管理の方法については，明らかにされていない．

近赤外線分光法（Near Infrared Spectroscopy：以下，NIRS）は，近赤外線波長域（0.7 ～ 2.5 μm）における光の吸収および発光に基づく分光計測法で，総ヘモグロビンと筋酸素飽和度を非侵襲的に測定できる方法である．筋酸素飽和度は総ヘモグロビンに対する酸素化ヘモグロビンの割合であり，運動による組織の酸素消費を反映する指標となる．透析患者における運動中の循環動態も，NIRS によって検討することで，非透析日や透析後の組織の酸素動態を明らかにできると考えられる．

本症例検討の目的は，同一負荷の運動を非透析日と透析後に実施した際の循環動態について，特に血圧，脈拍数に加えて NIRS による総ヘモグロビンと筋酸素飽和度の変化を測定することであり，運動療法の方法やリスク管理について，末梢組織の酸素動態から言及することである．

症例紹介

症例は 60 歳代女性で，腎硬化症による末期腎不全から 18 年前に血液透析を導入した症例である．入院前は独居で日常生活動作はすべて自立しており，独歩も可能であった．既往歴は，高血圧症，右変形性膝関節症であり，糖尿病の診断はない．

現病歴

約 1 か月前から左足関節の痛みを自覚し，自宅での生活を続けていたが，左足関節を捻り疼痛増悪により 1 人での生活が困難となったため近医を受診した．近医にて左踵骨剥離骨折・アキレス腱部分断裂の診断を受けた．医師より骨折の状態から保存療法としてギプス固定で 3 週間の完全免荷指示を受け，免荷での自宅生活が困難なため，受傷 8 日後に当院の地域包括病棟に入院となった．免荷期間中はほとんど車椅子で生活していた．

検査所見

入院時の検査所見は，アルブミン 3.4 g/dl，尿素窒素 80.2 mg/dl，クレアチニン 8.17 mg/dl，ナトリウム 136 mEq/l，ヘモグロビン 12.0 g/dl，赤血球 375 × 104 μl であった．

入院後の経過とリハビリテーションの実施状況

リハビリテーションは，入院翌日から日曜日を除く毎日，透析日は透析後に介入した．リハビリテーションの内容は，主に左足関節を除く下肢や体幹を中心とした筋力トレーニングや関節可動域運動などの機能練習，免荷期間の移乗や起立練習、車椅子の自操練習を中心とした基本動作練習，自転車エルゴメータを用いた有酸素運動，治療プロトコルに従い下肢への荷重練習を行った．

21 病日にギプスカットを行い，28 病日から 1/2 荷重を開始する予定であったが，荷重制限を守ることができず平行棒内起立練習から荷重練習を開始した．48 病日から 2/3 荷重開始となり，積極的に平行棒内での歩行練習を実施した．56 病日目から全荷重開始となり，T 字杖を使用した歩行練習を開始した．

入院時の ADL は，歩行補助具での免荷歩行が困難なため，車椅子監視レベルであった．入院時からギプス固定により足関節は固定した状態であったため，下肢筋力低下，足関節可動域制限が生じていたが，退院時には杖歩行自立レベルで退院となり，下肢筋力向上，足関節可動域の改善を認めた．

非透析日と透析後における運動時の筋酸素飽和度の測定

1．方法

測定は，全荷重開始後の連続した 2 日間（非透析日 56 病日目，透析日 57 病日目）に実施した．透析日は，第 2 透析日（透析治療の間隔が 1 日の日）である．運動プロトコルは，10 分間の安静と 20 分間のアシスト付エルゴメータ（負荷量 0 W・回転数 28 rpm）とした．透析後と非透析日に同様の運動プロトコルを背臥位で実施した．透析後の運動は，透析終了後から 3 時間の間隔をあけて行うものとし，非透析日は透析日と同一時間帯に実施した．

測定項目は，筋酸素飽和度，総ヘモグロビン，収縮期血圧，脈拍数，Borg 指数による自覚的疲労

図 1. アシスト付きエルゴメータ

図 2. 筋酸素モニタ

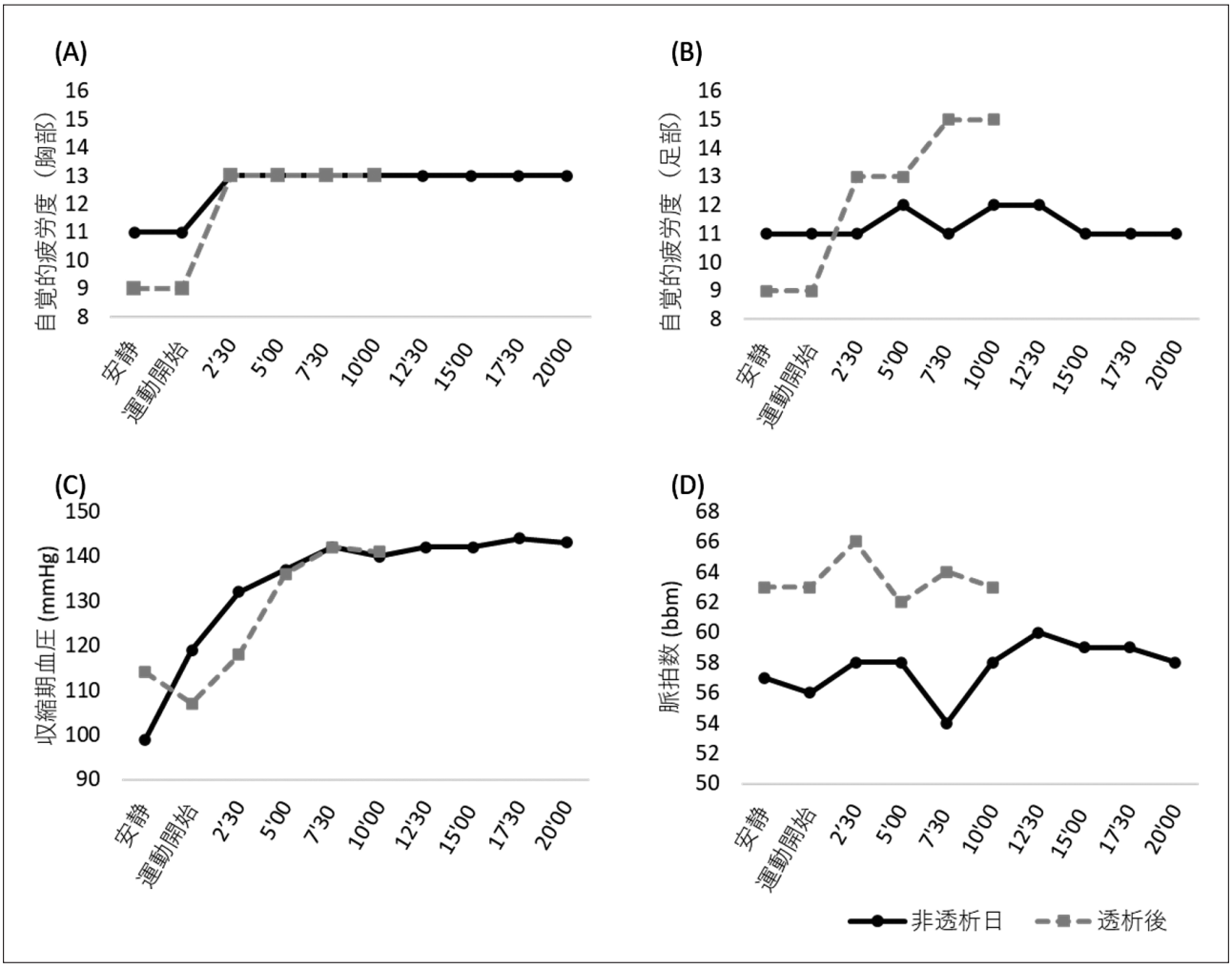

図 3. 非透析日と透析後の自覚的疲労度と収縮期血圧と脈拍数の比較

度（胸部と下肢）とし，筋酸素飽和度，総ヘモグロビン以外の項目は安静時と運動中 150 秒毎に測定した．筋酸素飽和度，総ヘモグロビンは筋酸素モニタ（index 有限会社，MOXY monitor）を右外側広筋に装着して実施した[6]．安静時と運動中の 30 分間，連続的に計測し，安静 10 分間と，運動中 150 秒毎に平均して解析した．

2．結果

透析後の測定を行った日（57 病日目）の透析状況は，中 1 日の体重増加率が 4.5%，除水量 1.7 L であり，透析中の平均収縮期血圧は 118.8 ± 8.5 mmHg，透析関連低血圧や除水の停止等，特に問題なく透析治療が実施された．

運動開始前の安静時の胸部の自覚的疲労度は，

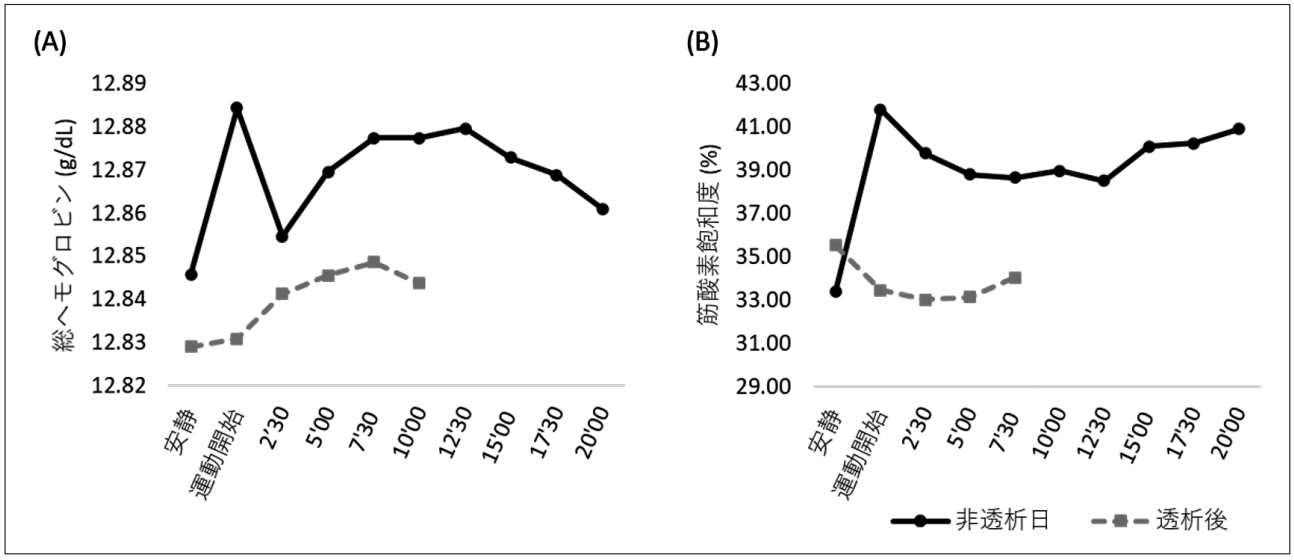

図 4. 非透析日と透析後の総ヘモグロビンと筋酸素飽和度の比較

非透析日は 11，透析後は 9 であった．運動中は，非透析日は 11–13，透析後は 9–13 と変わらず推移した（図 3A）．下肢の自覚的疲労度は，運動開始前の安静時は，非透析日は 11，透析後は 9 であった．運動中は，非透析日は 11–12 で推移したが，透析後は運動開始 10 分後に 15（きつい）に到達したため，運動継続が困難となり，プロトコルの途中で中断となった（図 3B）．運動開始前の安静時の平均収縮期血圧は，非透析日は 107.0 ± 8.0 mmHg，透析後は 110.5 ± 3.5 mmHg，運動時においては，非透析日は 137.9 ± 7.5 mmHg，透析後は 135.6 ± 9.1 mmHg と変わりなく経過した（図 3C）．平均脈拍数は，非透析日の安静時は 60.0 ± 4.0 bpm，運動時は 57.8 ± 1.7 bpm，透析後の安静時は 63.5 ± 0.5 bpm，運動時は 63.6 ± 1.4 bpm と，透析後のほうが高値で推移していた（図 3D）．

図 2 に NIRS の結果を示す．透析後は非透析日と比較して，安静時・運動時ともに筋酸素飽和度と総ヘモグロビンが低値で推移していた．

考察

本症例検討の結果より，非透析日と透析後に同一の運動負荷を実施した場合，透析後は下肢の総ヘモグロビンと筋酸素飽和度が低く，下肢の疲労にて運動継続が困難であった．総ヘモグロビンは下肢への血流量を，筋酸素飽和度は末梢組織の酸素化の状態を表すため，本症例においては透析後に末梢組織への血流が乏しく，酸素化が低いため，下肢疲労にて運動継続が困難であった可能性がある．

前述したように，血液透析患者における疲労感は，多くの患者が経験する問題である．先行研究によれば，血液透析患者における疲労感は，血液透析患者の 81.5% が経験し，血液透析患者の中で最も頻繁に発生する訴えの一つであり [7]，健康関連 QOL の低下 [8]，死亡率の増加 [9] と関連することが報告されている．また透析後の全身倦怠感をはじめとした疲労感は「血液透析患者の頻繁な苦情であり，透析後すぐに睡眠を必要とする状態のこと」と定義されており [10]，51–86% の患者で認められると報告されている [11]．透析患者の疲労感は，血液透析療法という血液の体外循環による非生理的ストレスでエネルギー消費を伴い起こるものである．そのため患者は慢性的に疲労感を感じていることが多い．疲労感は，特定の部位ではなく．全身的に生じるものであり，発生時期に関しては，安静時より生じ，さらに透析後や運動時に疲労感が追加される．本症例は身体機能が低く，特に透析後は倦怠感により通常の運動療法が困難であったため，本症例でも実施が可能な低強度の運動として，アシスト付きエルゴメータ運動を採用した．しかしながら、透析後の状態では，低負荷のアシスト付きエルゴメータにおいても，20 分間の実施が困難であった．一方，先行研究では，血液透析患者は非透析患者と比較して ADL の改善が乏しく [12]，非透析日に加えて透析日の介入を増やすことで，FIM 効率が有意に改善し在院日数も短くなること [2]，さらに入院患者の ADL 改善は生命予後の改善と関連すること [12] が報告されている．本邦では透析日のリハビリテーションは約 80% が透析後に介入されている [4] という状況も鑑みると，入院透析患者に対するリハビリテーショ

ンは，倦怠感が存在する透析後に実施するため，透析後の介入方法について検討する必要がある．

本症例検討の結果，透析後に実施する運動中の血圧は，非透析日と同様に推移していた．一方で，脈拍数は透析後の方が高く推移していた．先行研究より，透析による除水は透析中の 1 回拍出量を低下させること[13]，透析後は安静時・運動後共に心筋の収縮能が低下していること[14]が報告されている．血圧は心拍出量と末梢血管抵抗の積から算出され，心拍出量は 1 回拍出量と脈拍数の積で求められる．つまり本症例検討で得られた収縮期血圧や脈拍数の結果は，透析の除水による循環血液量の低下を脈拍数の増加で代償し，心拍出量を維持していた結果であると考えられる．また透析後は収縮期血圧が非透析日と同水準に維持されていたことから，運動時に末梢血管抵抗を上昇させて血圧を維持している可能性がある[15]．運動時には活動筋の酸素需要に応えるため，循環系は心拍出量を増大させ，血流の再配分を行う．運動中には交感神経活動の亢進によって，身体の各器官の細動脈の血管が収縮する[16]．先行研究においても、中等度の運動負荷までは副交感神経が減衰し[17]，交感神経は亢進し続ける。また副交感神経が消失した時点が嫌気性代謝閾値（Anaerobic Threshold）と強く相関すると言われている[18][19]．運動に伴う交感神経の活性は，アドレナリンの作用によって細動脈の血管収縮が起こり，結果として末梢血管抵抗が増加する．本症例においても，運動による交感神経の活性が，細動脈の収縮と末梢血管抵抗の増加を導き，結果として血流量が低下していたと考えられる．

本症例検討では，NIRS を用いて透析後に行う運動中の下肢の循環動態を測定し，透析後は筋酸素飽和度と総ヘモグロビンが低いことを示した．NIRS は，細動脈・毛細血管・細静脈レベルでの局所骨格筋における酸素消費と酸素供給のバランスを非侵襲的に測定することが可能な方法であり，総ヘモグロビン濃度は酸素化ヘモグロビン濃度（以下，HbO2）と脱酸素化ヘモグロビン濃度の和である．筋酸素飽和度は総ヘモグロビンに対する HbO2 の割合であり，酸素消費量と酸素供給量のバランスに影響される[20]．運動負荷試験中の NIRS について検討した研究では，乳酸閾値付近では，筋肉の酸素化は急激に低下し，特に心不全患者では，筋の脱酸素化の速度が速いことが報告されている[21]．慢性腎臓病でも同様に，漸増シャトルウォーキングテスト中の NIRS に関する研究において，運動量が増加している間は筋酸素飽和度が低下することが示されている[22]．さらに，運動能力の高い患者と比較して，運動能力の低い患者では，最小の筋酸素飽和度に到達するまでの時間が早いことが示されている[23]．以上の研究より，運動負荷の増加に伴って総ヘモグロビンや筋酸素飽和度は低下し，低体力の患者ほど低下が早いことから，本症例における透析後の筋酸素飽和度の低値は，非透析日よりも骨格筋への負荷が相対的に大きいことを示す結果であると考えられる．これは，透析後にハンドグリップ中の骨格筋の循環動態を NIRS で測定した研究[23]で示されている，透析後は末梢への reffiling・細胞外液量の回復が不十分であるという結果を支持するものであり，循環血液量の低下と末梢血管抵抗の上昇により，活動筋への血流供給が乏しくなった結果，酸素供給が低下し，同一運動負荷での総ヘモグロビンや筋酸素飽和度が低下していた可能性がある．

透析後にリハビリテーションをする際には，活動筋への血流の供給と，組織の酸素化が低いことを踏まえて，運動療法を提供する必要があると考えられる．特に，非透析日と同等の機械的な負荷量で運動処方を行うと，透析後は負荷量が大きくなる可能性があるため，透析後に下肢の疲労感が強い症例に対しては，運動負荷を下げ，休憩を多めに取る等の対応が必要であると考えられる．また，閉塞性動脈硬化症など，下肢への血流が乏しい疾患に対しては，特に注意が必要であると考えられる．

本症例検討には，いくつかの注意点が存在する．はじめに，本症例は糖尿病の既往はないが，糖尿病や高血圧，閉塞性動脈硬化症の状況等によって，末梢循環の状態が変化する可能性がある．また連続 2 日間の状況を評価しているが，透析の除水の状況は毎日の水分摂取量で変化するものであり，特に週 3 回透析を実施している患者では，週の第 1 透析日（透析治療の間隔が 2 日空く日，月曜か火曜日）と，第 2 透析日で除水の状況が変わるため，週の第 1 透析日か，第 2 透析日かで透析後の反応が異なる可能性がある．昇圧薬や降圧薬の状況も考慮しなければならない．今後症例を重ねて，上記の影響について検討する必要がある．

結語

同一負荷の運動を異なる時期で実施した際の筋酸素飽和度に関して，60 歳代女性の透析症例から検討した．透析後は非透析日と比較し，筋酸素飽和度が低下した．加えて，脈拍数が高いことから，筋酸素血流量が低下しており，一回拍出量の

低下と，骨格筋への血流低下を脈拍数にて代償している可能性が示された．今後は症例数を増やし，適切な運動方法を検討する必要がある．

【文　献】

1) Matsuzawa R, Hoshi K, et al.: Exercise training in elderly people undergoing hemodialysis : a systematic review and meta-analysis. Kidney Int Rep. 2017; 2: 1096-1110.
2) Forrest G, Nagao M, et al.: Inpatient rehabilitation of patients requiring hemodialysis: improving efficiency of care. Arch Phys Med Rehabil. 2005; 86: 1949-1952.
3) 河野健一：シリーズ「糖尿病重症化予防と理学療法」透析療法期における理学療法．理学療法学．2019; 46 (4) : 283-288.
4) 公益社団法人日本理学療法士協会：糖尿病足病変・糖尿病腎症患者に対するリハビリテーションの実態調査報告書．http://www.japanpt.or.jp/upload/japanpt/obj/files/chosa/tounyou_houkokusyo_2016.pdf (2020年2月24日引用)
5) Farragher J, Einbinder Y, et al.: Importance of early inpatient geriatric rehabilitation on outcomes in individuals on dialysis. Arch Phys Med Rehabil. 2020; 101 (2) : 227-233.
6) 山本裕晃，中村朋博・他：近赤外分光法 (NIRS) による運動負荷後の筋内酸素動態―利き足と非利き足の違いによる検討―．理学療法科学．2016; 31 (5) : 651-654.
7) Caplin B, Kumar S, et al.: Patients' perspective of haemodialysis-associated symptoms. Nephrol Dial Transplant. 2011; 26: 2656-2663.
8) Davison S, Jhangri G, et al.: Impact of pain and symptom burden on the health-related quality of life of hemodialysis patients. J Pain Symptom Manage. 2010; 39 (3) : 477-485.
9) Bossola M, Di Stasio E, et al.: Fatigue is associated with increased risk of mortality in patients on chronic hemodialysis. Nephron. 2015; 130: 113-118.
10) Sklar AH, Riesenberg LA, et al.: Postdialysis fatigue. Am J Kidney Dis. 1996; 28 (5) : 732-736.
11) Bossola M, Tazza L: Postdialysis fatigue: a frequent and debilitating symptom. Semin Dial. 2016; 29: 222-227.
12) 村上卓也，中村裕也・他：入院透析患者のADL 低下は生命予後予測因子である．日本透析医学会雑誌．2014; 47 (2) : 129-136.
13) 藤堂敦，吉岡正訓・他：身体組成分析装置および非侵襲的心拍出量モニタを用いた血液透析中の循環動態モニタリングの検討．日本透析医学会雑誌．2014; 47 (10) : 615-622.
14) Obokata M, Negishi K, et al.: Comparison of different interdialytic intervals among hemodialysis patients on their echocardiogram-based cardiovascular parameters. Am Heart J. 2015; 169: 523-530.
15) 増田明保，矢部広樹・他：運動療法の実施時期の違いが運動中の循環動態と自律神経反応に与える影響：症例検討による非透析日と透析後の比較．愛知県理学療法学会誌．2019: 31 (1) : 19-23.
16) 高橋真，関川清一・他：運動時の循環調節：基礎研究から臨床への展開．理学療法の臨床と研究．2017; 26: 23-30.
17) Yamamoto Y, Hughson RL, et al.: Autonomic nervous system responses to exercise in relation to ventilatory threshold. Chest. 1992; 101: 206S-210S.
18) Karapetian GK, Engels HJ, et al.: Use of heart rate variability to estimate LT and VT. Int J Sports Med. 2008; 29 (8) : 652-657.
19) Kasahara Y, Izawa K, et al.: Influence of autonomic nervous dysfunction characterizing effect of diabetes mellitus on heart rate response and exercise capacity in patients undergoing cardiac rehabilitation for acute myocardial infarction. Circ J. 2006; 70 (8) : 1017-1025.
20) 尾方寿好：近赤外分光法を用いた筋酸素化動態測定の意義．北海道大学大学院教育学研究院紀要．2016; 125: 79-90.
21) Belardinelli R, Georgiou D, et al.: Near infrared spectroscopy and changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise in chronic heart failure: a comparison with healthy subjects. G Ital Cardiol. 1995; 25 (6) : 715-724.
22) Wilkinson TJ, White AEM, et al.: Characterising skeletal muscle haemoglobin saturation during exercise using near-infrared spectroscopy in chronic kidney disease. Clin Exp Nephrol. 2019; 23 (1) : 32-42.
23) 荒井純子，市村志朗・他：近赤外線分光装置を用いた維持血液透析患者の骨格筋酸素消費量について：血液透析前後での比較．東京女子医科大学雑誌．2012; 82: 222-228.