

事例・症例報告

大腿四頭筋腱を用いた膝前十字靭帯再建術後のパラアルペンスキー選手に対する
競技復帰に向けた Total Conditioning Support Program による多分野連携
Total Conditioning Support Program for a Para-Alpine Ski Racer Following Anterior
Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autograft: A Case Report

笹代純平¹⁾, 大石益代¹⁾, 岡元翔吾¹⁾, 深見和矢¹⁾, 清水怜有¹⁾, 半谷美夏¹⁾,
石毛勇介¹⁾, 中嶋耕平¹⁾

Junpei Sasadai¹⁾, Masuyo Oishi¹⁾, Shogo Okamoto¹⁾, Kazuya Fukami¹⁾, Reia Shimizu¹⁾,
Mika Hangai¹⁾, Yusuke Ishige¹⁾, Kohei Nakajima¹⁾

Abstract : The Total Conditioning Support Program (TCSP) provides comprehensive medical/scientific support concurrently in multiple disciplines (rehabilitation, nutrition, psychology, high performance gym, and training gym) to athletes who need rehabilitation due to sports injury or illness. The goal is to accelerate the return to play and improve upon the pre-injury performance level. We provided support through the TCSP to a para-alpine ski racer following an anterior cruciate ligament reconstruction. A multi-disciplinary collaborative approach was followed to implement interventions to strengthen muscles in addition to those of the affected leg and improve the aerobic and anaerobic capacity using ergometers. As a result, the athlete was able to compete again after confirming the effectiveness of the training exercises. Thus, multi-disciplinary collaboration was able to resolve problems such as lack of expertise and time constraints that usually arise in a single rehabilitation approach.

Key words : Para sports, Alpine ski, Anterior cruciate ligament, Rehabilitation, Conditioning

キーワード：パラスポーツ、アルペンスキー、膝前十字靭帯、リハビリテーション、
コンディショニング

¹⁾国立スポーツ科学センター

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences

E-mail : jumpei.sasadai@jpnnsport.go.jp

受付日：2022年6月30日

受理日：2022年9月30日

I. はじめに

Total Conditioning Support Program (略称、トコンサポート：以下、TCSP) は、スポーツ外傷・障害あるいは何らかの疾病によってリハビリテーションが必要となったアスリートに対して、トレーニング環境や競技現場に復帰する過程で、国立スポーツ科学センター (Japan Institute of Sports Sciences：以下、JISS) 内の複数部署 (スポーツクリニック、アスリートリハビリテーション、トレーニング体育館、ハイパフォーマンス・ジム (High Performance Gym：以下、HPG)、スポーツ栄養グループ、スポーツ心理グループ) によって総合的な医・科学支援を実施することで、復帰までの期間短縮のみでなく、復帰後の競技力を受傷前のレベル以上に向上させることを目指すプログラムである¹⁴⁾。2019年度からJISSスポーツメディカルセンターのコンディショニング課を中心にTCSPを本格的に展開して以降、徐々に利用するアスリートが増えてきており、多くが無事に競技復帰を果たしプログラムを終了している。今後はTCSPがどのように効果的であったかを検証し、改善していく時期に来ている。パラアスリートにおいても、アスリートリハビリテーションの利用者増加に伴いTCSPの利用も増加傾向にある。

今回、大腿四頭筋腱を用いた膝前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament：以下、ACL) 再建術後に約8ヶ月間、JISSスポーツクリニックでのフォローアップやTCSPによる多分野のサポートにより、術後約9ヶ月より雪上練習に復帰し、約11ヶ月で競技会復帰を果たしたパラアルペンスキー選手の事例について報告し、TCSPの成果や今後の課題について考察する。

II. 症例紹介

症例は上肢障害 (先天性全左手指欠損) を有する女性パラアルペンスキー選手1名 (年齢：受傷時24歳) で、2021年1月X日に海外遠征中の雪上練習中に転倒・滑落し左膝内側側副靭帯とACLを損傷した。その後、現地にて2021年1月X日+2日目に同側の大腿四頭筋腱を用いた

ACL再建術を受けた。なお、現地での術前の画像検査や術中所見として半月板損傷や軟骨損傷に関する指摘はなかった。退院し帰国後の感染症対策のための隔離期間を終え、術後3週目となる2021年1月X日+24日目にJISSスポーツクリニックを受診し、リハビリテーションが処方された。2022年3月に行われる北京パラリンピック出場に向けて、TCSPでJISSトレーニング体育館のトレーニング指導員による患部外エクササイズ指導ならびにHPGでのバイクを用いたエネルギー代謝系トレーニング等、多分野による包括的なサポートを実施した。

なお本報告に際しては、JISSにおける倫理審査委員会の承認を得たうえで、症例には報告の趣旨、内容について十分な説明を行い書面にて同意を取得した (承認番号：2021-064)。

III. TCSPに関わる職種

JISSのスポーツメディカルセンターのコンディショニング課は、アスリートリハビリテーション、トレーニング体育館、HPG、スポーツ栄養グループ、スポーツ心理グループの5つの分野で構成されている。アスリートリハビリテーションでは理学療法士、柔道整復師、鍼灸師などの医療系資格に加え日本スポーツ協会公認アスレティックトレーナー、日本パラスポーツ協会公認障がい者スポーツトレーナーなどの専門資格を保有したスタッフがリハビリテーションを担当する。トレーニング体育館では、日本トレーニング指導者協会 (Japan Association of Training Instructors、以下JATI) や全米ストレングス&コンディショニング協会 (National Strength and Conditioning Association、以下NSCA) の認定資格の他、全米アスレティックトレーナーズ協会 (National Athletic Trainers' Association、以下NATA) の公認アスレティックトレーナー (Athletic Trainer, certified、以下ATC) 及び公益財団法人日本パラスポーツ協会の公認障がい者スポーツ指導者 (中級) の資格を持つトレーニング指導員がトレーニング指導を担当している。HPGでは、日本スポーツ協会

公認アスレティックトレーナーや NATA の ATC、理学療法士等の医療系資格、JATI 及び NSCA の認定資格など、幅広いバックグラウンドを有する者で構成され、スポーツ外傷・障害からの早期復帰ならびにパフォーマンス向上のためのアセスメントやリコンディショニングを含む代謝系トレーニング等を担当している。スポーツ栄養グループでは日本栄養士会と日本スポーツ協会の共同認定資格である公認スポーツ栄養士、もしくは管理栄養士の有資格者が栄養相談等を担当している。スポーツ心理グループでは日本スポーツ心理学会認定スポーツメンタルトレーニング指導士が心理サポートを行っている。

IV. サポート経過

TCSP 全体の進行については Table 1 のとおりである。各分野の詳細な経過を以下に示す。なお 2021 年は東京オリンピック・パラリンピックの開催に伴いハイパフォーマンススポーツセンター (High Performance Sport Center、以下 HPSC) が村外サポート拠点の一つとして活用されたため、冬季競技選手の利用は制限されることとなった (Table 1 ※ 1)。この期間中については、リハビリテーションはスポーツクリニック医師の紹介のもと自宅より通院可能な他院に、トレーニングはチームの手配した民間のフィットネスジムに引継ぐということで、このイレギュラーな事態に対応した。

1. アスリートリハビリテーションでの ACL 再建術後リハビリテーション

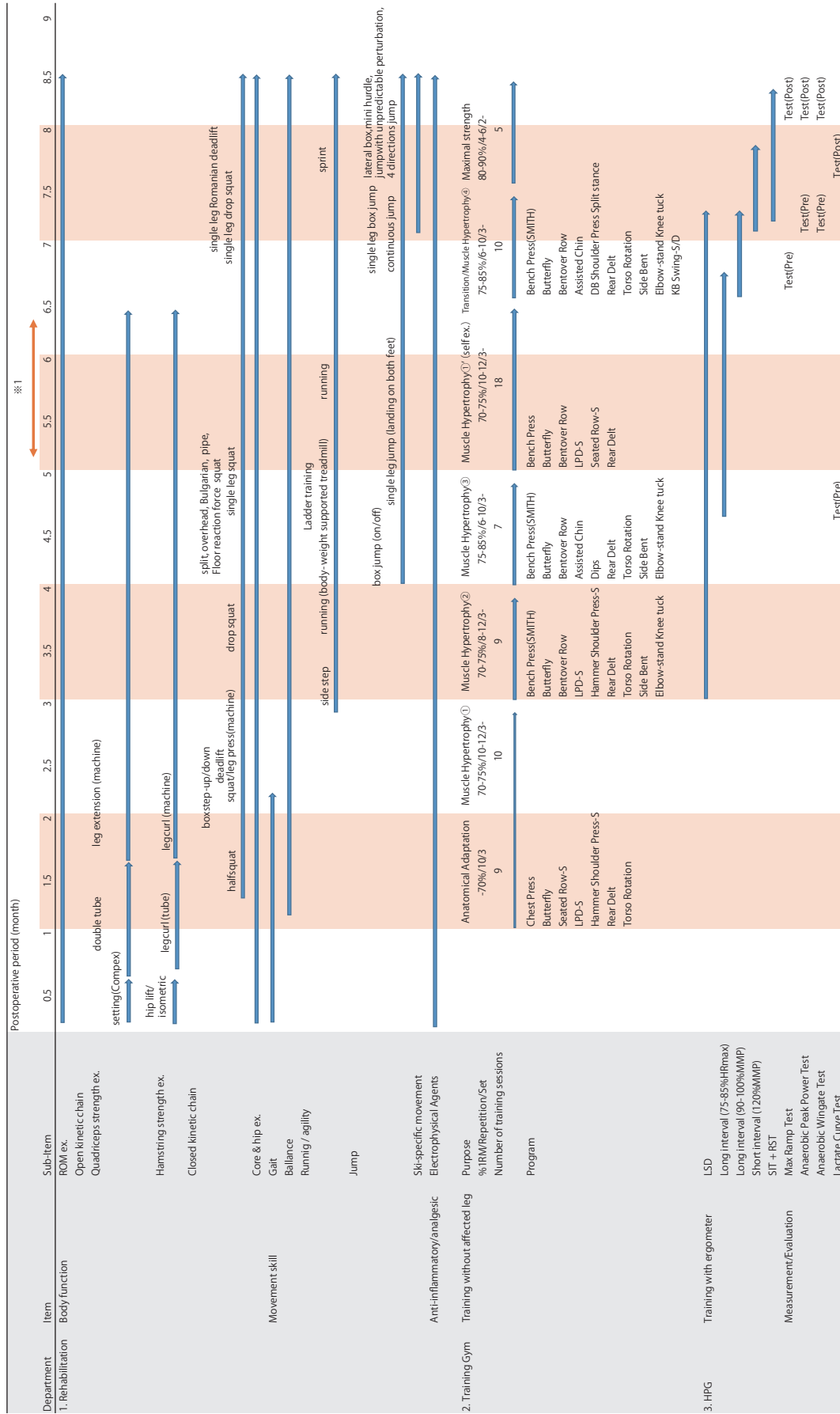
アスリートリハビリテーションでは、主に理学療法士や日本パラスポーツ協会公認障がい者スポーツトレーナーを有する専門職が中心となり術後のリハビリテーションを行った。症例は、北京パラリンピックの出場権を獲得するため 2021 ~ 2022 年シーズン序盤の国際大会から出場して成績を収める必要があった。ACL 再建術後の競技復帰にあたっては競技力や再損傷予防の観点から様々な身体的要素の改善が求められる。その中

で、競技のスケジュールを踏まえ、遅くとも雪上練習復帰のリミットとなる術後 8 ヶ月 (2021 年 1 月 X 日 + 8 ヶ月 2 日目、北京パラリンピックまで 5 ヶ月) 時点で、患部の機能改善に関する指標として、等速性膝伸展・屈曲筋力 (60°/s) の患健比 90% を超えることを数値目標の一つとして取り組んだ。

術後 3 週目に JISS スポーツクリニックの整形外科を初回受診し、翌々日より自宅から通いでリハビリテーション開始となった。初期評価時の大腿周径は膝蓋骨上縁より 15cm 近位で健患差は -6.5cm と大腿四頭筋の著明な筋萎縮を認め、膝関節の可動域 (range of motion: 以下、ROM) は自動運動で 15 ~ 40° であった。術創部および大腿前面のグラフト採取部と膝関節内側側副靭帯の走行に沿った疼痛、膝蓋骨上下方向の可動性低下や術創周囲の軟部組織の可動性低下を認めた。なお疼痛スケールは Numerical rating scale (以下 NRS) にて安静時 4、運動時 6 であった。歩行は可動式の ACL 再建術後用器具 (膝 ROM0~90° で制限) を着用し両口フストランド・クラッチ支持での 2 動作歩行で、立脚期、遊脚期ともに膝関節運動のスムーズさがなく、患側の立脚期においてクラッチを把持している両肩甲帯の拳上が著明であった。

疼痛・ROM 制限に対しては、超音波 (間欠または連続)、やハイボルテージおよびこれらを組み合わせたコンビネーション刺激、出力電流と周波数が可変の微弱電流などの物理療法によって消炎・鎮痛と治癒促進を図りながら膝 ROM0 ~ 90° のスムーズな膝関節運動の早期獲得を目指した。電気刺激を組み合わせた大腿四頭筋セッティング、クラッチの長さの調整含めた歩行練習、股関節周囲の患部外エクササイズ、上肢バイクを用いた有酸素トレーニング等を行った。その後、術後 1.5 ヶ月で口フストランド・クラッチ抜去、2021 年 1 月 X 日 + 3 ヶ月 12 日目 (術後 3.5 ヶ月) には ROM は 0 ~ 150°、大腿周径の健患差は -3.0cm まで改善し、ACL 器具完全抜去となった。2021 年 1 月 X 日 + 4 ヶ月 9 日目 (術後 4 ヶ月) より

Table 1. The progress chart of each department of the TCSP



※1: Suspension of facility use due to Olympic and Paralympic Games (July 13th - August 17th)
 ROM: range of motion, ex: exercise, RM: repetition maximum, -S: with single arm, LPD: Lat pull down, SMITH: Smith Machines, DB: dumbbell, KB: kettlebell, -5/D: with single or double arm, HPG: High performance gym, LSD: long slow distance, HR: heart rate, MMP: maximum minute power, SIT: sprint interval training, RST: repeated sprint training.

ランニング動作・ジャンプ動作が許可され、ランニング動作は免荷トレッドミルによるジョギングから、ジャンプ動作はボックスを用いた両脚でのジャンプ・オン、ジャンプ・オフからそれぞれ開始した。等速性膝伸展筋力の患健比は2021年1月X日+5ヶ月10日目(術後5.5ヶ月)の時点で76%まで回復したものの、大腿四頭筋の筋発揮が改善するにつれてグラフト採取部の疼痛がNRSで6前後と再び強くなり、これが更なる四頭筋の筋力増強を妨げとなっていたため、グラフト採取部周囲の癒着が疑われる部位に対して、医師によるエコーガイド下でのハイドロリリース注射(生理食塩水、局所麻酔)なども併用しながら対応した。東京オリンピック・パラリンピック開催に伴うHPSC施設の利用制限期間が明けた段階で術後約7ヶ月が経過していた。これ以降エクササイズの強度を高めつつ、スポーツ科学部(現JISSスポーツ科学・研究部、以下研究実施時の部局名を記載)研究員の協力も得てスキーに特化した動作のチェック・指導を指導した。複合運動としてのシングルホップテスト、トリプルホップテストでは術後8ヶ月の時点で患健比は90%以上をクリアした。さらに、雪上練習への復帰直前の2021年1月X日+8ヶ月18日目(術後8.5ヶ月)の筋力測定では、患健比が伸展で92%、屈曲で94%となり、いずれも目標値を達成した。

2. トレーニング体育館での患部外を中心としたトレーニングサポート

トレーニング体育館では、NSCAの認定資格の他、NATAのATC及び日本パラスポーツ協会の公認障がい者スポーツ指導者(中級)の資格を持つトレーニング指導員が担当し、患部リハビリテーションの進行具合を鑑みつつ、患部外トレーニングを2021年1月X日+1ヶ月28日目(術後2ヶ月)よりアスリートリハビリテーションより引き継いで開始した。患部外トレーニングでの目標設定は、1)「上半身の筋力向上」、2)「原疾患に伴う上肢左右の筋力差の減少(患健比の改善)」、3)「上肢エクササイズの安全な座位種目から立位

でのフリーウエイト種目への段階的移行」の3点とした。

解剖学的適応期および筋肥大期①は、座位(マシン)のみ上肢6種目を実施した。原疾患により、器具の把持性を高めるため、左手のグリップを補強する必要があった。当初は医療用のマジックベルトを用いて、左手関節をトレーニングマシンのグリップ部分に巻き付けて実施していたが、2021年1月X日+2ヶ月7日目よりアクティブハンズ®(株式会社テウス)を使用し始めたことにより、把持性がより向上した。なお、左上肢筋力は、利き腕である右上肢筋力の75~85%の負荷設定が妥当な状態であった。

筋肥大期②では、座位のマシンで行っていたプル種目シーテッドロウを、安定した両脚スタンスの立位プル種目ベントオーバーロウに変更した。その後デッドリフトなどの下肢種目につなげるための種目を導入した。また、座位のマシンで行っていたチェストプレスから、スミスマシンでのベンチプレスに変更した。通常のベンチプレスは、原疾患によりシャフトを保持するバランスが難しく、高負荷をかけることが困難であったが、シャフトの軌道が固定されているスミスマシンを活用することにより、主働筋である大胸筋が収縮し、中負荷~高負荷のトレーニングが可能となった。このことにより、左腕には「しっかり使えている感覚」が生じた。筋肥大期②の後半では主要種目は最大反復まで行った。

筋肥大期③では、ニーリング(膝立ち姿勢)が出来るようになったため、座位プル種目のラットプルダウンをニーリングのアシテッドチンに変更した。主要種目の負荷設定も、最大挙上重量(1 repetition maximum:以下、1RM)の75~85%(75~85%RM)で6~10回と負荷を上げたため、スミスマシンでのベンチプレスで最大反復まで実施した際、「左腕がゾワゾワする」というところまで強く刺激することが可能であった。なお、補助種目に関しては、全期を通じて65~80%RMで8~15回の負荷設定で実施した。

続いて、本来であれば最大筋力期に移行する時

期ではあったが、東京オリンピック・パラリンピックによる HPSC 利用制限のため自宅近くのフィットネスジムでセルフトレーニングとなり、安全上、負荷は筋肥大期①に相当する余裕ある設定で約6週間行うこととなった。特に、ベンチプレスはスマシマシンが無かったため、60～70%RM 相当の負荷で10回3セット実施していた。なお、フィットネスジムには週3回通い、エアロバイクによるカーディオトレーニングと全身のウエイトトレーニングを実施していた。

セルフトレーニング期間明けの1週間は移行期として筋肥大期③の設定で、フォーム確認を含め様子を見ながら実施したところ、ベンチプレス以外の種目においては以前の筋力レベルは維持できていた。術後7ヶ月からは全身種目であるケトルベルスイングを導入した他、以前は座位で行っていたショルダープレスを立位で行い、スクエアスタンス～インラインスタンス～スプリットスタンスで行う形に基底面を変化させていった。その際、左腕は、右手で持つダンベルと同負荷のアンクルウエイトを前腕に巻き付けて実施した。その他、バタフライもフリーモーションケーブルマシンを用いて、競技のクラウチング姿勢に近い立位ベントオーバー姿勢で行うことも検討したが、自由度の高いグリップを用いた場合、左は主働筋に対する強度が落ちてしまうため、負荷強度維持のためにマシンのまま実施することとした。

術後8ヶ月からは最大筋力期に移行し、種目は前期同様で負荷設定を80～90%RMで4-6回を2セット（以上）として実施した。前期に全身の連動を意識して70～80%エフォートで導入したケトルベルスイングは、この期では80-90%以上の全力に近い形でのパワー発揮を目指した。

以上のような経過で、雪上復帰直前のトレーニング時では、1)上半身の筋力向上は、初回トレーニング開始時と比較すると、最も変化が小さかった種目でも1.29倍、最も変化が大きかった種目は2.26倍を示し、全体平均では1.62倍に筋力が向上した。2)上肢筋力の患健比は、プル系のラットプルダウンでは66.8%から77.8%に、プッシュ

系のショルダープレスでは83.0%から100%に改善した。3)段階的フリーウエイト種目への移行は、Table 1に示す通りいくつかの種目において、患部の回復に合わせて全身を連動させる種目を導入まで進めることができた。

3. HPG でのエネルギー代謝系トレーニングサポート

HPGでは、パフォーマンス向上と円滑な競技復帰を支援するため、アスリートの様々な体力要素のアセスメントならびにアセスメントに基づく介入を行っている^{10), 16), 19), 23)}。本症例においては、NSCAの認定資格の他、理学療法士の資格を有するスタッフが中心となり、代謝系トレーニングサポートを担った。リハビリテーションスタッフの依頼により、サイクルエルゴメーターを用いたエネルギー代謝系トレーニングサポート（energy tank enhancement training：以下、ET）が開始された。主な目的は、受傷後の長期競技離脱に伴う有酸素性および無酸素性エネルギー代謝能力のディトレーニングを抑制し、競技復帰に向けたリコンディショニングを行うことであった。HPGでのサポート目標は、雪上復帰の時期までに、受傷前の乳酸性作業閾値（Power @2mmol/L, 4mmol/L）と解糖系代謝能力（30-s Wingate Test）を上回ること、さらに健常エリート女性アルペンスキーヤーに近い最大有酸素性パワー（ $\geq 4.0\text{W/kg}$ ）¹⁵⁾を目指すこととした。

リハビリテーションスタッフにより低負荷のバイクトレーニングが患部の疼痛や違和感を惹起しないことを確認した後、本格的にバイクトレーニングを開始した。バイクトレーニングは、メニューに応じて WattBike Pro[®]（日本サイクル社製）と PowerMax V III[®]（コナミ社製）を使用した。術後約3.5ヶ月時点から開始した低強度トレーニング（Low Intensity Training：以下、LIT）は有酸素性作業閾値の目安である血中乳酸濃度2mmol/L以下の運動強度に相当する最大心拍数（maximum heart rate：以下、HRmax）の65～75%（65～75% HRmax）¹³⁾をターゲットとして実施した。

30～60分間を1セットとして、5回/週、420分/週から徐々にトレーニング量（1週間あたりの実施時間）を漸増した。HRmaxはACL受傷前にJISSスポーツ科学部（現JISSスポーツ科学・研究部）でサポートしたバイクトレーニング中の最高心拍数を参考に推定した。術後約4.5ヶ月からは低酸素室（標高2,000～2,500m相当の酸素濃度）を使用できる際は利用し、術後約5ヶ月には600分/週を超えるトレーニング量まで漸増した。低酸素環境下では常酸素環境下に比べて同程度の外部負荷（例：watts）に対して相対的に高い内的負荷（例：心拍数）を掛けられるため、患部への負担を考慮しながら呼吸循環系の改善を図った。また高地での競技トレーニング再開に向けて順化を促せる点からも低酸素トレーニングを取り入れた。術後約5ヶ月にはJISSで定期的に行っているフィットネスチェックにおいて乳酸カーブテストを実施したため、LIT実施時には2mmol/L相当の強度（パワーおよび心拍数）でトレーニングを行うことも検討したが、トレーニング量の確保および漸増を優先したため大きく強度（パワー）は変更せずにトレーニングを継続した。低酸素室（標高2,500m相当）で実施していた場合もあったことが影響していると思われるが、乳酸カーブテスト2mmol/Lの結果に対してパワーは約65%、心拍数は約90%の強度で実施していたことになる。また、この時期よりウエイトトレーニング実施日以外で週2回程度の75～85%HRmax強度

での中等度トレーニング（moderate intensity training：以下、MIT）を取り入れた。その後は東京オリンピック・パラリンピック開催に伴うHPSC施設の利用制限期間となったが、フィットネスジムと自宅の固定式バイクを用いてLITとMITは継続した。

JISS利用再開後、術後約7ヶ月には患部の疼痛がコントロールされてきたため、最大有酸素性能力の把握を目的にWattBikeソフトウェアに内蔵されている漸増負荷試験（max ramp test）で1分間の最大パワー（maximum minute power：以下、MMP）を評価した。HPGではこの測定から得られたMMPを参考にバイクを用いた高強度インターバルトレーニング（high-intensity interval training：以下、HIT）の処方を行っている。各トレーニングプロトコルの詳細はTable 2に示した。高回転あるいは高強度のトレーニングや測定を実施する際は、ミニバンドをハンドル部分と左手関節に巻きつけてグリップの補強を行った。術後約7ヶ月はLong HIT（週1～2回）とMIT（週1回）を行い、術後約7.5ヶ月には高回転/高強度のメニューも追加し、Long HIT（週1回）、Short HIT（週1回）、スプリント・インターバル・トレーニング（sprint interval training：以下、SIT：週1回）を実施した。そして術後約8～8.5ヶ月ではShort HIT（週1回）、SITまたはRepeated Sprint Training（週1回）を実施した。

受傷前に実施していたフィットネスチェック

Table2. Training protocol for the enhancement of aerobic and anaerobic capacities

Modality	Work duration	Work intensity	Rest duration	Rest intensity	sets	series
LIT	30-60min	65～75% HRmax	-	-	1	
MIT	4min	75～85% HRmax	3min	active	4	1
Long HIT	90-120sec	90～100% MMP (90% HRmax <)	60sec	passive	4	2
Short HIT	15sec	120～130% MMP (90% HRmax <)	15sec	passive	12	2
RST	7sec	all out	35sec	passive	6	3
SIT	15sec	all out	120sec	passive	4～5	1

LIT: low intensity training, MIT: moderate intensity training, HIT: high intensity training, RST: repeated sprint training, SIT: sprint interval training

での測定値と合わせ、本介入期間における各パラメータの変化を Table 3 に示した。受傷前と比較して雪上復帰時期には、乳酸性作業閾値 Power@2mmol/L は 107W から 134W (+26.4%)、Power@4mmol/L は 150W から 161W (+7.3%)、解糖系代謝能力 (30-s Wingate Test の平均パワー) は 410W から 485W (+18.3%) にいずれも向上した。最大有酸素性パワーは術後 7 ヶ月から 8.5 ヶ月の期間で 195W から 217W (+11.3%) に、体重比では 3.3W/kg から 3.6W/kg (+9.1%) に向上したが、目標としていた 4.0W/kg まで改善するには至らなかった。

V. 考察

エリートアルペンスキー選手の ACL 再建術後の回復期における体力と競技復帰後のパフォーマンスレベルの変化について、術後 1 年以内に競技に復帰し、競技復帰後 1 年以内にベースラインのパフォーマンスレベルを超えるとの報告がある³⁾。本症例においても、術後 1 年の時期に開催される北京パラリンピックへの出場を目指し、術後 8 ヶ月前後での雪上練習への復帰を目標にサ

ポートを実施した。リハビリテーションと同時進行で上肢・体幹含めた患部外トレーニング、有酸素性・無酸素性の代謝能力を強化し、より良いパフォーマンスを発揮できる状態で雪上練習に復帰させることを、早期復帰と同様に重要であると考え、TCSP による包括的なコンディショニングを行ってきた。

ACL 再建術においては術式や再建に用いられる移植腱の種類は単一ではなく、これに伴って、術後のリハビリテーションの進め方や注意すべき点が異なる。本症例では移植腱に術側の大腿四頭筋腱が用いられた。大腿四頭筋腱を用いた再建術の利点は、組織学的優位性 (膝蓋腱よりコラーゲン繊維を 20% 多く含む)、生体力学的優位性 (膝蓋腱の 1.7 倍の強度、正常 ACL に近似した弾性率)、移植腱の太さや長さへの幅広い対応力などがある²²⁾。また移植腱採取部における皮神経損傷や、骨付き膝蓋腱よりも膝前面痛の発生率が少ないとされている^{5), 12), 22)}。治療成績に関しても、ハムストリング腱による再建術と比較しても主観的成績が劣るということではなく、安定性にも差はないことが報告されている^{11), 17)}。本症例では術後

Table 3. Changes in performance and physiological variables due to high-intensity interval training following anterior cruciate ligament reconstruction

		① Pre-injury		② Post Operation				% change (Phase ②)	change (Phase ② - Phase ①)
		PO-3.5Y	PO-1.5Y	5M(Pre)	7M(Pre)	7.5M(Pre)	8.5M(Post)		
Blood Lactate Curve Test	Power @2mmol/L (W)	-	106	117	-	-	134	14.5	26.4
	Power @4mmol/L (W)	-	150	149	-	-	161	8.1	7.3
	HR @2mmol/L (bpm)	-	159	164	-	-	167	1.8	5.0
	HR @4mmol/L (bpm)	-	174	179	-	-	176	-1.7	1.1
Maximal incremental test	maximum minute power (W)	-	-	-	195	-	217	11.3	-
	%BM (W/kg)	-	-	-	3.3	-	3.6	8.5	-
Maximal Anaerobic Power Test	peak power (W)	-	-	-	-	737	781	6.0	-
	%BM (W/kg)	-	-	-	-	12.2	13.0	6.5	-
30-s Wingate Test	peak power (W)	575	-	-	-	568	622	9.5	8.2
	%BM (W/kg)	10.6	-	-	-	9.3	10.4	11.3	-2.2
	average power (W)	410	-	-	-	444	485	9.2	18.3
	%BM (W/kg)	7.6	-	-	-	7.3	8.1	11.1	6.4

PO: pre operation, Y: year(s), M: month(s), BM: body mass

の筋力低下が著明であった膝関節伸筋力の強化を意識して取り組んだが、その過程において移植腱採取部や膝関節前面痛の遷延を認め、炎症に対する疼痛管理も必要となった。これに関連して、大腿四頭筋腱による再建術後の等速性膝関節屈筋力の回復は、ハムストリング腱による再建よりも優れるが、膝伸筋力では劣るとの報告もある^{4), 11)}。本症例の経過から、大腿四頭筋腱を用いた ACL 再建術後においては膝関節前面痛の遷延が膝伸筋力の改善を阻害している可能性が推察された。

トレーニング体育館での患部外トレーニングについて、アルペンスキー競技においては、スキーヤーは重力の作用によって斜面を上から下に滑降していくため、体重の増加は滑降スピードにプラスに働く。実際に、先行研究においてもアルペンスキーの高速系種目の成績と体重には正の相関関係が認められている²¹⁾。ただし、直線的な滑降だけではなく、コースに設定された旗門をクリアする回転運動が要求されるため、体幹および下半身でコントロールする範囲内で、上半身の筋力を増加させることを目指してトレーニングを行なった。また本症例については、競技中は健側のみストックを使って滑るが、ストックを持たない欠損側の上部の重さも滑降および回転運動中のボディバランスのためには重要である。トレーニング時に低負荷・低刺激になりやすい欠損側の上部にも、補助具の使用やトレーニング機器を工夫することによって、十分な負荷をかけて鍛えることが可能であり、患部の膝関節が回復してデッドリフトなどの下肢種目を実施する際には、その高重量を適切に保持する意味でも上半身の筋力強化は不可欠であった。実際に北京パラリンピック直前期では、デッドリフトのメインセットの負荷は 80 kg で高負荷のセットを組めるほどに筋力が向上していた。

HPG でのサポートに関して、アルペンスキー競技に必要な ATP 産生の 60% は無酸素性エネルギー供給機構により支えられているとされ²⁰⁾、無酸素性代謝能力を高めるトレーニングは重要であ

る。また、エリート女性アルペンスキーヤーは比較的高い最大酸素摂取量 ($VO_{2max} \geq 55.6 \text{ ml/kg/min}$) と最大有酸素性パワー ($\geq 4.3 \text{ W/kg}$) を有していることから¹⁵⁾、無酸素性能力と有酸素性能力ともに重要な競技であると考えられている^{9), 15), 20)}。これらのことから、競技トレーニング再開に向けて、主に有酸素性能力のディトレーニングの抑制を図り、患部の回復に合わせて介入後半では無酸素性能力の向上にも努めた。また ACL 再建術後のリハビリテーションに関するレビュー論文²⁾においてもフィットネス・リコンディショニング (fitness reconditioning) の重要性が述べられており、患部の治癒促進を阻害しない範囲で可及的早期に介入が必要であると考えられる。バイクトレーニングは一般的なりハビリテーション (スクワットなど) と比べて ACL のひずみは同程度とされ¹⁾、安全かつ簡便に呼吸循環系機能に負荷を掛けやすくオフフィートトレーニングとして有用な手段である。特に本症例では術後約 6 ヶ月時点においてもグラフト採取部の疼痛が残存しており、ランニングなどの陸上トレーニングが積極的に進められず呼吸循環系機能のリコンディショニングのためにバイクトレーニングは非常に有効であった。術後約 3.5 ヶ月より LIT を開始したのは患部への負荷を考慮するため低強度のトレーニングから開始できるという側面もあるが、遅筋線維における毛細血管の発達やミトコンドリアを増加させ酸素の取り込みを促進させることで乳酸性作業閾値 (LT・OBLA) の改善に効果的とされるためである⁸⁾。これらの効果を高めるためにはトレーニング強度よりも量が重要とされるため⁶⁾、LIT のトレーニング量を十分に確保できたことで受傷前 (手術から約 1.5 年前) より高い乳酸性作業閾値まで向上できたと考えられる。術後約 7 ヶ月以降には疼痛がコントロールされてきたことから Long/Short HIT ($\geq 90\%HR_{max}$) を開始した。HIT では循環系の中核要因である心拍出量の増加、さらには末梢要因である遅筋線維の毛細血管の発達やミトコンドリアの増加に起因した最大有酸素性パワーの向上を期待した⁷⁾。最大

有酸素性パワーはやや向上したものの、目標としていた体重比 4.0W/kg まで改善するには至らなかったが、これについては患部の疼痛が遷延し HIT の開始時期が遅くなり、高強度トレーニングを十分確保できなかったことが一因として考えられた。しかしながら、LIT と HIT を適切に組み合わせたトレーニングを行ったことで¹⁸⁾、雪上での競技練習に向けた一定のリコンディショニングを実施できたと考える。また、解糖系能力 (30-s Wingate Test の平均パワー) についても受傷前 (手術から約 3.5 年前) に比べて、大きく向上した状態で雪上練習への復帰を迎えることができた。これらのトレーニング効果は、トレーニング体育館でのウエイトトレーニングやリハビリテーションも大いに関与しており、複数分野が協働してサポートした結果、競技復帰に向けてエネルギー代謝能力を高めることができたと推察する。

以上のとおり、TCSP の利点としてリハビリテーション単一のサポートでは専門性においても時間的にも不十分であったと考えられる患部外の筋力強化や、有酸素性・無酸素性の能力強化をプログラムに組み込むことができ、一定の介入効果を確認したうえで雪上復帰を果たすことができた。TCSP では、スポーツ外傷・障害あるいは何らかの疾病によってコンディションが低下し、リハビリテーションが必要となったアスリートに対して、複数分野で総合的な医科学支援を行っており、対象者については毎週の各分野が集まるミーティングにおいて症例検討会を実施し、進捗と課題を共有している。今回のサポート事例を通じて、複数の視点やタイミングで問題点が把握できること、情報共有により選手の手続き等の負担軽減やスムーズな介入が可能となること、受傷部位以外の課題の抽出やその対応に繋げられることなどが利点として改めて確認することができた。

一方で、本報告の限界として、TCSP の多分野による介入が行われなかった場合に、いつ、どのようなパフォーマンスで競技復帰できたかは明らかにすることはできていない。今後もこのような事例報告やデータによる検証も重ねながら、リハ

ビリテーション期におけるコンディショニング評価指標の確立に取り組んでいく。

VI. まとめ

ACL 損傷に対して再建術を施行されたパラレルペンスキー選手に対する TCSP による多分野連携での競技復帰に向けた取り組みについて報告した。TCSP により患部のリハビリテーションと同時進行で患部外の強化、有酸素性・無酸素性の代謝能力を強化することで、より良いパフォーマンスで競技復帰させられる可能性が示された。

※注:本報告では「しょうがい」の表記について、法律、行政、医学用語等の固有名詞がある場合および引用した文献で表記されている場合は「障害」、それ以外は基本的に「障がい」を使うこととする。

文献

- 1) Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, Stankewich CJ, Renström PA, Nichols CE. The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension: a comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med*, 25(6): 823-829, 1997.
- 2) Buckthorpe M, Della Villa F. Optimising the 'mid-stage' training and testing process after ACL reconstruction. *Sports Med*, 50(4): 657-678, 2020.
- 3) Csapo R, Hoser C, Gföller P, Raschner C, Fink C. Fitness, knee function and competition performance in professional alpine skiers after ACL injury. *J Sci Med Sport*, 22(Suppl 1): S39-S43, 2019.
- 4) Fischer F, Fink C, Herbst E, Hoser C, Hepperger C, Blank C, Gföller P. Higher hamstring-to-quadriceps isokinetic strength ratio during the first post-operative months in patients with quadriceps tendon compared to hamstring tendon

- graft following ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 26(2): 418-425, 2018.
- 5) Geib TM, Shelton WR, Phelps RA, Clark L. Anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft: intermediate-term outcome. *Arthroscopy*, 25(12): 1408-1414, 2009.
- 6) Granata C, Jamnick NA, Bishop DJ. Training-induced changes in mitochondrial content and respiratory function in human skeletal muscle. *Sports Med*, 48(8): 1809-1828, 2018.
- 7) Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, Hoff J. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4): 665-671, 2007.
- 8) 平山邦明. トレーニングとリカバリーの科学的基礎. 文光堂, 2021.
- 9) Hydren JR, Volek JS, Maresh CM, Comstock BA, Kraemer WJ. Review of strength and conditioning for alpine ski racing. *Strength Cond J*, 35(1): 10-28, 2013.
- 10) 石毛勇介, 松林武生, 高橋佐江子, 荒川裕志. JISS ハイパフォーマンス・ジムにおける取り組み. *バイオメカニクス研究*, 18(3): 148-156, 2014.
- 11) Lind M, Nielsen TG, Soerensen OG, Mygind-Klavsen B, Faunø P. Quadriceps tendon grafts does not cause patients to have inferior subjective outcome after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction than do hamstring grafts: a 2-year prospective randomised controlled trial. *Br J Sports Med*, 54(3): 183-187, 2020.
- 12) Lund B, Nielsen T, Faunø P, Christiansen SE, Lind M. Is quadriceps tendon a better graft choice than patellar tendon? a prospective randomized study. *Arthroscopy*, 30(5): 593-598, 2014.
- 13) Mujika I. Endurance training: Science and practice. Basque Country, 2012.
- 14) 中嶋耕平. V事業報告/7スポーツ診療事業. 日本スポーツ振興センターハイパフォーマンススポーツセンター年報, 2020: 47-50, 2021.
- 15) Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med*, 24(8): 571-575, 2003.
- 16) 緒方博紀, 鈴木栄子, 山下大地, 大石益代, 田村尚之. 緊急事態宣言解除後の安全なトレーニング再開のための考慮事項—ハイパフォーマンススポーツセンターのトレーニング指導再開に向けた取り組み 1. *Journal of High Performance Sport*, 7: 23-37, 2021.
- 17) Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps Tendon Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Comprehensive Review of Current Literature and Systematic Review of Clinical Results. *Arthroscopy* 31(3): 541-554, 2015.
- 18) Stöggl T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol* 5(1): 33, 2014.
- 19) 鈴木栄子, 中本真也, 東泰之, 山下大地. 緊急事態宣言解除後のハイパフォーマンス・ジムでのアセスメントの実際—ハイパフォーマンススポーツセンターのトレーニング指導再開に向けた取り組み 2. *Journal of High Performance Sport*, 7: 38-48, 2022.
- 20) Veicsteinas A, Ferretti G, Margonato V, Rosa G, Tagliabue D. Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(5): 1187-1190, 1984.
- 21) Vermeulen B, Clijsen R, Fässler R, Taeymans J, D'Hondt E, Aerenhouts D. Event specific body characteristics of elite alpine skiers in relation to international rankings. *Advances in Anthropology*, 7(2): 94-106, 2017.
- 22) Xerogeanes JW. Quadriceps tendon graft for anterior cruciate ligament reconstruction: The

graft of the future! *Arthroscopy*, 35(3): 696-697, 2019.

- 23) 山下大地, 島田結依, 増田雄太. コロナ禍における選手サポートに対する課題と対策—国立スポーツ科学センターハイパフォーマンス・ジムの例—. *日本アスレティックトレーニング学会誌*, 6(2): 133-139, 2021.