

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6446941号
(P6446941)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 3 B 69/00 (2006.01)

A 6 3 B 71/06 (2006.01)

A 6 3 B 69/00 C

A 6 3 B 71/06 J

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-193120 (P2014-193120)	(73) 特許権者	000001443
(22) 出願日	平成26年9月22日 (2014. 9. 22)		カシオ計算機株式会社
(65) 公開番号	特開2016-63871 (P2016-63871A)		東京都渋谷区本町 1 丁目 6 番 2 号
(43) 公開日	平成28年4月28日 (2016. 4. 28)	(74) 代理人	100074099
審査請求日	平成29年8月3日 (2017. 8. 3)		弁理士 大菅 義之
		(72) 発明者	相原 岳浩
			東京都羽村市栄町 3 丁目 2 番 1 号 カシオ
			計算機株式会社羽村技術センター内
		審査官	砂川 充

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運動解析装置、方法、およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

運動中の利用者の加速度を取得する加速度取得部と、
前記加速度に基づいて、予め定めた時間分の前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第 1 のデータを取得する第 1 データ取得部と、
前記加速度に基づいて、前記予め定めた時間分の前記利用者の運動に関する方向のうちの予め定めた方向の速度又は運動エネルギーに対応する第 2 のデータを取得する第 2 データ取得部と、
前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第 3 のデータを取得する第 3 データ取得部と、
を備えることを特徴とする運動解析装置。

【請求項 2】

前記第 1 データ取得部は、方向別の加速度の大きさを取得し、当該加速度の大きさを前記予め定めた時間分積分することにより、前記第 1 のデータを取得する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の運動解析装置。

【請求項 3】

運動中の前記利用者の当該利用者の体軸に沿った回転運動の回転方向の角速度を取得する角速度取得部をさらに備え、
前記第 2 データ取得部は、前記加速度および前記角速度に基づいて、前記予め定めた方向の加速度を取得し、当該予め定めた方向のうち正又は負のいずれか一方の加速度を前記

予め定めた時間分積分することにより、前記第 2 のデータを取得する、
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の運動解析装置。

【請求項 4】

前記第 2 データ取得部は、前記利用者の推進方向、水平面内で前記利用者の推進方向に直交する方向、及び、鉛直方向のうちのいずれか一つの方向の前記速度又は前記運動エネルギーに対応するデータを前記第 2 のデータとして取得する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の運動解析装置。

【請求項 5】

前記利用者の推進方向の速度を取得する速度取得部をさらに備え、

前記第 2 データ取得部は、前記速度を 2 乗して 2 で割ることにより前記第 2 のデータを取得する、

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の運動解析装置。

【請求項 6】

前記利用者の推進方向の速度を取得する速度取得部をさらに備え、

前記第 2 データ取得部は、前記速度を前記第 2 のデータとして取得する、

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の運動解析装置。

【請求項 7】

前記速度取得部は、全地球測位網センサの出力に基づいて、前記利用者の推進方向の速度を取得する、

ことを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の運動解析装置。

【請求項 8】

前記第 3 データ取得部は、前記第 1 のデータと前記第 2 のデータの比として、前記予め定めた時間における、前記利用者の運動による力学的総仕事量に対する、前記利用者の推進方向のうち正又は負のいずれか一方の向きの前記速度又は前記運動エネルギーの効率を、前記第 3 のデータとして取得する、

ことを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の運動解析装置。

【請求項 9】

前記第 3 のデータに基づいて、前記利用者に運動の効率に関する情報を表示する表示部を更に備え、

前記表示部は、前記利用者の前記第 3 のデータと、前記利用者以外の人物の前記第 3 のデータとを前記表示部に表示する、

ことを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の運動解析装置。

【請求項 10】

前記予め定めた時間は、周期性を有する予め定めた動作を前記利用者が行った時間であり、

前記利用者の動作の周期を前記予め定めた時間として推定する時間推定部をさらに備える、

ことを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の運動解析装置。

【請求項 11】

運動中の利用者の加速度を取得し、

前記加速度に基づいて、予め定めた時間分の前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第 1 のデータを取得し、

前記加速度に基づいて、前記予め定めた時間分の前記利用者の運動に関する方向のうちの予め定めた方向の速度又は運動エネルギーに対応する第 2 のデータを取得し、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第 3 のデータを取得する、

ことを特徴とする運動解析方法。

【請求項 12】

運動中の利用者の加速度を取得するステップと、

前記加速度に基づいて、予め定めた時間分の前記利用者の運動による力学的総仕事量に

10

20

30

40

50

対応する第 1 のデータを取得するステップと、

前記加速度に基づいて、前記予め定めた時間分の前記利用者の運動に関する方向のうちの予め定めた方向の速度又は運動エネルギーに対応する第 2 のデータを取得するステップと、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第 3 のデータを取得するステップと、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、人体の運動時の運動状態を解析する運動解析装置、方法、およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、大都市で実施される大規模市民マラソン大会が新規に開催されるなどマラソンブームである。そのほかにも、健康志向の高まりなどを背景に、日常的にランニングやウォーキング、サイクリング等の運動を行い、健康状態を維持、増進する人々が増えている。また、日常の運動を通して、マラソン大会等の競技大会への参加を目指す人も増加している。このような人々は、自らの健康状態や運動状態を把握するため、種々の生体情報や運動情報を数値やデータで測定したり、記録したりすることに対して、意識や関心が非常に高い。また、競技大会等への参加を目指す人々は、当該競技での好成績を目標としているため、効率的かつ効果的なトレーニング方法に対する意識や関心も非常に高い。

20

【0003】

現在、このような要望に対応するため、様々なランナー用製品や技術が開発されている。例えば特許文献 1 には、トレーニング中のユーザに種々の生体情報や運動情報を提供する携帯型フィットネスモニタリングデバイスが開示されている。この携帯型フィットネスモニタリングデバイスにおいては、ユーザが心拍計や加速度計、GPS 受信機等の種々のセンサを装着して、運動中の心拍数や距離、速度、歩数、消費カロリー等の各種のパフォーマンスパラメータを測定し、ユーザに現時点の情報として提供することが記載されている。

30

【0004】

また、例えば特許文献 2 には、陸上競技走者が走行練習に用いる走法習得装置が開示されている。この走法習得装置においては、ユーザの走行中の 3 軸方向の加速度、角速度を検出し、予め設定した目標値との比較結果を提供して、ユーザに一步ごとの走法の修正と確認を促すことが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 264246 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 110046 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、競技大会等への参加を目指す人々も含め、健康維持のために運動を続ける人々の多くは、運動方法や運動姿勢（フォーム）等について、指導者等から適切な指導を受ける機会は極めて少ない。また、ユーザが自己の運動（例えばランニング）時の身体の使い方のバランスを把握して、適切か否かを判断することは非常に難しかった。このような、身体の使い方のバランスを欠いた運動を継続することは、効率が悪いばかりか、身体の故障の原因にもなりかねないという問題を有している。

【0007】

50

これに対して、上述したような装置や技術においては、ユーザの運動中の生体情報や運動情報を検出して、当該情報をそのまま、あるいはその分析結果をユーザに提供するものに過ぎず、ユーザの運動中の姿勢や身体の使い方等に関する情報を提供するものではなかった。

【0008】

一方、ランニング等の運動時の姿勢を計測する機器としては、例えば動画やハイスピード動画を撮影する機器が比較的安価に販売されている。しかしながら、このような撮影機器においては、運動中の動画を撮影するために自分以外の第三者の協力が必要であったり、運動中のユーザに撮影結果や分析結果等をリアルタイムでフィードバックできなかったりするという問題を有している。

10

【0009】

また、運動姿勢等の画像解析や分析診断に関しては、一般に、装置が大掛かりかつ複雑で高価であるため、一部の教育機関や体育協会等でしか測定することができない。そのため、日常的に行う路上や公園、運動場等での練習において測定することが困難であり、トップレベルのアスリート以外の一般人には使用できる環境にないという問題を有している。

【0010】

そこで、本発明は、人体の運動時の運動状態を簡易かつ的確に解析可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0011】

態様の一例では、利用者が運動中の加速度を取得する加速度取得部と、前記加速度に基づいて、予め定めた時間分の前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第1のデータを取得する第1データ取得部と、前記加速度に基づいて、前記予め定めた時間分の前記利用者の運動に関する方向のうちの予め定めた方向の速度又は運動エネルギーに対応する第2のデータを取得する第2データ取得部と、前記第1のデータと前記第2のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第3のデータを取得する第3データ取得部と、を備える

【発明の効果】

【0012】

30

本発明によれば、人体の運動時の運動状態を簡易かつ的確に解析することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明に係る運動解析装置の実施形態の外観図である。

【図2】本実施形態に係る運動解析装置のハードウェア構成例を示すブロック図である。

【図3】本実施形態に係る運動解析処理の例を示すフローチャートである。

【図4】本実施形態に適用されるジャイロセンサ201および加速度センサ202における3軸方向を示す説明図である。

【図5】軸推定処理の説明図である。

40

【図6】周期推定処理の説明図である。

【図7】1周期分の加速度センサおよびジャイロセンサの各出力の例を示す図である。

【図8】ランニング中に腰に発生する加速度のイメージを示す図である。

【図9】積分処理における加速度の総和の算出方法の説明図である。

【図10】前後方向加速度成分の波形データ例を示す図である。

【図11】表示部の表示例(その1)を示す図である。

【図12】表示部の表示例(その2)を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明を実施するための形態について図面を参照しながら詳細に説明する。本発

50

明はセンサ端末を体に装着しランニング時のデータを取得し、その取得したデータの処理に関する発明である。

【0015】

図1に、センサ端末101の装着例を示す。センサ端末101は、図1(a)に示されるようにランナー(利用者)100の胸部、または図1(c)に示されるようにランナー100の腰の後ろに装着しているが、その他に首筋等、ランナーを正面視して左右方向の中心線に沿った位置である左右均等な位置に装着してもよい。

【0016】

図1(b)および(c)は、解析結果の出力方法の例を示す図である。図1(b)は、ランニング終了後にセンサ端末101で取得したデータをパーソナルコンピュータ102に転送して表示する組合せを示している。図1(c)は、ランニング中にセンサ端末101で取得したデータをリアルタイムで解析し、無線通信することで、解析結果を腕時計等の携帯可能な表示機器103に表示させる組合せを示している。

【0017】

図2は、本実施形態に係る運動解析装置のハードウェア構成例を示すブロック図である。図2(a)は、センサ端末101のハードウェア構成例を示し、図2(b)は、図1(b)のパーソナルコンピュータ102または図1(c)の表示機器103に対応するデータ解析端末200のハードウェア構成例を示す。

【0018】

図2(a)において、センサ端末101は、ジャイロセンサ201、加速度センサ202、GPS(Global Positioning System: 全地球測位網)受信機203、コントローラ204、メモリ205、および通信部206を備える。

【0019】

ジャイロセンサ201は、その測定軸(本実施形態では、測定軸はランナー100(図1)の体軸に実質的に平行である)に沿った回転運動の回転方向の角速度を検出する。なお、角速度を検出できる手段であれば、ジャイロセンサ201には限られない。

【0020】

加速度センサ202は、その測定軸(本実施形態では、測定軸はランナー100の体軸に実質的に平行である)の延伸3方向の各加速度を検出する。なお、加速度を検出できる手段であれば、何でもよい。

【0021】

GPS受信機203は、速度データとランナー100の位置情報を検出する。なお、速度データを検出できる手段であれば何でもよい。

【0022】

コントローラ204は、ジャイロセンサ201、加速度センサ202、およびGPS受信機203の各出力データを取得し、メモリ205に保存する。また、コントローラ204は、メモリ205に保存されたデータを、通信部206を介してデータ解析端末200に送信する。

【0023】

次に、図2(b)において、データ解析端末200は、データ処理部210、コントローラ211(第3の演算部)、メモリ212、通信部213、および表示部214を備える。データ処理部210は、例えばDSP(Digital Signal Processor: デジタル信号処理装置)であり、軸推定部210-1、周期推定部210-2、積分部210-3(第1の演算部)、および軸別積分部210-4(第2の演算部)を備える。これらの詳細については、後述する。

【0024】

コントローラ211は、図2(a)のセンサ端末101より、通信部213を介してデータを受け取ってデータ処理部210に引き渡し、データ処理部210での演算の中間データや結果データを、メモリ212に保持する。

【0025】

10

20

30

40

50

ランニングの効率を示す指標 E I は体育学の世界でいろいろと提案されているが、最も利用されているものは、下記数 1 式で示される式である。

【 0 0 2 6 】

【 数 1 】

$$E I = \frac{\text{運動周期の 1 周期の推進方向運動エネルギー}}{\text{運動周期の 1 周期の全身の総仕事量}}$$

【 0 0 2 7 】

この数 1 式が現しているのは一般的なエネルギーの効率を表す式であり、分子に当てはめられる有効なエネルギーとしてランナー 1 0 0 の推進方向（走行方向）の運動エネルギーをあて、分母にはランナー 1 0 0 の全身が行った総仕事量をあてている。本実施形態ではランナー 1 0 0 の推進方向は、水平面に平行な方向である。すなわち全身で行った仕事

10

【 0 0 2 8 】

本実施形態は厳密な意味での効率を表すわけではないが、測定が非常に難しい全身の総仕事量を、全身の中で最も質量の大きい胴体を受ける加速度の総和に置き換えることで、簡易な装置で多くの人がランニングの効率を評価できるようにしたものである。

【 0 0 2 9 】

図 3 は、図 2（b）のハードウェア構成例を有するデータ解析端末 2 0 0 が実行する、本実施形態に係る運動解析処理の例を示すフローチャートである。この処理は、データ処理部 2 1 0 によるデジタル信号処理と、コントローラ 2 1 1 がメモリ 2 1 2 に記憶された運動解析処理プログラムを実行する処理として実現される。

20

【 0 0 3 0 】

まず、コントローラ 2 1 1 が、センサ端末 1 0 1 から、通信部 2 0 6 および 2 1 3 を介して、ジャイロセンサ 2 0 1 の出力、加速度センサ 2 0 2 の出力、および GPS 受信機 2 0 3 の出力の各データを入力し、データ処理部 2 1 0 に引き渡す（図 3 のステップ S 3 0 1）。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、本実施形態に適用されるジャイロセンサ 2 0 1 および加速度センサ 2 0 2 における 3 軸方向を示す説明図である。本実施形態において、加速度センサ 2 0 2 は、ランナー 1 0 0 の運動中の動作速度の変化の割合（加速度）を計測する。本実施形態においては、加速度センサ 2 0 2 は、3 軸加速度センサを有し、互いに直交する 3 軸方向の各々に沿った加速度成分を検出して加速度データとして出力する。すなわち、ランナー 1 0 0 に対して、上下方向に延伸する軸を x 軸とし、下向き（地面方向）の加速度成分を + の向きと規定する。ここで、x 軸は概ねランナー 1 0 0 の体軸の延伸方向に一致する。また、ランナー 1 0 0 に対して、左右方向に延伸する軸を y 軸とし、左手方向の加速度成分を + の向きと規定する。また、ランナー 1 0 0 に対して、前後方向に延伸する軸を z 軸とし、前方向（進行方向）の加速度成分を + の向きと規定する。加速度センサ 2 0 2 により取得された加速度データは、コントローラ 2 0 4 により生成される時間データに関連付けられて、コントローラ 2 1 1 に入力される。

30

40

【 0 0 3 2 】

ジャイロセンサ 2 0 1 は、ランナー 1 0 0 の運動中の動作方向の変化（角速度）を計測する。本実施形態においては、ジャイロセンサ 2 0 1 は、3 軸角速度センサを有し、互いに直交する 3 軸について、各軸に沿った回転運動の回転方向に生じる角速度成分を検出して角速度データとして出力する。ここでは、図 4 に示されるように、互いに直交する x、y、z の 3 軸について、各軸の加速度成分の + 方向に向かって右回り方向に生じる角速度成分を + の向きと規定する。ここで、x 軸の回転方向に生じる角速度成分は、概ねランナー 1 0 0 の体軸の周りに生じる角速度に一致する。ジャイロセンサ 2 0 1 により取得された角速度データは、コントローラ 2 0 4 により生成される時間データに関連付けられて、コントローラ 2 1 1 に入力される。

50

【 0 0 3 3 】

次に、データ処理部 2 1 0 において、軸推定部 2 1 0 - 1 が、軸推定処理を実行する（図 3 のステップ S 3 0 2 ）。図 5 は、軸推定処理の説明図である。センサ端末 1 0 1 を腰に装着した場合を例にすると、ランナー 1 0 0 は走っている時は、図 5（a）に示されるように、前傾したり左右に傾いたりしている。加速度センサ 2 0 2 やジャイロセンサ 2 0 1 のデータをもとにこの傾きを推定し、図 5（b）に示されるように、鉛直方向に対する軸に沿ったデータ、即ち、水平方向に沿って y 軸及び z 軸を取り、鉛直方向を x 軸方向とした軸座標データに変換するのが軸推定処理である。この推定方式の一例として、例えば加速度センサ 2 0 2 の 3 軸出力とジャイロセンサ 2 0 1 の 3 軸出力をカルマンフィルタやローパスフィルタに入力することにより、地面（水平面）に対する加速度の 3 軸データと、角速度の 3 軸データを算出することができる。なお、本実施形態では、カルマンフィルタやローパスフィルタ以外の軸推定方式を採用してもよい。

10

【 0 0 3 4 】

次に、データ処理部 2 1 0 において、周期推定部 2 1 0 - 2 が、周期推定処理を実行する（図 3 のステップ S 3 0 3 ）。図 6 は、周期推定処理の説明図である。一般に、ランニング等の走行動作においては、例えば図 6 の上段に示すように、一方の足の蹴り出し（図では左足の離地）から、他方の足の接地（右足の接地）及び蹴り出し（右足の離地）、一方の足の接地（左足の接地）を経て、再び一方の足の蹴り出し（左足の離地）を行う、左右各 1 歩の計 2 歩分を 1 周期（ランニング周期；運動周期）として定義することができる。一方、一連の走行動作において、加速度センサ 2 0 2 により取得され軸推定部 2 1 0 - 1 により修正された加速度データのうち上下方向の加速度成分は、例えば図 6 の下段に示すように、左右の一步ごとに周期性を有する信号波形を示す。このことから、上下方向の加速度成分における 2 周期分が、走行動作における 1 周期（ランニング周期）に対応することになる。従って、加速度センサ 2 0 2 により取得され軸推定部 2 1 0 - 1 により修正された上下方向の加速度成分に基づいて、ランナー 1 0 0 が行った走行動作における 1 周期（右足と左足を交互に 1 回ずつ動かす一連の動作期間。以下「運動周期」と称する）ごとの動作データを安定的に切り出すことができる。これとともに、当該一周期の時間を正確に計測することができる。なお、周期推定処理として、他の方式が採用されてもよい。

20

【 0 0 3 5 】

図 7（a）および（b）は、加速度センサ 2 0 2 およびジャイロセンサ 2 0 1 の各出力を軸推定部 2 1 0 - 1 で修正した後の 1 周期分の加速度データおよび各速度データの各出力の例を示す図である。図 7（a）および（b）ともに、上から順に、前後、左右、上下方向である。

30

【 0 0 3 6 】

次に、データ処理部 2 1 0 において、積分部 2 1 0 - 3 が、加速度積分処理を実行する（図 3 のステップ S 3 0 4 ）。この処理では、加速度の方向は関係なく腰部分、即ち、センサ端末 1 0 1 を装着した部分に発生した加速度の大きさが 1 周期分積分される。図 8 は、ランニング中に腰に発生する加速度のイメージを示す図である。足が地面についている間は足が地面から受ける地面反力に近い加速度が腰に発生し、それに加えてランニングフォームに応じた腰を動かす動作による加速度が発生する。また、足が地面についていないところではランニングフォームに応じて腰を動かす動作による加速度が発生する。

40

【 0 0 3 7 】

図 9 は、加速度積分処理における加速度の総和の算出方法の説明図である。加速度センサ 2 0 2 が出力するデータは、図 4 で説明したように、直交する 3 方向の軸に対する加速度成分として得られる。軸推定部 2 1 0 - 1 の出力も、図 5 で説明したように修正が行われて、同様に直交する 3 方向の軸に対する加速度成分として得られる。図 9（a）の 8 0 1 が修正された上下方向加速度成分 A_x 、8 0 2 が修正された左右方向加速度成分 A_y 、8 0 3 が修正された前後方向加速度成分 A_z である。本実施形態では、瞬間ごとの加速度の大きさを算出するために、下記数 2 式のように各成分の 2 乗和のルート（平方根）が演算されることにより、図 9（b）に示される加速度の大きさ A が算出される。

50

【 0 0 3 8 】

【 数 2 】

$$A = \sqrt{(Ax)^2 + (Ay)^2 + (Az)^2}$$

【 0 0 3 9 】

そして、各瞬間で得られた加速度の大きさデータ A が、図 9 に示されるように、図 3 のステップ S 3 0 3 の周期推定処理で算出された運動周期の 1 周期分積分されることにより、運動周期の 1 周期における加速度の総和が算出される。

【 0 0 4 0 】

10

次に、データ処理部 2 1 0 において、軸別積分部 2 1 0 - 4 が、軸別積分処理を実行する（図 3 のステップ S 3 0 5）。この処理では、図 9（a）にして得られる 3 方向の加速度成分のうち、8 0 3 の前後方向（水平方向）の波形成分 A z について、運動周期の 1 周期分の積分処理が実行される。図 1 0 は、前後方向加速度成分の波形データ例を示す図である。ランナー 1 0 0 の後ろ向き（ブレーキ成分）の加速度がプラスとなっている。運動周期の 1 周期の中で、この成分のマイナスの向きの成分の絶対値を積分したものが、運動周期の 1 周期分のランナー 1 0 0 の推進方向の加速度成分の総和となる。尚、ランニングは等速度運動となるので、運動周期の 1 周期の中で、この成分のプラスの向きの成分を積分したものと、マイナスの向きの成分の絶対値を積分したものを減算すれば、0 になる。従って、このプラスの向きの成分を積分したものの、運動周期の 1 周期分のランナー 1 0 0 の推進方向の加速度成分の総和に等しい。

20

【 0 0 4 1 】

図 3 のステップ S 3 0 4 の加速度積分処理により算出された加速度の大きさ A を用いると、運動周期の 1 周期におけるランナー 1 0 0 のランニング運動による力学的総仕事量 W は、下記数 3 式で表される。なお、数 3 式中の積分記号と d t は、運動周期の 1 周期分の積分を表すものとする。また、数 3 式中の「M」はランナー 1 0 0 の体重を表すものとする。

【 0 0 4 2 】

【 数 3 】

$$W = M \times \int A \, dt$$

30

一方、図 3 のステップ S 3 0 5 の軸別積分処理により算出された加速度の大きさ A z を用いると、運動周期の 1 周期における推進方向の運動エネルギー W z は、下記数 4 式で表される。なお、数 3 式と同様に、数 4 式中の積分記号と d t は、運動周期の 1 周期分の積分を表すものとする。また、数 3 式と同様に、数 4 式中の「M」はランナー 1 0 0 の体重を表すものとする。

【 0 0 4 3 】

【 数 4 】

$$W_z = M \times \int A_z \, dt$$

40

【 0 0 4 4 】

よって、数 3 式と数 4 式を数 1 式の分子と分母にそれぞれ割り当てることにより、下記数 5 式に示されるように、運動周期の 1 周期における、ランナー 1 0 0 のランニング運動による力学的総仕事量に対するランナー 1 0 0 の推進方向の運動エネルギーの効率を算出することができる。

【 0 0 4 5 】

【数 5】

$$W_z / W = \int A_z dt / \int A dt$$

【0046】

なお、図2(a)のGPS受信機203の出力に基づいて、ランナー100のランニング速度 V_z を検出することができれば、ランナー100の推進方向の運動エネルギーは、下記数6式により算出できる。なお、数3式等と同様に、数6式中の「M」はランナー100の体重を表すものとする。

【0047】

10

【数6】

$$W_z = \frac{1}{2} M V_z^2$$

【0048】

従って、数6式と数4式を数1式の分子と分母にそれぞれ割り当てることにより、下記数7式に示されるように、運動周期の1周期における、ランナー100のランニング運動による力学的総仕事量に対するランナー100の推進方向の運動エネルギーの効率を算出することができる。

【0049】

20

【数7】

$$W_z / W = \frac{1}{2} V_z^2 / \int A dt$$

【0050】

さらに、より簡易的には、下記数8式に示されるように、数3式を逆に分子にもってきて、数3式を速度 V_z で割って指標としてもよい。

【0051】

【数8】

30

$$W / V_z = M \times \int A dt / V_z$$

【0052】

図3のフローチャートの説明に戻って、図2(b)のコントローラ211は、以上の数5式、数7式、または数8式に基づいて運動効率の指標を算出し(図3のステップS306)、これを図2(b)の表示部214に表示する(図3のステップS307)。図11および図12は、表示部214での表示例を示す図である。

【0053】

40

図11(a)は、グラフの縦軸を数5式により算出される運動効率の指標値として、「 $W_z / W = (1 \text{ 周期分の推進方向加速度の大きさの総和}) / (1 \text{ 周期分の全方向加速度の大きさの総和})$ 」を用いた場合における、自分の現在の走り、モデルデータとして求まっているランニング選手、市民ランナーの走りについての値の比較である。これを見ると、ランニング選手は加速度総和の内推進方向の総和が19%に達しているのに対し、市民ランナーは11%以下である。ランナー100自身が現在どのあたりに位置するかを、視覚的に確認することができる。

【0054】

次に、図11(b)は、グラフの縦軸を数8式により算出される運動効率の指標値として、「 $W / V_z = (1 \text{ 周期分の全方向加速度の大きさの総和}) / (1 \text{ 周期分の平均ランニ$

50

ング速度)」を用いた場合における、自分の現在の走り、モデルデータとして求まっているランニング選手、市民ランナーの走りについての値の比較である。これにより、速度あたりの腰にかかる加速度がわかりこの値が小さいほど腰の動きが小さいのに大きな速度が得られていることになる。これをモデルデータと比較すると、一番右の自分が選手に比べると数値は悪いが市民ランナーの中では悪くはないということがわかる。さらにはこの値を小さくするべく走り方の研究を行うことが可能になる。今回のデータは総和 / 走速度で出したが、総和は1周期の積分なので総和 / 周期(時間)を行うことで正規化し使用することで周期時間の長短を排除して比較することも可能である。

【0055】

図11(a)と図11(b)を併せて考えることで、選手は速度を得るために必要な加速度は小さいが、その小さい加速度の中でも全身に使う加速度の割合は大きいことがわかる。すなわち、選手は少ない力を有効に推進することに振り向けていることがわかる。逆に言えば、市民ランナーは推進方向に貢献しないいわゆる無駄な動きが多いことを示している。

【0056】

図12は、練習毎の図11(a)の運動効率の指標「 $W_z / W = (1 \text{ 周期分の推進方向加速度の大きさの総和}) / (1 \text{ 周期分の全方向加速度の大きさの総和})$ 」の変化を示すグラフである。これを見ると、練習回数を重ねるごとに効率がアップしていることを確認することができる。

【0057】

図3のステップS305の軸別積分処理では、図9(a)にして得られる3方向の加速度成分のうち、803の前後方向の波形成分 A_z についてのみ、運動周期の1周期分の積分結果が得られて、表示部214での表示に用いられた。これに対して、図8の801の上下方向加速度成分 A_x や802の左右方向加速度成分 A_y についても、運動周期の1周期分の積分結果を得、全方向加速度成分の積分結果と比較して表示部214に表示させることにより、ランニング時に上下方向や左右方向にどの程度体が動いているかを確認することもできる。

【0058】

図3のフローチャートの説明に戻り、ステップS307の後、制御はステップS301に戻る。なお、図3に示した運動解析処理はランニング等の運動を終えてから行っても良いし、その運動中にリアルタイムで行うようにしても良い。特に、リアルタイムで行った場合には、運動効率の表示をその運動中に自分で確認し、その結果に基づいて、リアルタイムで自分のフォームを修正することも可能である。

【0059】

以上のようにして、従来は運動解析に大がかりな装置が必要だったのが、本実施形態では、厳密な意味での運動効率を表すわけではないが、測定が非常に難しい全身の仕事を全身の中で最も質量の大きい胴体が受ける加速度の総和に置き換えることで、推進方向の加速度総和や速度の2乗値を全方向の加速度総和で割る演算等で代用することにより、簡易な機器で運動解析が可能となり、例えば全ての加速度中で推進方向や、上下方向、左右方向に使われている加速度成分がわかるようになり、これまでにない新しい運動効率の指標が提供可能となる。

これらの指標を知ることにより自分の練習の方向性や計画の策定が可能となる。

さらには、練習した成果が出てきているかとの練習効果の確認も可能となる。

【0060】

以上の実施形態に関して、更に以下の付記を開示する。

(付記1)

利用者の体に装着され、前記利用者が運動中に当該利用者の体軸の延伸方向の加速度を検出する加速度センサと、

予め定めた動作を前記利用者が行った時間である動作時間を推定する動作時間推定部と

、

10

20

30

40

50

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の運動による前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第1のデータを算出する第1の演算部と、

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の推進方向の運動エネルギーに対応する第2のデータを算出する第2の演算部と、

前記第1のデータと前記第2のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第3のデータを算出する第3の演算部と、

を備えることを特徴とする運動解析装置。

(付記2)

前記第1の演算部は、前記加速度センサの方向別の出力に基づいて加速度の大きさを算出し、当該加速度の大きさを前記動作時間推定部が推定した動作時間分積分することにより、前記第1のデータを算出する、

ことを特徴とする付記1に記載の運動解析装置。

(付記3)

前記利用者の体に装着され、前記利用者が運動中に当該利用者の前記体軸に沿った回転運動の回転方向の角速度を検出するジャイロセンサをさらに備え、

前記第2の演算部は、前記加速度センサおよび前記ジャイロセンサの出力に基づいて鉛直方向に対する前記体軸の傾き、および、前記利用者の推進方向の加速度を算出し、当該推進方向のうち一方の向きの加速度を前記動作時間推定部が推定した動作時間分積分することにより、前記第2のデータを算出する、

ことを特徴とする付記1または2のいずれかに記載の運動解析装置。

(付記4)

前記第2の演算部は、前記加速度センサおよび前記ジャイロセンサの出力に基づいて水平面に対して平行であって前記利用者の推進方向に直交する方向の加速度と、前記鉛直方向の加速度とをそれぞれ、当該推進方向の加速度を前記動作時間推定部が推定した動作時間分積分することにより、各積分結果を前記第2のデータの一部としてさらに算出する、

ことを特徴とする付記3に記載の運動解析装置。

(付記5)

前記利用者の推進方向の運動速度を検出する速度センサをさらに備え、

前記第2の演算部は、前記速度センサに出力に基づいて前記動作時間推定部が推定した動作時間分の平均速度を算出し、当該平均速度を2乗して2で割ることにより、前記第2のデータを算出する、

ことを特徴とする付記1または2のいずれかに記載の運動解析装置。

(付記6)

前記利用者の推進方向の運動速度を検出する速度センサをさらに備え、

前記第2の演算部は、前記速度センサに出力に基づいて前記動作時間推定部が推定した動作時間分の平均速度を算出し、当該平均速度を前記第2のデータとして算出する、

ことを特徴とする付記1または2のいずれかに記載の運動解析装置。

(付記7)

前記速度検出センサは、全地球測位網センサを含み、当該全地球測位網センサの出力に基づいて、前記平均速度を算出する、

ことを特徴とする付記5または6に記載の運動解析装置。

(付記8)

前記第3の演算部は、前記第1のデータと前記第2のデータの比として、前記動作時間における、前記利用者の運動による力学的総仕事量に対する前記利用者の推進方向のうち一方の向きの運動エネルギーの効率を、前記第3のデータとして算出する、

ことを特徴とする付記1ないし7のいずれかに記載の運動解析装置。

(付記9)

前記第3のデータに基づいて、前記利用者に運動の効率に関する情報を表示する表示部を更に備え、

10

20

30

40

50

前記表示部は、前記利用者の前記第 3 のデータと、前記利用者以外の人物の前記第 3 のデータとを前記表示部に表示する、

ことを特徴とする付記 1 ないし 8 のいずれかに記載の運動解析装置。

(付記 10)

前記予め定めた動作は周期性を有し、

前記動作時間推定部は、前記利用者の動作の周期を前記動作時間として推定する、

ことを特徴とする付記 1 に記載の運動解析装置。

(付記 11)

利用者の体に装着され、前記利用者が運動中に当該利用者の体軸の延伸方向の加速度を検出し、

予め定めた動作を前記利用者が行った時間である動作時間を推定し、

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の運動による前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第 1 のデータを算出し、

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の推進方向の運動エネルギーに対応する第 2 のデータを算出し、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第 3 のデータを算出する、

ことを特徴とする運動解析方法。

(付記 12)

利用者の体に装着され、前記利用者が運動中に当該利用者の体軸の延伸方向の加速度を検出するステップと、

予め定めた動作を前記利用者が行った時間である動作時間を推定するステップと、

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の運動による前記利用者の運動による力学的総仕事量に対応する第 1 のデータを算出するステップと、

前記加速度センサの出力に基づいて、前記動作時間推定部が推定した動作時間分の前記利用者の推進方向の運動エネルギーに対応する第 2 のデータを算出するステップと、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとに基づいて、前記利用者の運動の効率に対応する第 3 のデータを算出するステップと、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【符号の説明】

【0061】

100 ランナー

101 センサ端末

102 パーソナルコンピュータ

103 表示機器

200 データ解析端末

201 ジャイロセンサ

202 加速度センサ

203 GPS 受信機

204、211 コントローラ

205、212 メモリ

206、213 通信部

210 データ処理部

210-1 軸推定部

210-2 周期推定部

210-3 積分部

210-4 軸別積分部

214 表示部

10

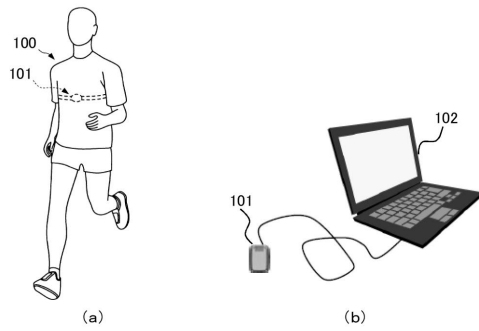
20

30

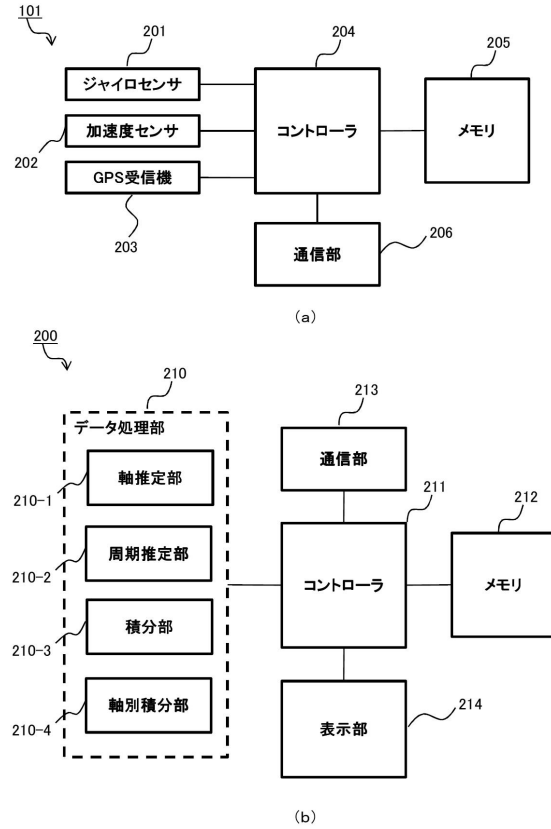
40

50

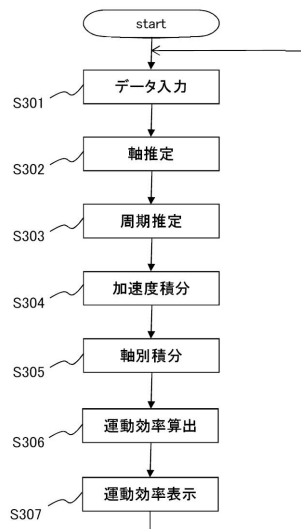
【図 1】



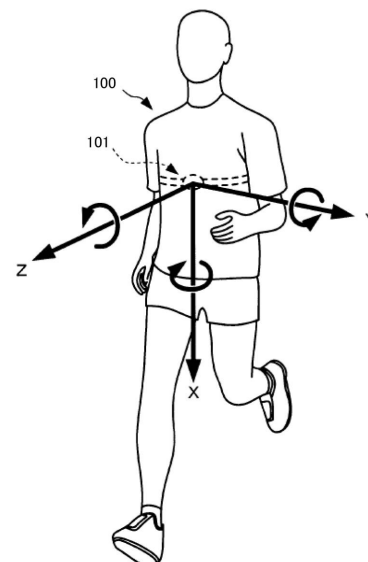
【図 2】



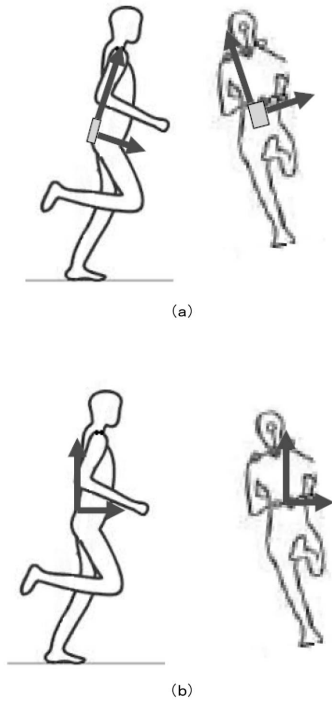
【図 3】



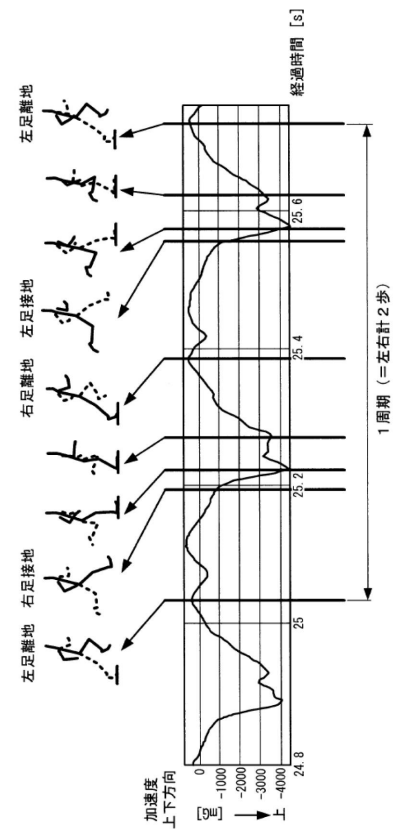
【図 4】



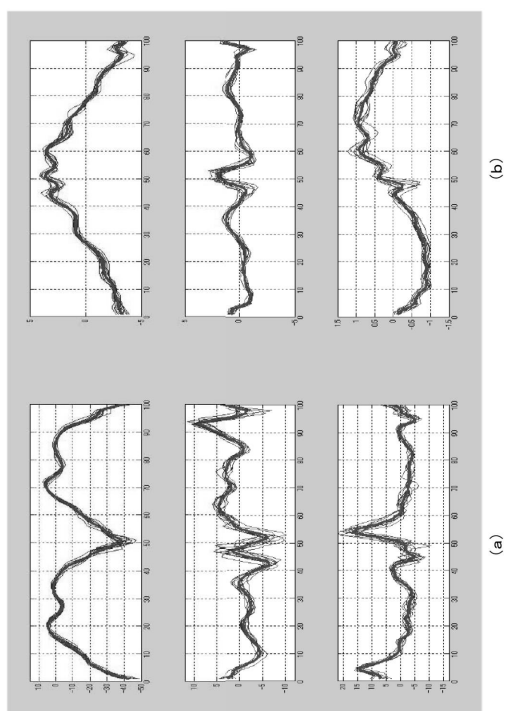
【図 5】



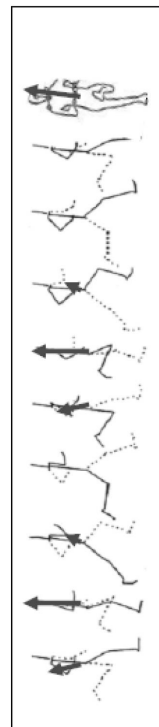
【図 6】



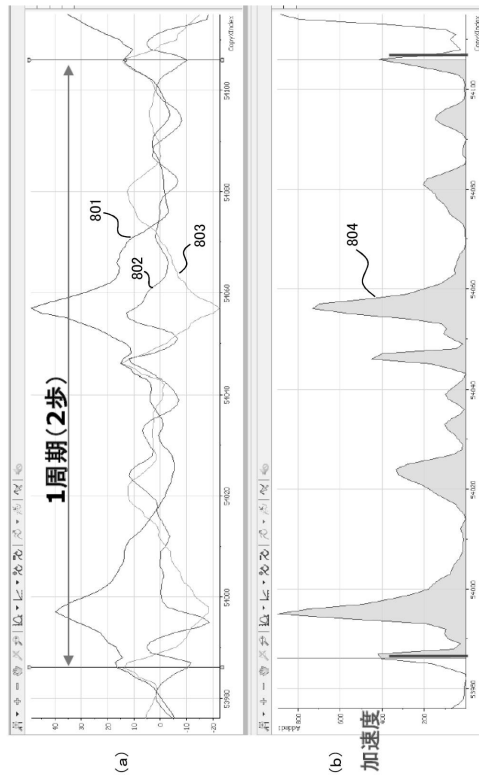
【図 7】



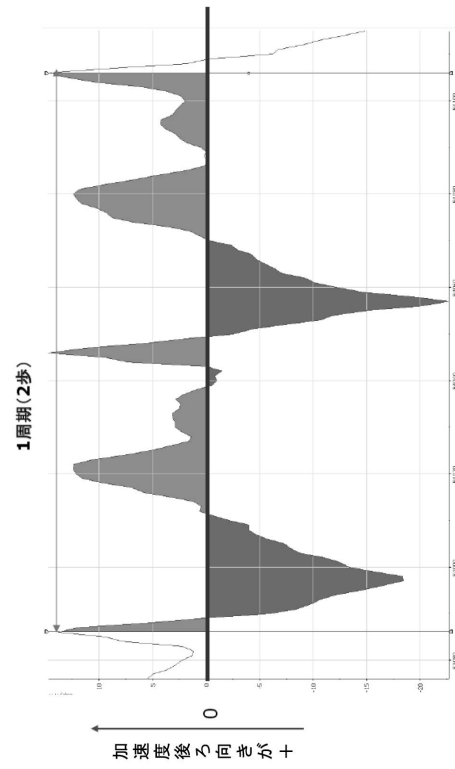
【図 8】



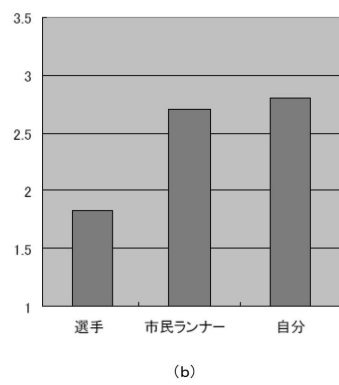
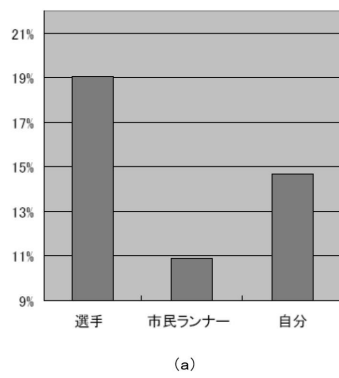
【図 9】



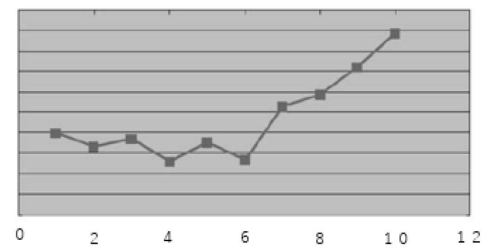
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-263449(JP,A)
特開2010-257395(JP,A)
特表2013-537436(JP,A)
特開2005-287708(JP,A)
特開2003-38469(JP,A)
特開2011-127917(JP,A)
特開2012-242179(JP,A)
特開2001-258870(JP,A)
特開2016-43260(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0178958(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A63B 1/00 - 26/00
A63B 69/00 - 71/16
A61B 5/06 - 5/22
G01C 22/00 - 22/02
G06M 1/00 - 3/14